



Nord Est **SUD** Ouest
INTERREG III C

Opération Cadre Régionale **BEACHMED-e**

« La gestion stratégique de la défense des littoraux pour un développement soutenable des zones côtières de la Méditerranée »



Sous-projet **POSIDUNE**

« Interactions de *Posidonia oceanica* et Sable avec l'Environnement des Dunes Naturelles »

Manuel pour la caractérisation et l'aménagement des dunes côtières



ICRAM
PROVINCIA DI PISA
UNIVERSITÉ DE FERRARA
UNIVERSITÉ DE BOLOGNA – CIRSA & DiSTA
EID MÉDITERRANÉE
IACM/FORTH



INDEX

PREFACE	1
1. CARACTERISATION DES DUNES COTIERES	3
1.1. CARACTERISATION A ECHELLE INTERREGIONALE.....	3
1.2. PROCOLES METHODOLOGIQUES SPECIFIQUES APPLIQUES AUX SITES PILOTES: CARACTERISATION DETAILLEE	12
1.2.1. Relevés Morphologiques	12
1.2.2. Etude De La Vegetation	16
1.2.3. Transport éolien.....	24
1.2.4. Nappe phréatique	28
2. LA GESTION DES BIOMASSES VEGETALES DE PLAGE	37
2.1. INTRODUCTION.....	37
2.2. OBJECTIFS	39
2.3. LA GESTION DES BIOMASSES VEGETALES ACCUMULEES SUR LA PLAGE.....	40
2.3.1. Encadrement Normatif.....	40
2.3.2. Interprétation de la Circulaire n. 8123/2006 du MATT	41
2.3.3. Caractérisation des biomasses végétales de plage	46
2.4. RESULTATS	52
2.5. CONCLUSIONS.....	54
3. TECHNIQUES INNOVATRICES POUR LA RESTAURATION ET LA CONSOLIDATION DES DUNES COTIERES	55
Introduction aux techniques innovatrices pour la restauration et la consolidation des dunes côtières.....	55
3.1. OUVRAGES "A EFFET BRISE-VENT"	58
3.1.1. Clôture brise-vent	58
3.1.2. Palissade brise-vent horizontale	62
3.1.3. Ecran brise-vent à échiquier.....	65
3.1.4. Noyaux dunaires armés	69
3.1.5. Consolidation combinée constituée de structure en osier et d'écran brise-vent.....	72
3.2. CONSOLIDATION/RESTAURATION DES DUNES PAR LA VEGETATION	75
3.2.1. Végétalisation et aide a la végétalisation	75
3.3. RECONSTRUTION DU CORDON DUNAIRE.....	84
3.3.1. Reconstitution des dunes côtières	84
3.3.2. Restauration des dunes côtières.....	87
3.3.3. Restauration d'un cordon dunaire et de la plage/1	89
3.3.4. Restauration d'un cordon dunaire et de la plage/2	94
3.4. GESTION DE LA FREQUENTATION	98
3.4.1. Passerelles rasantes	98
3.4.2. Barrière basale en osier	103
3.4.3. Gestion de la frequentation en milieu dunaire	106
3.4.4. Franchissement d'un cordon dunaire pour les personnes a mobilite reduite.....	109
4. BIBLIOGRAPHIE	111



PREFACE

Au cours des dernières on assiste à une forte prise de conscience de l'importance du rôle joué par les systèmes naturels de défense des côtes. Les dunes et les prairies de *Posidonia oceanica*, bien qu'elles soient toutes deux distribuées seulement sur une partie des littoraux de la Mer Méditerranée, jouent un rôle considérable pour contraster l'érosion côtière.

Les dunes sont partie intégrante du système plage. Elles représentent une réserve de sable durant les tempêtes et offrent une protection aux aquifères côtiers en contrastant l'intrusion du coin salin. Le démantèlement des dunes côtières lié à la houle incidente s'observe seulement au cours de brèves périodes de temps (heures ou jours), alors que leur reconstruction peut nécessiter de longues périodes (mois ou années).

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

Les accumulations de biomasses végétales de plage, et en particulier des restes de *Posidonia oceanica* (*banquettes*), jouent un rôle important pour la protection des plages. Intervenir en remobilisant la posidonie de plage de son siège naturel signifie accélérer l'érosion et compromettre l'intégrité de l'habitat côtier (qui souffre souvent d'un apport réduit de sédiments) au point que le protocole SPAMI de la Convention de Barcelone a défini les restes de *Posidonia oceanica* comme Habitat prioritaire et, pour telle raison, devraient être conservés et protégés.

Le problème est délicat lorsque les administrations locales, pour des raisons touristiques et balnéaires, décident de déplacer ces dépôts de plage. En effet, en fonction des modalités opératives de l'intervention, les biomasses végétales de plage peuvent être considérées comme déchet ou comme ressource.

Ce manuel fournit les éléments techniques et scientifiques utiles à une correcte planification dans l'optique de l'*Integrated Coastal Zone Management* (ICZM), et est subdivisé en trois parties.

Un **protocole méthodologique pour la caractérisation des dunes côtières à échelle interrégionale** et de détail sur les sites pilotes est reporté dans la première partie.



Dans le détail différentes applications ont été prises en considération, telles que:

- 1) Relevés morphologiques;
- 2) Détermination du taux de transport éolien;
- 3) Restauration végétale et plantation de plantes autochtones;
- 4) Caractérisation de la nappe superficielle et de la profondeur de l'interface eau douce - eau salée;

Dans la deuxième partie une série d'**options possibles pour la gestion des biomasses végétales de plage** est présentée, discutée et proposée, en accordant un large espace aux méthodologies qui pourraient être appliquées pour la caractérisation compositionnelle et chimique des *banquettes* de *Posidonia oceanica*. De plus, on a cherché à fournir des instruments nécessaires pour les administrations publiques afin de procéder au déplacement et à l'éventuelle réutilisation de ces matériels pour des ouvrages de reconstruction ou de protection des dunes côtières.

Dans la troisième partie sont présentées des **techniques de reconstruction et de restauration morphologique des dunes côtières**. Celles-ci ont été divisées en quatre macro-catégories (barrière brise-vent; plantation; gestion des accès; consolidation et restauration); pour chacune d'entre elles différentes techniques ont été brevetées. Elles peuvent être définies de type traditionnel quand elles regardent des méthodes et pratiques naturalistes déjà connues (et, parfois, testées) ou de type innovateur si des solutions non encore expérimentées sont proposées. Chaque fiche technique reporte une série d'informations utiles: illustrations et aperçus de projet, matériel utilisé, modalités de réalisation, estimation des coûts totaux ou par mètre linéaire de l'ouvrage. Parmi ces solutions il convient de faire remarquer au lecteur une fiche technique qui illustre comment un nucleus de renforcement au pied de la dune pourrait être réalisé en utilisant des restes de *Posidonia oceanica* et de biomasses de végétales de plage.

Ce manuel a été terminé dans le mois de Juillet 2007.

Sergio Cappucci
Elena Pallottini

1. CARACTERISATION DES DUNES COTIERES

1.1. CARACTERISATION A ECHELLE INTERREGIONALE

Sapienza, Université de Roma - G.B. La Monica, giovannibattista.lamonica@uniroma1.it
APAT – V. Campo, valentina.campo@apat.it
ICRAM – S. Cappucci, E. Pallottini, S. Devoti, s.cappucci@icram.org

1.1.1. Introduction

La caractérisation des dunes côtières revêt une importance stratégique pour la planification et la gestion intégrée de la zone côtière et en particulier pour la protection des littoraux.

En accord avec les finalités de l'OCR Beachmed-e, la méthodologie proposée pour la caractérisation des dunes côtières permet de favoriser l'échange d'information et le partage des innovations technico-scientifiques.

Cette méthodologie se base sur l'analyse réalisée dans le cadre du projet national "i depositi eolici delle coste italiane e il flusso di sedimenti spiaggia-duna" (les dépôts éoliens des côtes italiennes et le flux des sédiments plage-dune; AA.VV., 2005). Le but de ce projet était de définir l'état des côtes italiennes en 1998-99, en intégrant les données existantes, les documents cartographiques et également les informations ponctuelles plus récentes issues de relevés directs.

1.1.2. Objectif

L'objectif du présent rapport est de fournir un protocole méthodologique pour l'étude et la caractérisation des systèmes dunaires à l'échelle interrégionale en relation au budget plage-dune, et également d'élaborer une banque de données sous environnement SIG (Système d'Information Géographique).

1.1.3. Matériels et Méthodes

Recherche d'informations bibliographiques et cartographiques

La recherche de données bibliographiques, d'informations cartographiques et de relevés disponibles est fondamentale pour obtenir un cadre complet du littoral étudié.



Photo-interprétation

- Avantage de la méthode utilisée

La photo-interprétation est une technique utilisée pour identifier les éléments morphologiques caractéristiques de l'environnement côtier. Les avantages de cette méthode sont nombreux comme par exemple:

- Economie de temps et de coût pour la réalisation du travail tout en obtenant des données de bonne qualité;
- Comparaison possible entre des images de différentes dates et donc d'effectuer un suivi des formes en rapide évolution, telles que les formes côtières;
- Perception de la tridimensionnalité des objets photographiques et de l'effet lié à l'exagération verticale du relevé. Ces caractéristiques, liées à la photo-interprétation, sont particulièrement utiles pour un environnement caractérisé par une morphologie presque plate. Elles permettent également d'identifier les formes qui sont difficilement identifiables par l'observation non stéréoscopique des ortho-photos. Les ortho-photos sont, quant à elles, surtout utilisées pour la représentation finale des données.

- Limites de la méthode utilisée

- Les limites de la méthode utilisée dérivent par exemple des erreurs instrumentales qui se vérifient durant le relevé des données (erreurs intrinsèques des instruments, erreur d'interprétation des éléments morphologiques, etc.).

- Considérations en fonction du support (photographique ou satellitaire)

- L'utilisation et l'analyse des images satellitaires sont particulièrement utiles pour l'analyse de la végétation, l'identification des zones en érosion, etc.

- Choix des images

- Typologie: le tracé des contours des formes se base principalement sur l'interprétation des photographies aériennes panchromatiques n/b de basse altitude, sur l'analyse d'ortho-images numériques et/ou d'images satellites.
- Année: Bien qu'un intervalle de temps minimum entre les photographies aériennes et/ou images satellitaires et la situation actuelle ne soit pas strictement nécessaire, il est toutefois préférable d'utiliser un support cartographique et/ou photographique de référence datant au maximum de 5 ans afin d'obtenir une "photographie" plausible et ajournée de l'état des dunes côtières.



- Résolution minimum: L'échelle et surtout la bonne qualité des photogrammes caractérisés par une résolution élevée au sol (environ 50 cm) permettent de relever les principaux éléments descriptifs des cordons dunaires, tels que l'état d'activité, la végétation, les différentes typologies des infrastructures et la condition de dégradation et/ou de conservation.
- Géoréférenciation des images et système de référence
Conformément au projet INSPIRE (*IN*frastructure for *S*patial *I*nformation in *E*urope), l'homogénéité des données et/ou informations cartographiques est nécessaire. Le Système de projection UTM, Datum géocentrique WGS84, adopté uniformément en Europe, doit être utilisé comme système de référence géographique.
- Restitution sur base cartographique
Toujours selon l'initiative Européenne INSPIRE, les éléments géographiques importants (trait de côte par exemple) doivent être relevés avec une précision nominale au minimum à l'échelle 1:10.000 (Valpreda, 2006).
- Considérations générales sur temps/fréquence du relevé
Un ajournement de l'état des dunes devrait être réalisé tous les 5 ans comme indiqué précédemment.
- Description des éléments interprétables
La photo-interprétation permet d'identifier les typologies des éléments suivants:
 - Limite des cordons dunaires;
 - Détermination de l'état d'activité (sous-entendu comme apport sédimentaire) et de la direction d'allongement (crête);
 - Identification de la typologie de la couverture du sol, en relevant la présence de zones urbanisées et/ou non édifiées;
 - Délimitation de la végétation dunaire, en reconnaissant les typologies homogènes en fonction de la structure et de la physionomie et aussi en fonction du degré de couverture;
 - Individualisation des éléments de discontinuités (passages blowouts), naturels et anthropiques;
 - Structures adhérentes qui influencent le bilan sédimentaire plage/dune, et réalisées pour mitiger l'érosion côtière.



En outre, l'étude à échelle régionale de la façade côtière devra considérer quelques éléments importants pour définir les caractéristiques des systèmes dunaires. Le suivi de ces éléments permettra de déterminer et d'évaluer les modifications des équilibres dynamiques géomorphologiques et de la végétation et de définir également l'état de crise éventuelle de l'écosystème. Ces éléments sont reportés ci-dessous:

- CARACTERISTIQUES DES DUNES

- Superficies qui délimitent les cordons dunaires

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

- Etat d'activité de la dune

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

- Végétation dunaire

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

- Anthropisation

Les études réalisées jusqu'à présent ont mis en évidence que les mécanismes responsables de la forte dégradation et de l'érosion des dunes sont principalement liés au degré d'anthropisation et/ou d'urbanisation du littoral, à l'érosion côtière et à l'exploitation touristique incontrôlée.

Il est donc prévu d'identifier la couverture du sol à l'intérieur du système dunaire et à proximité, et en particulier en individualisant les zones urbanisées, avec une urbanisation éparse ou avec une anthropisation générique. Cette anthropisation générique représente les zones sans édifice, utilisée cependant pour des activités touristiques, comme par exemple les zones habitées avec parkings.



- Passages - blowouts

Une importance particulière concerne l'individualisation à l'intérieur du système dunaire des éléments de discontinuités naturelles et/ou anthropiques. Les éléments seront donc principalement localisés au niveau des cordons dunaires fragmentés et discontinus en raison des nombreux passages ou blowouts. Il sera donc possible de distinguer les sentiers et les routes (avec débouché sur la mer) des passages naturels (comme dans le cas de sillon engendré par l'érosion due au ruissellement).

- Crête de la dune

Éléments linéaires qui indiquent, graphiquement, la direction d'allongement des cordons dunaires actifs et inactifs.

Puisqu'il existe une forte « interconnexion » entre la plage et la dune, l'analyse devra considérer d'autres paramètres significatifs tels que la "largeur" de la plage située en face du cordon dunaire et sa "tendance" évolutive.

- CARACTERISTIQUES DU LITTORAL LIMITROPHE

- Tendance évolutive (durant la dernière décennie)

La tendance évolutive de la plage permettra d'identifier les traits de côte en avancement, stable ou en érosion.

- Largeur de la plage

Comme il est bien connu, le système plage-dune présente des variations saisonnières: lors de conditions hydrodynamiques calmes (petite houle d'été ou de printemps), le sable tend à remonter vers le haut de la plage pour s'accumuler au pied de la dune où de petites dunes embryonnaires peuvent parfois se développer. Par contre, lors de conditions hydrodynamiques plus énergétiques (tempêtes hivernales), la tendance est à une érosion du haut de la plage; la dune constitue alors un « réservoir naturel » de sédiment pour alimenter la plage: la dune est érodée à son pied par la houle de tempête, et le sable migre sur les petits fonds où il s'accumule sous forme d'une barre immergée.

La largeur de la plage est un facteur qui peut indiquer les conditions du cordon dunaire: si la largeur de plage est réduite ($A < 20$ m), il est probable que la dune située en arrière présente des signes d'érosion à son pied et, par conséquent, qu'elle soit dégradée. En outre, la largeur réduite de la plage pourrait empêcher l'échange de sédiment avec le



premier cordon dunaire. En effet, une largeur minimale de plage, qui dépend du taux du transport éolien, est nécessaire pour assurer la "recharge" de la dune.

Si la plage est large ($20 < A < 60$ m) ou très large ($A > 60$ m), il est possible que les conditions de la dune ne soit pas critique. Au contraire, sur une plage en forte érosion, il pourrait être nécessaire de réaliser des interventions de stabilisation de la plage afin de protéger les dunes, probablement érodées à leurs pieds par l'action de la houle.

- Utilisation de la plage

Toujours en relation à la présence d'éléments/activités anthropiques à l'intérieur du système côtier, d'autres typologies d'infrastructures linéaires sont représentées par des installations de type touristique et balnéaire. Situées à proximité de la limite plage/dune, ces infrastructures individualisent/caractérisent les différentes utilisations de la plage. Le terme "utilisation de la plage" représente les structures dédiées à la baignade, temporaires et permanentes. Ces structures seront individualisées en fonction de leur type d'activité.

- Ouvrages

Le terme « ouvrage » représente les structures linéaires adhérentes qui influencent le budget sédimentaire plage/dune (positionnées par convention à la limite de la plage). Ces structures, réalisées pour mitiger l'érosion côtière, seront différenciées en différents types: rechargements, structures adhérentes, rechargements associés aux structures adhérentes.

En plus des éléments identifiés par la photo-interprétation, d'autres paramètres significatifs pour l'évaluation de l'évolution de la zone côtière et du risque d'érosion pourront être considérés. Ces paramètres, identifiés à partir de documents cartographiques ou à partir de relevés *in situ*, sont reportés ci-dessous.

- AUTRES PARAMETRES SIGNIFICATIFS

- Vent

Le vent représente un des facteurs plus importants pour le développement des cordons dunaires: la vitesse et la direction des vents influencent le budget sédimentaire et la morphologie des dunes.



- Cote de la crête de la dune

Les hauteurs des dunes par rapport au s.l.m. (niveau de la mer pourront être relevées sur des documents cartographiques et/ou à partir des relevés sur le terrain.

Relevés directs (v. § 1.2.1)

- Motivation des méthodes utilisées

Une intégration des informations issues des mesures directes (par ex.: cote de la dune) pourrait être nécessaire afin de remédier aux éventuelles imprécisions et incompréhensions des données interprétées. Ces données permettent également de vérifier les résultats de la photo-interprétation ainsi que la qualité.

- Typologie du relevé

Relevé rapide des formes d'accumulation ou d'érosion, etc. Relevé altimétrique.

Constitution d'une banque de données pour l'insertion des données

Dans le cadre du projet mentionné précédemment, un système d'information territorial a été élaboré afin d'opérer de manière homogène au niveau interrégionale grâce à une procédure commune d'informatisation des données.

- Typologie des données

Données vectorielles.

- Structure de la banque de données

La banque de données doit être en mesure de recueillir les exigences des descriptions morphologiques des dunes côtières et de les intégrer aux informations caractéristiques du milieu côtier afin d'évaluer le risque d'érosion et d'inondation des zones littorales (Valpreda, 2006).

- Légende

Pour l'organisation et l'élaboration de toutes les informations relatives au système plage-dune à l'intérieur du SIG, la classification des éléments de la photo-interprétation devra tenir compte de la légende de la "Banque de Données Dunes" déjà prédisposée à cet effet.

Cette légende se rapporte aux éléments de photo-interprétation et reflète la structure de la banque de données créée sous environnement SIG. Ces éléments et les attributs respectifs sont reportés dans le tableau 1:



ELEMENT	TPOLOGIE	ATTRIBUTS	CLASSES
Dune	Elément polygonal	État d'activité	Dune active ou re-activée
			Dune inactive
		Végétation	Végétation arborescente
			Végétation arbustive
			Végétation herbacée
			Végétation arborescente rare (<20%)
			Végétation arbustive rare (<20%)
		Anthropisation	Végétation absente
			Zone urbaine
			Urbanisé épars
		Tendance évolutive du littoral	Urbanisé générique
			Littoral en avancement
			Littoral stable
		Largeur de la plage	Littoral en retrait
0-20 m			
20-60 m			
		>60 m	
Crête de la dune	Elément linéaire		
Cote de la crête	Elément ponctuel		
Passages	Elément ponctuel		Sentiers et routes
			Passages naturels
Vent	Elément ponctuel		
Ouvrages	Elément linéaire		Rechargements
			Structures adhérentes
			Rechargements associés à des ouvrages adhérents
Utilisation de la plage	Elément linéaire		Activité de baignation temporaire
			Activité de baignation permanente

Tableau 1 – Légende et structure de la banque de données.

1.1.4. Considérations finales

Le méthodologie décrite précédemment permet non seulement une caractérisation à l'échelle interrégionale du cadre général, mais également une caractérisation plus précise pour réaliser des actions spécifiques comme, par exemple, des interventions de restauration et de reconstruction des dunes côtières. En effet, la création d'une banque de données géographiques sous environnement SIG permet de stocker et de corréler les différentes données entre elles, et aussi d'ajouter et d'actualiser régulièrement tout le « géodatabase » en introduisant d'ultérieurs niveaux d'informations. Par exemple, l'utilisation de supports (photographiques/satellites) de meilleure résolution permettrait une meilleure définition des thématismes liés à la typologie des dunes actives et à la végétation dunaire (degré de couverture végétale) et par conséquent une meilleure définition des caractéristiques de l'avant-dune et une différenciation du degré de couverture végétale herbacée (>20% ou <20%).

Une telle implémentation permet donc de réaliser une analyse encore plus approfondie du territoire en mettant en évidence d'autres relations de cause à effet entre les éléments considérés. Puisqu'il s'agit d'un contexte environnemental très dynamique, la méthodologie décrite constitue un outil idéal pour les analyses, le suivi et la gestion des dunes côtières et du territoire côtier en général.



1.2. PROTOCOLES METHODOLOGIQUES SPECIFIQUES APPLIQUES AUX SITES PILOTES: CARACTERISATION DETAILLEE

1.2.1. Relevés Morphologiques

EID Méditerranée – H. Heurtefeux, E. Sire, S. Grosset, hheurtefeux@eid-med.org
Université de Ferrara – U. Simeoni, C. Corbau, g23@unife.it
CIRSA – G. Gabbianelli, giovanni.gabbianelli@unibo.it

1.2.1.1. Introduction

En fonction des résultats désirés et des caractéristiques du terrain, les relevés topographiques peuvent se baser sur différentes techniques, des moyens de mesures classiques: les levés au tachéomètre, à la lunette de visée; mais également des relevés au DGPS ou encore des relevés aériens grâce au système LIDAR (Light Detection and Ranging).

1.2.1.2. Objectif

Les relevés topographiques en fournissant des profils dunaires ont pour objectif une connaissance précise de la morphologie d'une zone d'étude. Ces relevés permettent et de calculer les bilans sédimentaires pour un site donné et ainsi d'appréhender les caractéristiques et le fonctionnement d'un site.

Dans le cas de suivis réalisés sur plusieurs années les relevés topographiques permettent de connaître l'évolution du milieu, les échanges entre la plage et la dune (bilan sédimentaire) et les réponses du milieu à des événements climatiques forts ou des perturbations. Ces relevés ont une importance particulière lors des opérations de réhabilitation dunaire, afin de connaître finement les zones de faiblesses du cordon dunaire en vue de son renforcement.

1.2.1.3. Matériels et Méthodes

La fréquence des relevés dépend du type d'étude et de suivi réalisé. Au minimum une fois par an, dans l'idéal à la fin de la période des tempêtes au mois de mars puis à la fin de la

période d'engraissement fin août. Dans les faits les relevés sont effectués une fois durant l'été et juste après un coup de mer.

Levés au tachéomètre

Le principe de mesure consiste à relever à partir d'un point géoréférencé des angles et des distances, entre une station fixe et les points du littoral que l'on désire relever. Tous les paramètres de la station (coordonnées, hauteur de la station et bullage) sont préalablement initialisés. Un opérateur se déplace sur le terrain en tenant une canne topographique équipée d'un réflecteur dont le centre est visé pour chaque point depuis la station fixe (fig. 1 et 2). On obtient presque instantanément: l'angle vertical par rapport à l'angle de visée du tachéomètre, l'angle horizontal du point où se trouve la canne topographique par rapport aux points de référence, la distance entre la canne topographique et la station, ainsi que les coordonnées Lambert (X, Y, Z) du point considéré.



Figure 1 – opérateur utilisant la station du LEICA-TC 307.



Figure 2 – opérateur tenant la canne topographique équipée d'un réflecteur.

Levés DGPS

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



Pour augmenter la précision en temps réel, les données de corrections sont envoyées à la station mobile depuis une station de référence, dont on connaît précisément la position.

Les récepteurs GPS sont utilisés suivant différents modes bien définis, permettant d'atteindre les objectifs de précision centimétrique. Ces modes sont appelés globalement RTK (Real Time Kinematic) ou LRK (Long Range Kinematic) en fonction des constructeurs. En mode RTK, la station mobile reçoit par radio les corrections nécessaires à apporter aux mesures. Ce mode RTK-GPS permet à l'utilisateur de se positionner à peu près partout très rapidement, à condition de disposer d'un réseau de récepteurs GPS fixes qui effectuent des observations en permanence.

En mode LRK, le fonctionnement du DGPS se fait également grâce à une liaison radio UHF 400 MHz (d'une portée théorique 40 Km et d'une précision de 1 cm) entre la station fixe (qui prend son information au niveau de minimum 5 satellites) et le mobile porté par l'opérateur (fig. 3).

Plusieurs modèles sont disponibles comme le Topcon GB500 (Base and Rover) avec « Real Time Kinematic Technics (RTK) » ou le Thalès 6502 sk en LRK.

Pour cette technique de relevés une fréquence hiver – été est souvent adoptée.



Figure 3 – levés au DGPS.

Levés LIDAR (Light Detection and Ranging)

Les récents développements du LIDAR (Light Detection and Ranging) constituent une véritable révolution technologique pour le suivi de la topographie. Actuellement des applications (Populus et al, 2003) prouvent la pertinence de cette technologie sur terre (topographie) mais aussi en mer (bathymétrie) pour représenter très précisément de larges portions de côte et suivre l'évolution de la morphologie côtière au cours du temps. Ceci



notamment dans le cadre des problématiques d'érosion et de gestion de stocks sableux suite à des rechargements de plage (Shrestha et al, 2005).

L'avion qui effectue les levés est équipé d'une centrale inertielle, d'un laser type Hawk Eye II et d'un DGPS. Les levés sont effectués par bandes de 160 m de large pour une hauteur de vol de 300 m, avec un taux de recouvrement de 40 % entre chaque passage.

Le système de détection multi-pixel d'Hawk Eye II permet d'obtenir des densités de l'ordre de 0.45 points/m² (1 point tous les 1.5 m) en bathymétrie et supérieures à 6 points/m² (1 point tous les 0.4 m) en topographie. La procédure de 'block adjustment' adoptée dans certains cas permet d'améliorer sensiblement la précision altimétrique.

1.2.1.4. Conclusion

L'ensemble des techniques présentées ci-dessus qui permettent de connaître la morphologie d'une zone d'étude, sont à adapter en fonction des possibilités techniques, de la précision requise et des caractéristiques du terrain.

1.2.1.5. Intérêt du site d'étude pour l'application de ces techniques

Sur le site pilote, des relevés topographiques sont réalisés depuis quelques années grâce au tachéomètre et au DGPS (fig. 4). Les données antérieures obtenues sur ce site seront intéressantes à intégrer dans l'étude actuelle de la topographie du site.



Figure 4 – Mesures topographiques.

Les levés topographiques réalisés sur le littoral héraultais grâce à la technologie LIDAR seront également valorisés.



1.2.2. Etude De La Vegetation

DiSTA, Université de Bologna – M. Speranza, maria.speranza@unibo.it
EID Méditerranée – S. Grosset, H. Heurtefeux, hheurtefeux@eid-med.org

1.2.2.1. Introduction

Les dunes végétalisées constituent un système multifonctionnel de très grande valeur environnementale. Du point de vue géomorphologique, elles stockent le sable dans la zone littorale active et tamponnent ainsi l'action érosive de la mer (Moulis et Barbel, 1999), elles protègent les terres et les infrastructures humaines (Paskoff, 1998). Du point de vue naturaliste, elles représentent aussi l'habitat pour de nombreuses espèces végétales et animales (Directive Habitat, 92/43/CEE, annexe I et II). De plus, du point de vue paysager, celles-ci diversifient et valorisent le paysage des côtes sablonneuses. Très fréquemment, les systèmes dunaires, des côtes européennes et méditerranéennes en particulier, sont perturbés par des utilisations anthropiques et touristiques excessives qui modifient l'agencement originel des dunes (Corre, 1971), ou encore par l'érosion marine qui compromet leur fonctionnalité.

1.2.2.2. Objectif

L'étude de la végétation des dunes doit fournir un cadre du niveau de fonctionnalité et/ou de perturbation du système dunaire et donner un état des lieux de référence. Les informations obtenues par l'étude de la végétation dunaire sont préliminaires et indispensables à l'élaboration de chaque intervention sur le système même, y compris les plans de gestion de conservation des écosystèmes dunaires et les opérations de végétalisation et de restauration dunaires.

1.2.2.3. Matériels et Méthodes

La description de la végétation peut être faite à différentes échelles de détail en utilisant différentes méthodologies et différents outils.



Photos aériennes ou images satellites à haute résolution

L'utilisation de photos aériennes ou d'images satellites à haute résolution permet d'identifier les unités physionomico-structurelles de la végétation d'un système dunaire. En effet, comme indiqué précédemment, la photo-interprétation de ce type de matériel, permet d'évaluer le degré de couverture végétale du sol, la présence de discontinuités importantes dans la couverture végétale. Les informations sur la végétation peuvent être intégrées avec les informations géomorphologiques fournies par les mêmes images, de manière à approfondir les connaissances sur l'état et la fonctionnalité globale du système dunaire examiné (voir chapitre 1.1.3). De plus, en disposant de séries multi temporelles de photos ou d'images satellites, il est possible de reconstruire l'évolution de la végétation du système pour la période considérée.

Relevés de terrain

L'exécution de prospections sur le terrain, ainsi que des relevés floristiques dans les unités physionomico-structurelles préalablement reconnues par analyse de photos aériennes ou d'images satellites à haute résolution, sont indispensables pour une description plus détaillée de la végétation dunaire. Ces relevés ont pour but de vérifier la consistance des unités physionomico-structurelles reconnues par photo-interprétation, d'identifier les communautés végétales, leurs dynamiques et les habitats d'intérêt communautaire (table 1).

Les prospections sur le terrain, réalisées sur des parcours plus ou moins aléatoires, permettent de connaître la flore du site et d'en dresser l'inventaire. Plusieurs périodes de prospection sont nécessaires: mars-avril pour les espèces vernales, mai-juin en pleine période de végétation et août-septembre pour les espèces tardives. Une attention particulière sera donnée aux espèces rares et aux espèces envahissantes et à la dynamique des leurs populations. Le comptage et la cartographie des individus peuvent être accompagnés d'un relevé GPS.

Les relevés floristiques exécutés selon la méthode phytosociologique (Braun-Blanquet 1932; Westoff et Van der Maarel, 1973), ou selon la méthode des transects linéaires (Daget et Poissonet, 1971; Whittaker, 1973; Kent et Coker, 1996), seront utilisés pour la description des communautés actuelles et des habitats d'importance communautaire, et pour la description des phénomènes dynamiques.



Les relevés phytosociologiques s'effectuent sur une surface homogène de végétation, dans laquelle il faut ensuite analyser la composition floristique d'une zone de dimension égale ou supérieure à celle de la zone minimale de la communauté étudiée. La zone minimale est la surface pour laquelle le nombre d'espèces qui compose la communauté n'augmente plus de manière significative; la zone minimale est donc la surface minimale qu'il faut échantillonner pour avoir une représentation suffisamment complète de la composition floristique de la communauté-même. En milieu dunaire les aires minimales à échantillonner pour les communautés de dune embryonnaire, vive et fixée doivent être de 15-20m² (Fiers, 2004). A l'intérieur de cette surface, le nombre d'espèces, la liste des espèces et le recouvrement total (abondance-dominance) de chaque espèce seront évalués.

Code Natura 2000	Dénomination de l'habitat
1210	Végétation annuelle des laissés de mer - Annual vegetation of drift lines.
1410	Prés salés méditerranéens (<i>Juncetalia maritimi</i>) - Mediterranean salt meadows (<i>Juncetalia maritimi</i>).
1510*	Steppes salées méditerranéennes (<i>Limonietalia</i>) - Mediterranean salt steppes (<i>Limonietalia</i>).
2110	Dunes mobiles embryonnaires - Embryonic shifting dunes
2120	Dunes mobiles du cordon littoral à <i>Ammophila arenaria</i> ("dunes blanches") - Shifting dunes along the shoreline with <i>Ammophila arenaria</i> ("white dunes").
2130*	Dunes côtières fixées à végétation herbacée ("dunes grises") - Fixed coastal dunes with herbaceous vegetation ("grey dunes").
2210	Dunes fixées du littoral du <i>Crucianellion maritimae</i> - <i>Crucianellion maritimae</i> fixed beach dunes .
2220	Dunes à <i>Euphorbia terracina</i> - Dunes with <i>Euphorbia terracina</i> .
2230	Dunes avec pelouses du <i>Malcolmietalia</i> - <i>Malcolmietalia</i> dune grasslands.
2240	Dunes avec pelouses du <i>Brachypodietalia</i> et plantes annuelles – <i>Brachypodietalia</i> dune grasslands with annuals.
2250 *	Dunes littorales à <i>Juniperus</i> ssp. - Coastal dunes with <i>Juniperus</i> spp.
2260	Dunes à végétation sclérophylle du <i>Cisto-Lavanduletalia</i> - <i>Cisto-Lavanduletalia</i> dune sclerophyllous scrubs.
2270*	Dunes avec forêts à <i>Pinus pinea</i> et/ou <i>Pinus pinaster</i> –Wooded dunes with <i>Pinus pinea</i> and/or <i>Pinus pinaster</i> .

Tableau 1 – Liste des habitats d'intérêt communautaire pour les systèmes dunaires côtiers méditerranéens, selon l'Annexe I de la Directive Habitat 92/43/CEE. (*: habitat prioritaire).

Coefficients d'abondance dominance
d'après Braun-Blanquet (1932):

- 5 = Recouvrement supérieur à 75%,
- 4 = Recouvrement entre 50 et 75 %,
- 3 = Recouvrement entre 25 et 50%,
- 2 = Recouvrement entre 5 et 25%,
- 1 = Recouvrement inférieur à 5%,
- + = très peu abondant,
- r = espèce très rare,
- i = individu unique.



Figure 1 – Quadrat en dune fixée.

Les relevés phytosociologiques, exécutés pendant plusieurs années dans des placettes permanentes, permettent le suivi de l'évolution de la végétation dans le temps, en ce qui concerne le changement de composition floristique, comme le changement de recouvrement des espèces présentes.

Les relevés par transects utilisent des lignes ou des bandes de largeur fixe (0.5-1 m) le long desquelles des échantillons de végétation sont analysés. La longueur du transect peut varier de 20 à 50 m, et même plus. Le long de chaque transect linéaire, on note le nom de chaque espèce qui se trouve tous les 25-30 cm. Pour un transect à bande on note le degré de couverture, en pourcentage de chaque espèce qui se trouve dans un quadrat de 0.5 x 0.5 m (ou de 1m x 1m) qui est placé à intervalles réguliers le long du transect même.

L'analyse des communautés végétales sur les transects permet d'identifier des gradients de variation floristique et environnementale et de mieux interpréter les tendances dynamiques des communautés, car la succession spatiale que l'on peut observer sur le terrain est très semblable à la succession qui se vérifie dans le temps sur un site donné. En milieu dunaire, où la couverture végétale change de manière directionnelle en fonction de la distance par rapport à la mer, l'exécution de transects permet de décrire la variation maximale de la végétation sur la plus courte distance, et en relativement peu temps. Toutefois, pour avoir une représentation significative des variations de la couverture végétale, il est recommandable d'exécuter au moins 3-4 transects, bien distancés les uns des autres, dans chaque site.

Si la description des communautés et l'individualisation des habitats d'intérêt communautaire est réalisée facilement grâce aux relevés floristiques, l'évaluation de l'état

et de la fonctionnalité des communautés et des habitats-mêmes demande un niveau de détail supplémentaire, ainsi que la réalisation d'analyses plus détaillées et plus onéreuses, parfois répétées dans le temps (suivi). Il s'agit en particulier d'observations concernant la consistance numérique des populations d'espèces guide et/ou l'analyse de leurs caractères fonctionnels (Garnier et al, 2001; Navas et al, 2003). Ces derniers (*Leaf Life Span* (LLS), *Specific Leaf Area* (SLA), *Leaf Dry Matter Content* (LDMC), par exemple), exprimant différents niveaux d'adaptation à l'environnement et/ou différents life strategies des espèces, représentent des indicateurs précoces des modifications qui se vérifient dans les écosystèmes et dans leur état fonctionnel.

Le suivi d'une intervention de végétalisation et l'évaluation de son succès ou de son échec nécessitent une analyse détaillée des populations d'espèces végétales de néoformation, pendant une période de quelques années. La détermination de la fréquence des espèces, en utilisant une méthode de relevés par quadrats (fig. 2), ou par transects linéaires, semble appropriée pour des interventions d'aide à la reprise de la végétation spontanée (voir chapitre 3.11).



Figure 2 – Quadrats pour l'estimation de la fréquence des espèces.

Les casiers de ganivelles (initialement dépourvus de végétation) peuvent également servir pour définir la zone de suivi, le couvert végétal peut être suivi par un inventaire des espèces, un comptage, une estimation du recouvrement ainsi que de l'estimation d'abondance-dominance de chaque espèce. Le comptage des nouvelles pousses sur un échantillon significatif d'individus (fig. 3) semble au contraire plus convenable pour évaluer une opération de végétalisation par bouturage direct ou par plantes cultivées en pépinière (voir chapitre 3.2.1).



Figure 3 – Comptage des nouvelles pousses pour évaluer une opération de végétalisation
(Photo N. Merloni).

La colonisation par la végétation peut être aussi évaluée de manière globale par un suivi photographique (fig. 4).

Systèmes Informatifs Géographiques (SIG)

L'utilisation de Systèmes Informatifs Géographiques (SIG) est recommandée dans l'étude de la végétation dunaire, pour obtenir des données géoreferencées, cartographiquement représentables et superposables dans l'espace et le temps, avec d'autres types de données. Dans un SIG, on peut emmagasiner des données qui proviennent de photo-interprétation (types physionomico-structurel), et/ou de relevés sur le terrain (espèces rares ou envahissantes, types de communautés, habitats d'intérêt communautaire). Les deux types de données sont réciproquement complémentaires; elles sont plus facilement utilisables et contribuent à la compréhension des relations entre les paramètres qui décrivent la végétation, si elles sont organisées dans un SIG. La même considération est valable pour tous les types de données qui décrivent le système dunaire (voir chapitre 1.1.3).



Figure 4 – Suivi photo de reprise de végétation.

1.2.2.4. Conclusion

L'étude de la végétation dunaire est nécessaire pour évaluer et préserver non seulement sa valeur patrimoniale mais également l'ensemble des services écosystémiques rendus. De plus, l'étude de la végétation dunaire est un élément indispensable pour la caractérisation des systèmes dunaires. Une meilleure compréhension du système et de son fonctionnement sera obtenue si les résultats des études sur la végétation sont analysés conjointement aux résultats des études géomorphologiques.

1.2.2.5. Intérêt du site d'étude pour l'application de ces techniques

Le site de Villeneuve-lès-Maguelone (France) nous permet d'appliquer l'ensemble des techniques de suivi de la végétation littorale présenté ci-dessus. La présence de nombreux habitats naturels nécessite une cartographie d'ensemble du site et des relevés phytosociologiques afin de déterminer les associations végétales caractéristiques. Un inventaire floristique le plus exhaustif possible sera dressé sur l'ensemble de la zone. *Euphorbia peplis*, espèce protégée en France, se développe de manière assez importante sur le haut de la plage du lido de Villeneuve-lès-Maguelone; cette espèce sera suivie par un comptage et une cartographie. Enfin, les espèces envahissantes présentes sur le site seront également cartographiées. En ce qui concerne le suivi de la végétation après végétalisation, il sera réalisé sur un autre site, puisque les travaux de reconstitution dunaire initialement programmés en automne 2007 sont décalés en automne 2008, en raison de jeux d'acteurs complexes. Les expériences de végétalisation et d'aide à la végétalisation seront toujours menées, mais sur un autre site héraultais.



Nord Est ^{SUD} Ouest
INTERREG III C



Sur le site de Foce Bevano (Italie), se trouve une dune reconstruite artificiellement qui était complètement dépourvue de végétation et qui a été végétalisée (octobre 2006) par implantation de *Agropyron junceum* et *Ammophila littoralis*. Les deux espèces ont été obtenues par bouturage de plantes recueillies en nature et cultivées ensuite en pépinière. Le site pilote permet avant tout d'appliquer des techniques de suivi pour évaluer la réussite de l'implantation. Mais, il est néanmoins intéressant d'étudier et d'évaluer l'état du système dunaire naturel confinant, en identifiant les communautés végétales et les habitats d'intérêt communautaire. Cela implique l'application de presque toutes les techniques de suivi de végétation ici présentées: la photointerprétation, les prospections sur le terrain, les relevés phytosociologiques et les transects.



1.2.3. Transport éolien

Université de Ferrara – U. Simeoni, C. Corbau, V. Brunelli, S. Gagnaniello, U. Tessari , g23@unife.it

1.2.3.1. Introduction

L'utilisation de modèles bien calibrés pour le calcul du budget sédimentaire devient une pratique courante pour les plans de gestion côtière et donc des stratégies de développement. Les dynamiques côtières éoliennes jouent un rôle important dans ces modèles puisqu'elles assurent un apport continu au système dunaire (élément important contre l'érosion et les ingressions marines dans les territoires d'arrière-dune).

Le budget sédimentaire du système dunaire est fonction des vents qui soufflent sur le littoral, et plus précisément de leur direction et intensité, ainsi que de la disponibilité sédimentaire qui dépend de l'ampleur de la plage.

1.2.3.2. Objectif

Chaque plage est caractérisée par un transport éolien potentiel qui est contrôlé par une série de facteurs comme l'intensité, la fréquence et la direction des vents, les caractéristiques texturales des sédiments, le facteur de rugosité, le fetch de la plage, la végétation, l'humidité, la température de l'air. Ces facteurs peuvent être estimés par l'utilisation de formules théoriques. Toutefois l'utilisation de données recueillies *in situ* permet de calibrer les modèles théoriques (*shear velocity*, facteur de capture, influence des ruptures de pente, etc.).

Outre au calcul du taux de transport éolien théorique, des mesures directes de transport sédimentaire éolien seront effectuées au cours de la mesure 3.4 de l'OCR Beachmed-e afin d'estimer l'erreur dérivante de l'application des modèles numériques et donc d'introduire des facteurs de correction pour compenser les éléments (morphologiques et dynamiques) non considérés par les modèles existants en littérature (O'Brien et Rindlaub, 1936, Bagnold 1941, Zingg, 1953, Hsu, 1973, Hsu, 1986).



1.2.3.3. *Matériels et Méthodes*

La mesure des caractéristiques du vent est réalisée grâce à une centrale anémométrique Micros (fig. 1) qui est installée sur la partie supérieure de la plage dans une zone dépourvue d'obstacles naturels ou artificiels pouvant altérer le flux des masses d'air. Elle doit être au moins dotée de deux anémomètres et d'une girouette (le Coastal Engineering Manual - US Army indique que les capteurs doivent être distants d'au moins 3 à 4 m), et, si possible, de deux autres capteurs: un pour l'humidité et l'autre pour la température de l'air. La capture des sédiments transportés par le vent est réalisée avec des pièges, installés de manière à perturber le moins possible le flux d'air et pouvant échantillonner une quantité de matériel statistiquement représentative.

De plus, il est nécessaire d'effectuer un relevé topographique de précision (voir paragraphe 1.2.1) des sections d'échantillonnage, au début et à la fin de l'expérimentation, et également de la zone environnante.

Analyses en laboratoire et données analytiques

Les sédiments capturés par les pièges, opportunément fermés et accompagnés d'une sigle appropriée (numéro du piège, point, date, etc.) sont successivement analysés en laboratoire par la méthode de sédimentation (balance de sédimentation).

La procédure de laboratoire débute par la pesée des échantillons et par leur oxygénation (H_2O_2 à 16 volumes) afin d'éliminer la substance organique présente. Successivement les sédiments, séchés dans une étuve à $105^\circ C$ pendant 24 heures environ, sont divisés mécaniquement jusqu'à obtenir la quantité optimale pour les analyses (entre 2.8 et 3.2 g pour balance de sédimentation).

A la fin des analyses, des programmes informatiques appropriés permettent de calculer les principaux paramètres texturaux selon les formules de Folk et Ward (1957) et d'obtenir les courbes de fréquence et cumulative du sédiment selon des intervalles de 0.5ϕ .

1.2.3.4. *Conclusion*

Les données du vent (vitesse et direction) et le diamètre moyen du sédiment permettent de calculer le taux de transport éolien théorique (Bagnold, 1941; Hsu, 1986) qui est ensuite comparé aux données expérimentales. Cette comparaison permet d'estimer l'erreur liée à l'application des modèles numériques et, comme indiqué précédemment, d'introduire des facteurs de correction pour compenser les éléments non considérés par les modèles.



La comparaison des différents relevés topographiques (début et fin d'expérimentation), intégrés à un Système d'Information Géographique (SIG), permet de visualiser et d'évaluer les variations morphologiques et d'estimer les volumes de sédiments mobilisés le long des sections expérimentales. La calibration du modèle permettra alors de calculer le taux de transport éolien sur de vastes traits côtiers, suffisamment homogènes, pour obtenir des indications générales à échelle régionale.

1.2.3.5. Intérêt du site d'étude pour l'application de ces techniques

Sur les sites pilotes du littoral de l'Emilia-Romagna, les mesures des caractéristiques du vent sont effectuées en utilisant une centrale anémométrique Micros (fig. 1) dotée de cinq capteurs: trois pour la mesure de la vitesse, un pour la direction du vent et un pour la température-humidité.



Figure 1 - Centrale anémométrique Micros.

Les caractéristiques du vent sont mesurées à une fréquence de 1 Hz grâce à trois anémomètres situés respectivement à 0.5 m, 1.8 m et 3 m du sol, et une « girouette » (située à 3 m du sol). Par contre, le capteur de température et d'humidité, situé à environ 1.8 m du sol, est programmé pour effectuer une mesure toutes les 10 min.

Lors de l'expérimentation, des pièges modifiés de type Rosen (1978, fig. 2) ont été plantés le long de section (haute plage; pied, flanc marin et crête de la dune; zone d'arrière-dune). De plus, pour évaluer l'influence de la végétation sur le transport éolien, un piège peut être



placé là où la dune présente une couverture végétale "éparse". Les temps de capture éolienne, opportunément enregistrés, dépendent des conditions météorologiques, et principalement de la vitesse du vent. Pour déterminer l'humidité, les sédiments recueillis sont pesés in situ et en laboratoire, après leur séchage.



Figure 2 – Piège éolien modifié de type Rosen (1978).

Au cours de l'expérimentation il est utile d'échantillonner les sédiments superficiels à proximité des pièges, et d'effectuer des relevés topographiques précis en utilisant par exemple un système dGPS (fig. 3).



Figures 3a & 3b – Relevé topographique réalisé à l'aide d'un dGPS.



1.2.4. Nappe phréatique

CIRSA – G. Gabbianelli, giovanni.gabbianelli@unibo.it

1.2.4.1. Introduction

Les dunes côtières grâce à leurs caractéristiques de haute porosité et perméabilité peuvent être un excellent réservoir pour l'eau douce (Stuyfzand, 1989). Les dunes sont siège d'un aquifère phréatique doux qui est facilement rechargé et joue un rôle important pour le contraste des intrusions d'eau salée (Bear, 1999).

De nos jours, la valeur sociale et environnementale de la ressource en eau augmente de manière considérable. Par conséquent il est opportun d'évaluer la quantité de l'eau au sein des dunes côtières. Bien que dans de nombreux pays de l'Europe du nord les dunes côtières soient considérées des réservoirs stratégiques pour le stockage et l'exploitation des eaux douces, les pays méditerranéens ont considérablement sous-estimé l'importance des dunes comme aquifères. Ce fait pouvait être initialement justifiable compte tenu des petites dimensions des systèmes dunaires méditerranéens par rapport aux systèmes de l'Europe du nord- Europe. Cependant cela n'est plus admissible car cette ressource diminue progressivement en Méditerranéen (EU, 2005; IPCC, 2007). D'autre part, l'eau douce contenue dans les aquifères des dunes est d'extrême importance pour les habitats côtiers, pour la biodiversité des zones humides, pour les caractéristiques pédologiques et agronomiques des terrains cultivés, etc.

Le monitoring de ce phénomène est en train d'être expérimenté au niveau de deux « Sites Tests »:

- a) Une dune aujourd'hui encore peu anthropisée et donc avec une grand valeur naturaliste (Zone Ramsar, SIC/ZPS, Emilia Romagna Po Delta Parc; fig. 1a). Ici le monitoring sera réalisé soit sur une dune ancienne, soit sur une partie de dune de formation récente (construction artificielle);
- b) Une dune sélectionnée comme comparaison pour ses caractéristiques de dune non protégée et intéressée par une évidente anthropisation (fig. 1b).

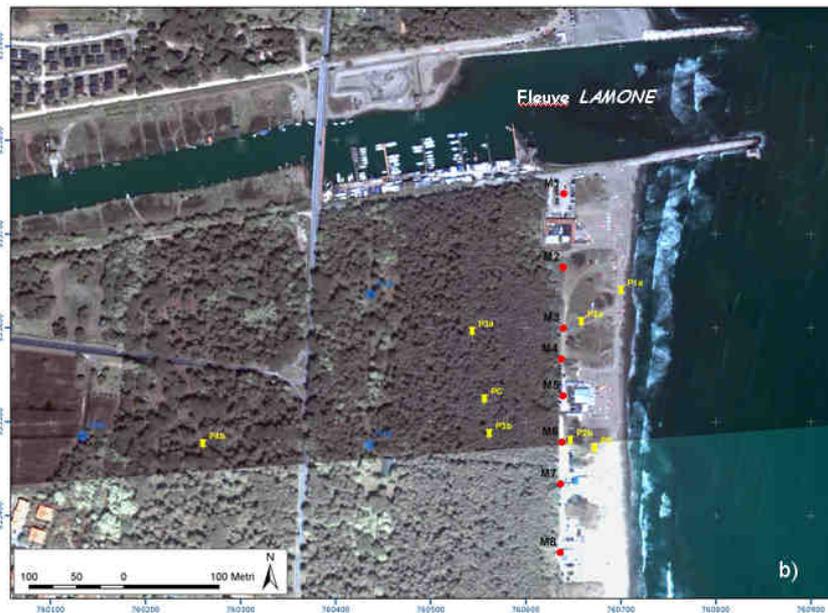


Figure 1 – En haut (a): la zone de la Foce Bevano. On note en particulier la dune artificielle reconstituée du côté Nord et la position de l'embouchure. En bas (b): la zone nord de Marina Romea montrant la dune résiduelle objet d'étude. Légende: 1) jaune: position du réseau piézométrique adopté; b) rouge: position du relevés géo – électrique quadripolaire.

1.2.4.2. Objectif

L'objectif principal des relevés prévus est d'appréhender et améliorer significativement les connaissances sur les caractéristiques, le fonctionnement et, surtout, l'éventuel aménagement de l'aquifère phréatique doux existant au niveau des dunes côtières.

L'aquifère est facilement rechargé et joue un rôle important pour le contraste des intrusions d'eau salée. D'autre part, ces eaux douces sont actuellement très importantes pour les habitats côtiers en considérant également les variations climatiques prévues au niveau global et local.

1.2.4.3. Matériels et Méthodes



La caractérisation hydrologique - hydrogéologique effectuée comprend les actions et procédures techniques - opérationnelles suivantes:

1. Caractérisation géométrique du conteneur aquifère par des méthodologies directes de mesure sur le terrain (DGPS, tachéomètre, piézométrie, et cetera.) et indirectes (géo - électrique «Système Wenner») suivi d'une modélisation obtenue par l'inversion des résultats obtenus. De telle manière on pourra identifier le top de l'aquifère et son embasement imperméable;
2. Caractérisation des propriétés hydrauliques des aquifères des dunes étudiées (conductivité hydraulique et porosité) par test de pompage et méthodologies géophysiques indirectes (géo - électrique employée pour le calcul du facteur de formation, méthodes de laboratoire).
3. Calcul des volumes d'eau douce contenue dans les systèmes de dunes côtières et de leur fluctuation saisonnière. Distribution de l'eau douce en trois dimensions à l'intérieur de l'aquifère par le software de visualisation 3D (ROCKWORKS).
4. Identification des facteurs qui contrôlent la quantité d'eau douce dans l'aquifère des dunes (végétation, étangs dans la zone à l'arrière des dunes, activité anthropique, temps de recharge et de formation d'une stratification de densité).

ACTION 1

- le top du réservoir (surface de la dune) sera identifié (en accord avec les indications des «Protocoles méthodologiques spécifiques appliqués aux sites pilotes: caractérisation détaillée» par EID Méditerranée, UNIFE et CIRSA; cfr. § 1.2.1 - présent rapport) par un système DGPS différentiel qui permet d'obtenir une précision centimétrique. L'appareillage mis en œuvre est un système DGPS centimétrique de très haute précision, modèle Topcon GB500 (Base and Rover) avec «Real Time Kinematic Technics (RTK)». Pour cette typologie de relevé, qui comprend aussi la plage située en face des dunes, on prévoit une fréquence semestrielle (hiver – été). Enfin, sur quelques sections utiles (emplacements des piézomètres, relevés géoélectriques), des mesures saisonnières par des relevés au tachéomètre classique seront réalisées (pour toute la durée du projet).

Toutes les données sont référées au système international UTM (Universelle Transverse de Mercatore) Datum ED50 (WGS84 comme deuxième référence et Roma 40/Gauss-Boaga comme troisième). Les coordonnées géographiques et kilométriques sont référées au fuseau 32 Zone T. Pour respecter la cohérence et l'utilisation immédiate du

système utilisé par le SIT (Système Informatif Territorial) de la Regione Emilia Romagna, Province et Municipalité de Ravenna, il est possible soustraire la valeur de « 4000000 m » aux coordonnées kilométriques Nord.

Tous les relevés seront ensuite paramétrés et archivés selon la structure du data base GIS crée et indiqué pour ce projet (cfr. § 1.1.3, tab. 1).

- le top de la zone saturée sera relevé par des piézomètres, positionnés au moyen de DGPS, mis en place à une profondeur maximale de 5/7 m par un système de perforation portable type «Eijkelkamp». Le système (constitué par des types différents de foreuses, tuyaux de revêtement en matériel synthétique, casing en acier, etc., fig.2) permet d'enfoncer les piézomètres du diamètre de 70 mm jusqu'à une profondeur de 7 m environ.



Figure 2 - A gauche (a): Système de forage type «Eijkelkamp» (NL); au milieu (b): exemple de piézomètre utilisé avec perforations chaque 25 cm; à droite (c): emplacement définitif.

D'autre part, au niveau du site de Foce Bevano, un petit réseau piézométrique (avec 7 piézomètres) localisé au pied et sur le sommet des dunes a été réalisé. Dans le site de Marina Romea, 3 piézomètres sont localisés en correspondance des dunes et un quatrième puits a été positionné le long d'un transept représentatif de la zone d'arrière de la plage (fig. 1b).

Le relevé de la profondeur de la nappe phréatique par rapport à la surface topographique a été effectué par un phréatimètre avec gradation centimétrique et signaleur acoustique et visuel de réalisation du niveau.

Pour la mesure de la conductibilité, la sonde (HANNA Instruments) est réglée avec une solution standard 1,413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de 25 degrés; l'erreur sur la mesure de la conductibilité est de $\pm 0.5\%$ de la valeur enregistrée, celle de la mesure de la température est de ± 0.1 °C.

En correspondance de chaque piézomètre les paramètres ont été mesurés tous les 0.25 m à partir de la surface phréatique jusqu'à la base du piézomètre. Cela permet d'obtenir des

profils verticaux de température et salinité. La salinité est calculée à partir des données de conductibilité électrique spécifique et la température en utilisant la formule de conversion selon Lewis et Perkins (1981) et reportée dans le Rapport n. 44 de « UNESCO Technical Papers (1983) ».

Les mesures du niveau et de conductibilité sont effectuées mensuellement; on prévoit d'effectuer, sur au moins deux piézomètres (un pour la zone Sud et un pour celle Nord) quelques corrélations entre le niveau de la nappe phréatique le niveau de la marée.

La base de l'aquifère et l'interface entre l'eau douce et l'eau salée sera identifiée par un système géo - électrique quadripolaire type «PASI Ltd en configuration Wenner» (fig. 3).

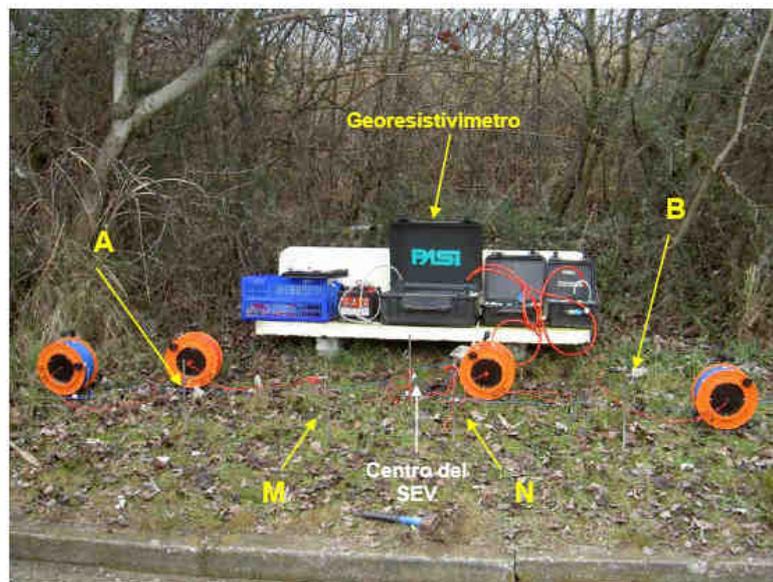


Figure 3 – Système géo - électrique quadripolaire «PASI en configuration Wenner».

Au moyen des recherches géo-électriques, il est possible d'obtenir une évaluation de la résistivité électrique du terrain en mesurant la variation spatiale de la différence du potentiel au passage de l'électricité entre des électrodes plantées en surface. La résistivité électrique du terrain est liée à différents paramètres: les plus importants sont la lithologie, la quantité en eau et sa salinité. Les mesures ont été réalisées avec deux couples d'électrodes plantés dans le terrain: l'une pour la transmission de l'énergie électrique et l'autre pour mesurer la différence de potentiel. En augmentant la distance entre les électrodes d'énergisation on a mesuré la résistivité à différentes profondeurs d'investigation. Les électrodes de potentiel sont espacées de 0.8 m alors que les électrodes de courant sont espacées d'une distance variable (15m, 20m, 25m, 30m, 40m). Des mesures indépendantes ont été réalisées aux sites de chaque quadripôle d'après une

configuration Schlumberger (fig. 4), pour obtenir des valeurs de résistivité correspondantes respectivement aux différentes profondeurs.

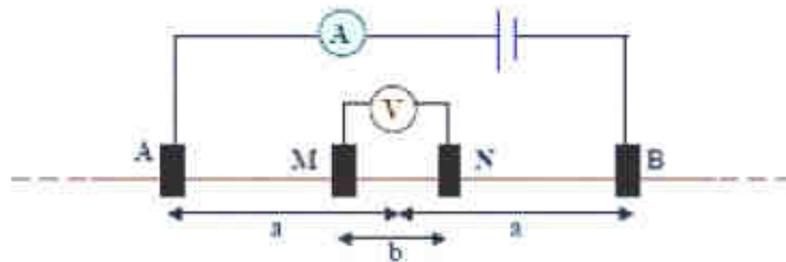


Figure 4 – Schème géo - électrique quadripolaire «Schlumberger». 1) A e B: électrodes de courant; 2) A: ampèremètre; 3) M et N: électrodes de potentiel; V: voltmètre pour la mesure de la différence de potentiel. Les quatre électrodes sont disposés à des intervalles constants, et alignés symétriquement par rapport au centre de mesure (au milieu des électrodes M et N).

Finalement les données obtenues sont élaborées par un software spécifique («VES/ Vertical electric Sounding», Rock Ware - Inc. Earth Science et GIS Software).

Un calibrage opportun, réalisé par l'opérateur en utilisant les données directes obtenues au moyen des piézomètres, permet d'obtenir le modèle du sous-sol qui résulte plus cohérent avec les mesures obtenues. Cette opération a lieu en changeant 2 modèles: la profondeur de la couche et la résistivité. La meilleure des courbes obtenues donne des indications sur l'épaisseur des trois couches recherchées (couche non saturée, couche avec eau douce et couche avec eau salée) et sur les valeurs de résistivité de chacune. Telle méthodologie permet ainsi de déterminer la profondeur de l'interface eau douce-eau salée.

Les reliefs géo- électriques seront calibrés par la récupération des échantillons du carottage continu lors de la mise en place des piézomètres. Les reliefs géo - électriques seront de deux types: 1) carottages géo - électriques verticaux centrés avec un offset croissant entre les électrodes pour échantillonner le sous - sol à une profondeur croissante; 2) identification de la résistivité de la zone à trois niveaux (3, 6, et 12 m) au moyen de recouvrements latéraux des étendages des électrodes qui seront maintenus à une distance constante pour chaque niveau de profondeur. Après le calibrage, les données géo - électriques seront interprétées en employant une procédure d'inversion grâce aux softwares RESIST, VES, et WINSEV.



ACTION 2

- Le calcul de la porosité sera réalisé par la méthode basée sur le facteur de formation et sur la «Loi d'Archie» en utilisant des données de résistivité pour un aquifère à sable propre envahi d'un fluide (R_o) obtenues avec le système géo - électrique quadripolaire et des données de résistivité du fluide d'invasion (R_w) mesurée directement ou en laboratoire par un conductimètre «HANNA». La porosité sera calculée sur des sections subtiles des échantillons de sable récupérés sur place au moyen des calques de craie, au moyen de résine (mélange de deux fluides) à basse viscosité durcissant. Le calcul de la porosité sera réalisé à l'aide d'un software pour l'analyse des images (sur image segmentée) de NHI (American National Health Institute).
- La conductivité hydraulique sera calculée en employant la méthode de Jacob (1950) et les fluctuations des niveaux phréatiques dans les piézomètres pendant les variations des phases de marées. En plus de cette méthode, on fera des essais directs dans les piézomètres au moyen de slug tests qui seront ensuite élaborés par le software «AQUATESOLVE» et la méthode «Bouwer et Rice» (1976).

ACTION 3

- une fois reconstitué le développement des trois surfaces: fond de la aquifère - top de la zone saturée - surface topographique des dunes, on procédera à leur gridding au moyen d'un système SIG (Arcgis ou GRASS) et à leur visualisation 3D avec le software de «ROCKWORKS (Rocksuite 3D)». Ce software permet de calculer également le volume des sédiments contenus entre des surfaces contiguës par une simple soustraction des valeurs du grid.
- une fois obtenus les volumes de la zone saturée, d'infiltration, salée, saumâtre, etc., il sera possible de calculer la quantité d'eau effectivement contenue dans l'aquifère des dunes en utilisant les valeurs de porosité mesurés au cours de la phase deux.

ACTION 4

- en utilisant le software «MODFLOW», le système de visualisation «Visual MUDFLOW PRO» (Schlumberger) et le package additionnel «SEAWAT», il sera possible d'évaluer l'effet des variations de précipitation, de température (pouvant être obtenus à partir des mesures ARPA-SIM; http://www.arpa.emr.it/sim/?osservazioni_e_dati) et



d'évapotranspiration (modélisé par CROPWAT), sur la quantité d'eau douce contenue dans l'aquifère.

En plus, en explorant différentes typologies de zones côtières, par exemple, pédologie différente, présence de zones à forêt, de zones cultivées ou de zones humides avec étangs à l'arrière de la dune, etc., il sera possible de préciser l'influence des différentes conditions du voisinage sur la quantité d'eau douce dans l'aquifère sous la dune.

L'exigence d'assurer un contrôle constant de l'évolution territoriale de la zone pourra être réalisée à l'aide de l'acquisition annuelle des images satellitaires du type QuickBird. Il s'agit, de données numériques avec une résolution au sol de l'ordre de 0,6 m, parfaitement géoréférencées sous environnement SIG et indispensables pour ajourner régulièrement les principales modifications de la zone. Finalement, même du point de vue qualitatif, il est important de pouvoir enregistrer et disposer rapidement des modifications spécifiques et des transformations territoriales (par exemple, suite à une tempête d'intensité spéciale, actions anthropiques, crues fluviales, incendies, etc.); toutes ces informations sont également utiles pour la télésurveillance du système des dunes. À cet effet des relevés aériens locaux (au moyen d'un petit aérien de tourisme avec une hauteur de vol de 300 m) sont réalisés avec une acquisition d'images digitales classiques puis élaborées par un software de type Autopano Pro V1.3.0.

1.2.4.4. Conclusion

La caractérisation hydrologique - hydrogéologique présentée ci-dessus permettra de définir et d'évaluer la présence éventuelle d'eau douce contenue dans les aquifères des dunes. Les aquifères pourraient avant tout jouer un rôle important pour le contraste des intrusions d'eau salée; de plus l'eau douce contenue dans les dunes est actuellement d'extrême importance pour l'entretien des caractéristiques physiques – naturelles des habitats côtiers et de la stabilité globale des plages.

1.2.4.5. Intérêt du site d'étude pour l'application de ces techniques

Les exigences actuelles liées aux zones côtières et, surtout, la GIZC (Gestion Intégrée des Zones Côtières; CE, 2007), requièrent une attention toujours plus importante des cordons dunaires et aussi de ses rapports « totaux » (aussi bio – écologiques) avec la plage et avec les zones d'arrière dunes.



Ces exigences requièrent aujourd'hui un monitoring systématique intégré de l'ensemble de ce milieu qui doit être réalisé au moyen de relevés DGPS et tachéométriques afin d'ajourner les conditions topographiques - altimétriques et morphologiques de ce territoire, surtout par rapport aux éventuels problèmes érosifs et d'inondations. Ces problèmes commencent à influencer les induits en raison de l'élévation prévue du niveau marin, liée aux causes climatiques ou à la subsidence.

La récente vérification de l'existence et de la disponibilité d'une nappe d'eau douce dans les dunes résiduelles, même modestes et partiellement détériorées, s'est révélée très importante. Cette présence (surtout pour l'avenir en considérant aussi les changements climatiques actuels) pourrait constituer un élément primaire de résilience par rapport à l'intrusion saline et aussi de manière plus générale de disponibilité d'eau douce.



2. LA GESTION DES BIOMASSES VEGETALES DE PLAGES

MAREVIVO – G. Bovina, giancarlo.bovina@geosphera.191.it
ICRAM – S. Cappucci, E. Pallottini s.cappucci@icram.org

2.1. INTRODUCTION

De tous les dépôts de restes végétaux qui s'accumulent sur les littoraux après les événements de tempête, la *Posidonia oceanica* donne origine aux accumulations plus caractéristiques et de plus grandes dimensions. Ces accumulations sont également nommées *banquettes* (AA.VV., 2007). Ces formes caractéristiques d'accumulation jouent un rôle écologique important à différents points de vue:

- Aspect du paysage: les *banquettes* sont des véritables structures pouvant atteindre 2 à 3 m de hauteur. Leur morphologie particulière confère à la plage un aspect caractéristique (fig. 1). La formation de *banquette* consistante s'observe généralement sur les plages de petite dimension et les côtes rocheuses ou encore en présence de structure de protection côtière. Des *banquettes* bien structurées peuvent être par exemple observées en Sardaigne, en Corse et en Sicile.
- Aspect écologique: les restes de *Posidonia oceanica* constituent une fraction importante de la production primaire des prairies de cette phanérogame (la production primaire moyenne nette de *Posidonia oceanica* est de $420\text{gMS}^1/\text{m}^2/\text{an}$ - Boudouresque, 2006): les restes représentent une ressource importante pour le réseau trophique côtier (Ott et Maurer, 1977) et contribuent de manière non négligeable à la productivité côtière globale (Giorgi et Thélin, 1983; Mazzella et Ott, 1984). En effet, les restes de *Posidonia oceanica* et des autres phanérogames marines, accumulés sur la plage, n'ont pas encore complété leur cycle biologique et doivent subir différentes modifications afin d'être utilisés par le réseau trophique côtier. Ces restes sont notamment fragmentés par des processus physiques et biologiques, et représentent une importante source de nourriture et de carbone, "en particule" et dissous (Marevivo, 2001; Boudouresque et al, 2006; AA.VV., 2007).
- Protection du littoral: les biomasses végétales accumulées sur la plage protègent directement le littoral de l'érosion. Elles contribuent également à l'atténuation de l'énergie

¹ MS = Masse sèche; Les valeurs sont locales, à moins qu'elles ne soient dues à des artefacts méthodologiques (Boudouresque, 2006).



de la houle (réduction de l'hydrodynamisme de 10% à 75% en dessous de la feuille; Jedy de Grissac et Gambi et al, 1999; Gacia et al, 1999) et à la protection physique des plages au cours des tempêtes. En outre, les biomasses contribuent à la conservation des écosystèmes et des habitats côtiers. Une partie de ces restes est en effet transportée vers le haut de la plage jusqu'à atteindre le pied de la dune. Ici, la croissance des espèces végétales pionnières, utiles pour la consolidation des dépôts éoliens, est favorisée par la décomposition de la biomasse, qui fertilise le terrain tout en protégeant la végétation (Marevivo, 2002). De plus, le niveau élevé de salinité ne constitue pas un facteur limitant puisqu'il s'agit d'espèces côtières pionnières.

Par contre, la plupart des biomasses végétales terminent leur cycle en mer, où elles effectuent un « retour » après une période de temps plus ou moins longue en fonction des conditions météo marines de la zone d'accumulation.



Figure 1 – Février 2007: *banquettes* le long du littoral de S. Agostino (Latium septentrional).

Il convient également de souligner que les zones intéressées par les accumulations végétales sur la plage et par la formation de banquettes constituent un des habitats marin-côtiers appartenant à la liste des biocénoses benthiques de la Mer Méditerranée et sont considérées



« dignes de sauvegarde » par le protocole SPAMI de la Convention de Barcelone (sur les Zones Spécialement Protégées et la Biodiversité en Méditerranée).

La classification et la liste de ces habitats sont reportées ci-dessous:

I. SUPRALITTORAL

I. 2. SABLES

I. 2.1 Biocénoses des sables sopralittoraux

I. 2.1.5. Faciès des phanérogames qui sont accumulées sur la plage (partie supérieure)

II. MESOLITTORAL

II. 3. ROCHERS ET GALETS

II. 3.1 Biocénoses du détritique du mésotidal

II. 3.1.1. Faciès des amas végétaux sur la plage (*banquettes*) de feuilles mortes de *Posidonia oceanica* et autres phanérogames

2.2. OBJECTIFS

Un des objectifs du présent projet consiste à rédiger des lignes guides pour la gestion des biomasses végétales accumulées sur la plage.

Puisque une révision générale de la normative européenne est plutôt complexe, la procédure décrite dans les lignes guides est principalement basée sur la Circulaire du Ministère Italien de l'Environnement et de la Protection du Territoire et de la Mer en essayant de fournir des indications précises.

Les indications de la Circulaire n. 8123/06 sont reportées et discutées ci-dessous. Un approfondissement est dédié à la solution indiquée ci-dessous comme "solution 2", qui prévoit le déplacement des accumulations. Parmi toutes les solutions actuellement connues et pratiquées, cette solution est la plus articulée. Elle est aussi la seule qui prévoit la rédaction d'une procédure normative appropriée pour permettre le déplacement de ces accumulations selon les caractéristiques du cas.



2.3. LA GESTION DES BIOMASSES VEGETALES ACCUMULEES SUR LA PLAGES

2.3.1. Encadrement Normatif

Comme indiqué précédemment, il est évident que "l'enlèvement" de grande quantité de biomasses végétales accumulées sur la plage, qui n'ont pas encore terminé leur cycle écologique, peut être extrêmement nuisible car ces restes de biomasses revêtent une importance non négligeable pour le maintien des équilibres biologiques et physiques du système côtier.

Pour favoriser une gestion intégrée correcte de la zone côtière, il est nécessaire d'analyser soigneusement la possibilité d'adopter des solutions alternatives (fig. 5) au déplacement mécanique des biomasses végétales de plage et de leur dépôt en décharge.

A ce propos, le 17 Mars 2006 le Ministère de l'Environnement et de la Protection du Territoire de l'époque a émis une Circulaire (n. 8123/2006) concernant la "gestion de la posidonie accumulée sur la plage". Le texte est reporté ci-dessous:

"Les accumulations de feuilles de Posidonia oceanica est un phénomène naturel dont l'intensité dépend des étendues des prairies situées près des littoraux, et qui s'observe chaque année dans tous les pays de la Méditerranée.

Les accumulations de biomasse de plage (banquettes) jouent un rôle important pour la protection des plages contre l'érosion et contribuent directement ou indirectement à la vie des biocénoses animales et végétales de la plage; en effet elles exercent une fonction active dans la capture d'énormes quantités de sédiment qui est piégé entre les couches superposées de feuilles (on estime qu'un mètre cube de banquette soit en mesure de capturer environ 40 kg de sédiment meuble). Intervenir en "déplaçant" la posidonie de plage de son siège naturel signifie accélérer l'érosion et compromettre l'intégrité de l'habitat côtier, qui subit déjà dans de nombreuses zones une réduction de l'apport sédimentaire. Cela oblige les administrations locales à réaliser des interventions importantes et coûteuses de protection de la côte et de rechargement de plage.

Cependant, la nécessité du point de vue écologique de maintenir en place la posidonie accumulée sur la plage s'oppose à l'utilisation touristique des plages, car les banquettes peuvent produire des phénomènes de putréfaction et sont peu appréciées par les baigneurs.



Pour résoudre ces problèmes, les communes côtières ont progressivement adopté différentes solutions y compris des interventions coûteuses de récolte et de versement en décharge de ces biomasses accumulées sur la plage.

On ne retient pas utile de fournir une règle et un modèle univoque, mais il est nécessaire d'adopter des solutions flexibles en fonction de la spécificité des lieux et des situations sociales et économiques.

Les éventuelles interventions peuvent être ainsi résumées:

- *Maintien sur place des banquettes (sur le modèle des "plages écologiques" adopté en France dans quelques zones marines protégées). Cette solution, la meilleure du point vue écologique, doit être réalisée quand il n'existe pas de conflit avec les exigences de la baignation et de l'utilisation des plages ou encore sur des sites côtiers fortement en érosion. Cette solution est souhaitable pour les zones marines protégées et pour les zones A et B des Parcs Nationaux. Son efficacité est augmentée grâce à des campagnes d'information/sensibilisation du public. En ce qui concerne les aspects hygiéniques – sanitaires, les données scientifiques n'ont pas mis en évidence que la biomasse de plage représente un danger vis-à-vis de la santé de l'homme.*
- *Déplacement des accumulations. La biomasse peut être stockée à terre au sec, transportée vers des zones éloignées de la plage où elle s'est accumulée, transportée sur des plages peu accessibles ou peu fréquentées par des baigneurs ou sur des plages en forte érosion. Le déplacement peut même être saisonnier, avec déplacement de la posidonie en été et son retour au lieu d'origine pendant l'hiver. Les localités intéressées par cette solution (par le déplacement et ses modalités) devront faire l'objet de mesures appropriées, qui seront adoptées par des Organismes du Parc ou de la Région compétente, c'est-à-dire par les Communes intéressées.*
- *Déplacement permanent et transfert en décharge. « Là où il existe de réelles incompatibilités entre les accumulations de biomasse et la fréquentation des plages (phénomènes de putréfaction, mélange des débris végétaux avec des déchets), les banquettes peuvent être enlevées et traitées comme déchets urbains selon la réglementation en vigueur ».*

2.3.2. Interprétation de la Circulaire n. 8123/2006 du MATT

2.3.2.1. *Maintien en place des banquettes (SOLUTION 1)*



Il est évident que la meilleure solution est le maintien sur place et la protection des *banquettes* et des accumulations de plage. Les formations bio-géomorphologiques, comme les *banquettes*, devraient être protégées de manière spécifique. De plus, ses composants devraient être gérés de manière durable, en accord avec les principes de protection et de conservation des ressources naturelles et des fonctions écologiques.

Cette solution, en plus de protéger ce délicat habitat lié aux accumulations végétales de plage, n'interfère pas avec le rôle de protection directe et indirecte que jouent ces accumulations sur les littoraux en érosion.

Selon l'exemple de stratégie analogue, appliquée sur certaines plages de la France (fig. 2), il faudrait:

- Retirer périodiquement les refus et les séparer du matériel végétal;
- Doter la plage de panneaux informatifs pour sensibiliser et informer les baigneurs sur l'importance et le rôle que jouent les accumulations de biomasses végétales, et en particulier des phanérogames marines, à l'intérieur du système plage- dune.



Figure 2 – Exemple de gestion écologique d'une plage en France méridionale (Tombolo de Giens): les *banquettes* sont laissées sur place alors que les déchets sont régulièrement séparés sans l'utilisation de moyens mécaniques.

2.3.2.2. Déplacement des accumulations (SOLUTION 2)



Là où pour des raisons essentiellement touristiques il est nécessaire de choisir le déplacement, différentes actions de réutilisation peuvent être identifiées, en réaffirmant toutefois, que les déplacements de matériel de plage doivent être réalisés selon des méthodologies compatibles avec la fragilité de l'environnement côtier.

L'opération préliminaire consiste à séparer les déchets d'origine anthropique et les biomasses végétales de plage au moyen de procédures manuelles ou semi-manuelles pour réduire au minimum la soustraction des sédiments à la plage.

Les *banquettes* peuvent retenir des quantités variables de sédiment même si les mesures directes actuellement disponibles sur la composition des dépôts indiquent des incidences maximales de 2 ÷3% en poids (Marevivo, 2002). Cela n'empêche pas que le déplacement du matériel végétal implique la soustraction de quantité de sédiment qui peut être significative en cas de déficit sédimentaire.

Ainsi, une des actions possibles est la réutilisation de la fraction végétale sur la plage même, ou sur des zones côtières limitrophes, afin de protéger les plages et/ou de restaurer les dunes. A ce propos, il convient de préciser que la concentration élevée de sel (NaCl), qui caractérise les biomasses végétales de plage, ne constitue pas un facteur limitant pour la végétation dunaire, naturellement halophile (qui au contraire constitue une entrave pour la production de compost). Il existe alors deux possibilités:

a. Déplacement des accumulations *in situ*.

Les biomasses des végétales de plage pourront être accumulées au pied de la dune et/ou à son sommet si les caractéristiques morfo-sédimentologiques des plages et les caractéristiques des dépôts (présence réduite de déchet dans les accumulations) le permettent. La fraction plus grossière des restes végétaux (restes ligneux des arbres) peut être notamment utilisée pour protéger le pied de la dune, alors que le dépôt de la fraction plus fine (phanérogames marines) sur l'avant-dune pourra favoriser le dépôt du sable.

En revanche, les feuilles de *Posidonia oceanica* et/ou d'autres phanérogames marines peuvent être utilisées comme amendement sur la surface de la dune afin de réaliser des « structures » pour éliminer ou réduire la dimension des passages et des *blowouts*. Au cours du présent projet, les chercheurs de l'EID Méditerranée et de l'ICRAM ont visité le site du Tombolo de Giens (France méridionale) où les restes de phanérogames marines

ont été utilisés comme matrice principale pour la reconstruction d'une dune côtière (fig. 3).



Figure 3 - Exemple de reconstruction d'une dune grâce aux restes de *Posidonia oceanica* et à la plantation d'espèces végétales (Tombolo de Giens, France).

Puisqu'il n'est pas prévu l'utilisation de moyens de transport pour le déplacement des dépôts de plage, cette opération ne devrait pas être considérée comme une procédure de récupération des refus. Ces derniers doivent être par contre périodiquement éliminés. Par conséquent, la caractérisation physico-chimique de ces restes de biomasse n'est pas retenue nécessaire.

b. Déplacement des accumulations *ex situ*.

Si la plage est menacée, par exemple, à cause (1) d'une nette tendance érosive, (2) d'un niveau d'anthropisation trop élevé, (3) d'une dune irréversiblement endommagée ou absente, il serait opportun de réutiliser les matériels végétaux de plage pour la reconstruction des dunes, même si ces restes végétaux se trouvent sur d'autres sites, mais appartenant à la même unité physiographique², ou bien proches de la zone d'accumulation des débris végétaux provenant de la même prairie de posidonie.

Dans ce cas, la réutilisation des biomasses végétales de plage pour réaliser des interventions de restauration morphologique pourrait impliquer le transport et le

² L'unité physiographique représente un trait de côte où les mouvements sédimentaires sont confinés à l'intérieur de ses deux limites extrêmes de telle manière que les échanges le long de ces limites peuvent être considérés nuls (Lucarini et al, 2007).



transfert de ces matériels d'un site à l'autre. Dans le cadre de POSIDUNE, de manière exclusivement expérimentale et dans l'attente d'un cadre normatif plus précis, il a été décidé de réaliser une expérimentation pour la récupération de matériels actuellement traités génériquement comme refus urbains malgré leur indiscutable valeur écologique et environnementale (AA.VV., 2007).

En conséquence, pour réaliser des interventions de restauration qui appartiennent à cette catégorie (solution 2b), il peut être utile de procéder à une caractérisation du point de vue compositionnelle et chimique des dépôts de plage. Cette caractérisation doit être préalablement autorisée (Circulaire du Ministère de l'Environnement et de Protection du Territoire n. 08123 du 17 Mars 2006). Les contrôles analytiques peuvent être réalisés grâce à des analyses appropriées et des tests relatifs de cession, comme indiqués dans le paragraphe § 2.3.3.4, tableau 1.

Dans ces cas, il est retenu que les paramètres considérés doivent être identiques aux concentrations maximales autorisées pour l'utilisation de sédiments lors d'interventions de rechargement artificiel des plages, comme prévu par D.M. 367 de 2003 (tab. 1).

ELEMENT	LIMITE (mg/kg s.s.)	ELEMENT	LIMITE (mg/kg s.s.)
As	12	Cr	50
Hg	0.3	IPA totaux	0.2
Pb	30	PCB	0.004 (provisoire)
Cd	0.3	TBT	0.005
Ni	30		

Tableau 1 - Liste des éléments et des concentrations maximales admissibles selon le L. 367/03 (et s.m.i.) en fonction des standards de qualité des sédiments d'eaux marines-côtières.

2.3.2.3. Déplacement permanent et transfert en décharge (SOLUTION 3)

La mise en décharge des biomasses végétales de plage (même comme matériel recouvrant les refus) devrait être réalisée seulement en cas de réelle nécessité, c'est-à-dire dans l'impossibilité d'adopter des solutions alternatives. En effet, outre la soustraction irréversible des biomasses au système côtier, cette solution comporte d'autres impacts environnementaux, tel que:

- détérioration de la végétation dunaire pionnière et des formes d'accumulations embryonnaires sableuses;



- soustraction systématique des sables aux plages souvent en déficit sédimentaire, déficit actuellement chronique le long de la plupart des plages italiennes. Ce problème pourrait être résolu en séparant les sédiments des refus avant de les transporter en décharge.
- coûts élevés pour la récolte, le transport et la destruction des substances organiques ;
- occupation de volume en décharge.

2.3.3. Caractérisation des biomasses végétales de plage

2.3.3.1. Individualisation des biomasses végétales de plage

L'identification des lieux potentiels d'accumulations des biomasses végétales le long des côtes est fondamentale pour approfondir les aspects liés à leurs caractéristiques morphologiques et chimiques.

Cette opération préliminaire pourra être exécutée par:

- Des observations réalisées par des études précédentes le long des côtes étudiées;
- L'étude de la distribution des prairies de phanérogames marines le long des côtes étudiées;
- L'analyse des signalisations et des observations imprévisibles de phénomènes d'accumulations de plage.

Les études relatives à la présence et caractérisation des accumulations de phanérogames marines le long des côtes italiennes et méditerranéennes ne permettent pas de reconstruire un cadre complet de leur distribution: les informations disponibles concernant les littoraux intéressés par ce phénomène et l'entité des accumulations sont extrêmement sporadiques et fragmentaires, même si le problème lié à leur gestion implique toutes les communes riveraines. Actuellement, la seule étude concernant la distribution et la caractérisation des accumulations de *Posidonia oceanica* et d'autres phanérogames marines est la Convention stipulée en 2001 entre le Ministère de l'Environnement et de la Protection du Territoire de l'époque et l'Association Environnementaliste Marevivo (Marevivo, 2002).

Il apparaît donc nécessaire de combler ces lacunes par des activités spécifiques de recherche pour recueillir des données relatives à la position et à la typologie des accumulations de phanérogames marines le long des littoraux italiens et des autres pays de la Méditerranée.

Puisqu'il s'agit d'habitats protégés (cfr. § 2.1, pag. 39), ces études sont particulièrement stratégiques.



2.3.3.2. Observations sur le terrain

Selon Marevivo (2002), l'observation sur le terrain permet d'acquérir des informations importantes sur les caractéristiques des biomasses et les facteurs dynamiques à l'origine de leur accumulation sur la plage; cette étude indique que les aspects suivants devraient/devront être considérés:

- typologie du dépôt;
- stade de dégradation du matériel accumulé sur la plage (phase de dégradation aérobie ou anaérobie);
- présence éventuelle et pourcentage de déchet à l'intérieur du dépôt;
- présence éventuelle de masse flottante (amas végétaux en mer, situé en face du dépôt à terre);
- composition totale du dépôt (présence d'autres végétaux, algues ou autres matériels).

De plus, en présence de dépôts structurés de *Posidonia oceanica* (*banquettes*) il sera nécessaire de déterminer les caractéristiques suivantes:

- typologie de stratification du dépôt;
- géométrie du dépôt;
- degré de compaction et épaissement des matériels.

2.3.3.3. Evaluation de la composition et de la texture des dépôts

La description des caractéristiques de la composition des dépôts se base sur la procédure analytique originale identifiée dans le cadre du "Programme d'étude sur les *banquettes* de *Posidonia oceanica* comme indicateur de l'état de conservation des prairies" (Convention Association Environnementaliste Marevivo/ Ministère de l'Environnement et de la Protection du Territoire, 2002).

Cette méthodologie permet de fournir des informations sur la composition, la classification dimensionnelle des matériaux et un index relatif à leur état de fragmentation/remobilisation.

En laboratoire, les premières analyses descriptives de la composition et des caractéristiques de l'échantillon sont réalisées directement sur le matériel humide (description de l'échantillon humide). Après division du matériel, environ 1 Kg du matériel est soumis à un



processus de séchage afin de réaliser les analyses dimensionnelles et compositionnelles³. En raison des caractéristiques du matériel (humidité élevée, forte capacité de rétention hydrique, fragilité des feuilles), le séchage est une phase délicate. Pour des raisons évidentes liées aux saisons, le processus de séchage à l'air libre est substitué par un processus qui prévoit l'introduction de l'échantillon à l'intérieur d'un cylindre d'acier de 140 mm de diamètre et de 1 m de longueur. Un flux d'air chaud, entre 40 et 50°C, passe dans le cylindre pour environ 3 à 4 heures. Simultanément au flux d'air chaud, un mouvement rotatoire du cylindre, réalisé à l'aide d'un moteur électrique asynchrone, permet de mélanger lentement le matériel afin d'obtenir un séchage plus efficace.

Des tamis métalliques (30 x 50 cm), spécialement construits, sont utilisés pour définir les caractéristiques dimensionnelles du matériel séché. Les mailles de ces tamis sont respectivement de:

- tamis n.1 lumière nette = 12 mm,
- tamis n.2 lumière nette = 6 mm,
- tamis n.3 lumière nette = 2 mm,
- tamis n.4 lumière nette = 1 mm.

Le matériel recueilli sur chaque tamis et celui passant le tamis n. 4 sont pesés à l'aide d'une balance technique (précision 0.1 g). La donnée pondérale directe permet d'obtenir les caractéristiques dimensionnelles de chaque échantillon en fonction du système de tamisage adopté.

La composition est décrite pour chaque fraction "granulométrique" pesée en estimant le pourcentage de feuilles, rhizomes, ægagropiles, et matériel fibreux grossier. Il est possible de peser directement les différents composants des fractions plus grossières c'est-à-dire recueillies dans les deux premiers tamis (n. 1 et n. 2). En effet ces deux tamis retiennent les rhizomes, les ægagropiles et les feuilles plus intactes. Par contre, les différents composants des fractions fines (passant le tamis 2) doivent être nécessairement estimés en terme de pourcentage (contribution de feuilles ou de fibres). La somme de chaque fraction

³ Pour la nature du matériel (humidité élevée, forte capacité de rétention hydrique, fragilité des feuilles), le séchage représente une phase délicate. Pour des raisons évidentes liées aux saisons le processus de séchage à l'air libre est remplacé par un procédé qui prévoit l'introduction de l'échantillon à l'intérieur d'un cylindre d'acier de 140 mm de diamètre et de 1 m de longueur. Un flux d'air chaud, entre 40 et 50°C, passe dans cylindre pour un temps compris entre 3 et 4 heures. En parallèle au flux d'air chaud, un mouvement rotatoire du cylindre, réalisé à l'aide d'un moteur électrique asynchrone, permet de mélanger lentement le matériel, ce qui est nécessaire pour obtenir un séchage plus efficace.

(fragments de feuilles et de matériel fibreux grossier) retenue par les différents tamis permet d'obtenir la description de la composition.

Malgré la nature fortement hétérogène, hétérométrique et souvent fortement fragmentée du matériel, l'évaluation de la composition de chaque échantillon, basée sur des analyses "granulométriques" du matériel et sur l'observation de détail des fractions considérées, permet d'estimer correctement la présence de la posidonie à l'aide d'une procédure cohérente et répétable.

A partir des résultats des analyses précédentes, des histogrammes relatifs aux caractéristiques dimensionnelles et à la composition peuvent être réalisés.

Une classification basée sur des diagrammes ternaires et sur un index numérique permet de faciliter la comparaison entre les différentes stations de prélèvement et les échantillons respectifs.

Pour la classification dimensionnelle, un diagramme triangulaire est construit en fonction des pourcentages relatifs à la fraction grossière, moyenne et fine. Ces fractions représentent:

Fraction grossière (G)	Retenu des tamis n. 1 e n. 2
Fraction moyenne (M)	Retenu du tamis n. 3
Fraction fine (F)	Retenu et passant du tamis n. 4

Pour la classification de la composition, le diagramme triangulaire (fig. 4) est construit en fonction du contenu en pourcentage des composants suivants:

- feuille
- fibre grossière
- rhizomes + ægagropiles

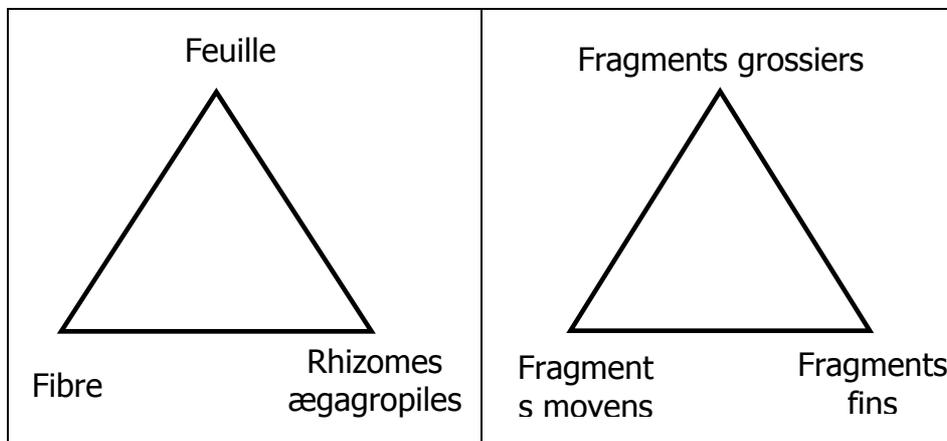




Figure 4 – Diagramme triangulaire pour la classification de la composition des dépôts (Marevivo, 2002).

Les diagrammes de classement permettent de décrire synthétiquement la composition et les dimensions de chaque échantillon, de confronter rapidement les échantillons et d'observer les analogies et les différences.

Un indice adimensionnel, utilisé pour la première fois dans la Rade de Talamone (Marevivo, 2002), est donné par le rapport entre les valeurs des pourcentages des trois fractions dimensionnelles G, M, F selon l'équation suivante:

$$\text{Indice de Fragmentation I.F.} = \% G / 0.5 \% M + \% F$$

La classification est reportée dans le tableau ci-dessous (tab. 2):

I.F. < 1	matériel très fragmenté
1 < I.F. < 5	matériel moyennement fragmenté
5 < I.F. < 10	matériel peu fragmenté
I.F. > 10	matériel entier

Tableau 2 – Classification des restes de *Posidonia oceanica* en fonction de l'indice de fragmentation.

Cet indice est défini comme « Indice de Fragmentation » et témoigne du remaniement subit par les restes de posidonie. Il permet de caractériser les dépôts en fonction de l'abondance (en %) des différentes fractions.

2.3.3.4. Sélection des analyses pour la caractérisation chimique des biomasses

Compte tenu des finalités de l'expérimentation (Solution 2B), des conditions environnementales spécifiques relatives au présent projet et des résultats de la recherche bibliographique (Bovina et al, 2007), une liste de contrôles analytiques pouvant être réalisés pour la caractérisation chimique des biomasses végétales de plage a été définie. Cette liste est reportée dans le tableau 3.

Les concentrations maximales admissibles des paramètres pris en considération pour des interventions de restauration morphologique des dunes grâce à l'utilisation des biomasses végétales de plage (en particulier, des feuilles de *Posidonia oceanica*) devront être



compatibles à celles prévues par le D.M. 367/03. Ainsi, tout comme pour les rechargements, les Régions peuvent proposer des valeurs de fond naturelles valables localement, tout en considérant les seuils d'attention liés à la biodisponibilité des éléments considérés.

ANALYSES			
IPA	Pb	Mn	Fe
PCB	Cd	Hg	TBT
Ni	Cu	As	V
Ba	Zn	Cr	Tl

Tableau 3 - Liste des analyses proposées pour la caractérisation chimique de la *Posidonia oceanica* et des autres phanérogames marines de plage dressée par le Groupe de travail sur les biomasses végétales de plage⁴.

2.3.3.5. Méthodologies utilisées pour la caractérisation chimique des biomasses

a. Polychlorure diphényle (PCB) et Hydrocarbures Polycycliques Aromatiques (IPA)

La procédure d'analyse pour la détermination de la concentration de Polychlorure diphényle (PCB) et Hydrocarbures Polycycliques Aromatiques (IPA) est reportée ci-dessous:

- Après prélèvement, les échantillons sont lyophilisés.
- **L'extraction** des polychlorures diphényle et des Hydrocarbures Polycycliques Aromatiques est effectuée selon la Méthode 3545 US-EPA.
- La **détermination qualitative - quantitative** est effectuée selon la méthode US-EPA 8082 pour les PCB et selon la méthode US-EPA 8310 pour les IPA.
- Les **résultats** sont exprimés en ng/g sur l'échantillon lyophilisé ou en unité de mesure équivalente ($\mu\text{g}/\text{Kg}$, ppb, etc). La limite de quantification est de 0,1 ng/g pour les PCB et de 0,5 ng/g pour les IPA.
- Le **contrôle de qualité sur les résultats** est effectué par l'injection de standards succédanés et la réalisation de répliques, de fortifications et de blancs de procédé.

⁴ Groupe de travail institué en collaboration avec le Ministre de l'Environnement et la Protection du Territoire et de la Mer, le Ministre des Politiques Agricoles, l'Institut Supérieur de la Santé et les associations environnementaliste (WWF, Legambiente, Marevivo).



b. Métaux

La procédure pour déterminer la concentration de métaux est décrite ci-dessous:

- La méthode de minéralisation fait référence à la méthode ISS Rapports ISTISAN 04/4 (modifiée);
- La détermination analytique avec ICP-OES fait référence à la méthode EPA 6010B (modifiée);
- La détermination analytique du Cd fait référence à la méthode EPA 7131° (modifiée);
- La détermination analytique du Pb fait référence à la méthode EPA 7421 (modifiée).

c. TBT

La méthode suivante est pratiquée pour la détermination analytique du TBT:

METHODOLOGIE ANALYTIQUE DE REFERENCE ICRAM (TRIENNIO 2001-2003) - Appendice 1: "Méthode pour la détermination des composés organo-stanniques dans les sédiments et matrices biologiques grâce à GC-MS e GC-FPD".

d. Vanadium et Thallium

En ce qui concerne la détermination de la concentration en Vanadium et Thallium, le traitement de l'échantillon est effectué en utilisant la méthode EPA 3050B, alors que des techniques de spectrophotométrie en absorption et/ou émission atomique en fonction de la concentration de l'analysé présent dans l'échantillon sont utilisées pour la détermination instrumentale.

2.4. RESULTATS – Eventuelles lignes de gestion des biomasses végétales de plage (avec une mention particulière pour les dépôts de *Posidonia oceanica*)

L'approfondissement de la réglementation en vigueur, nationale et internationale, concernant les aspects écologiques relatifs aux restes végétaux de plage et les mécanismes de feedbacks entre les restes végétaux et le système plage-dune, a permis de déterminer des éventuelles lignes de gestion des biomasses végétaux de plage (en particulier pour les dépôts de *Posidonia oceanica*). Ces dernières sont illustrées synthétiquement dans le diagramme de la figure 5.

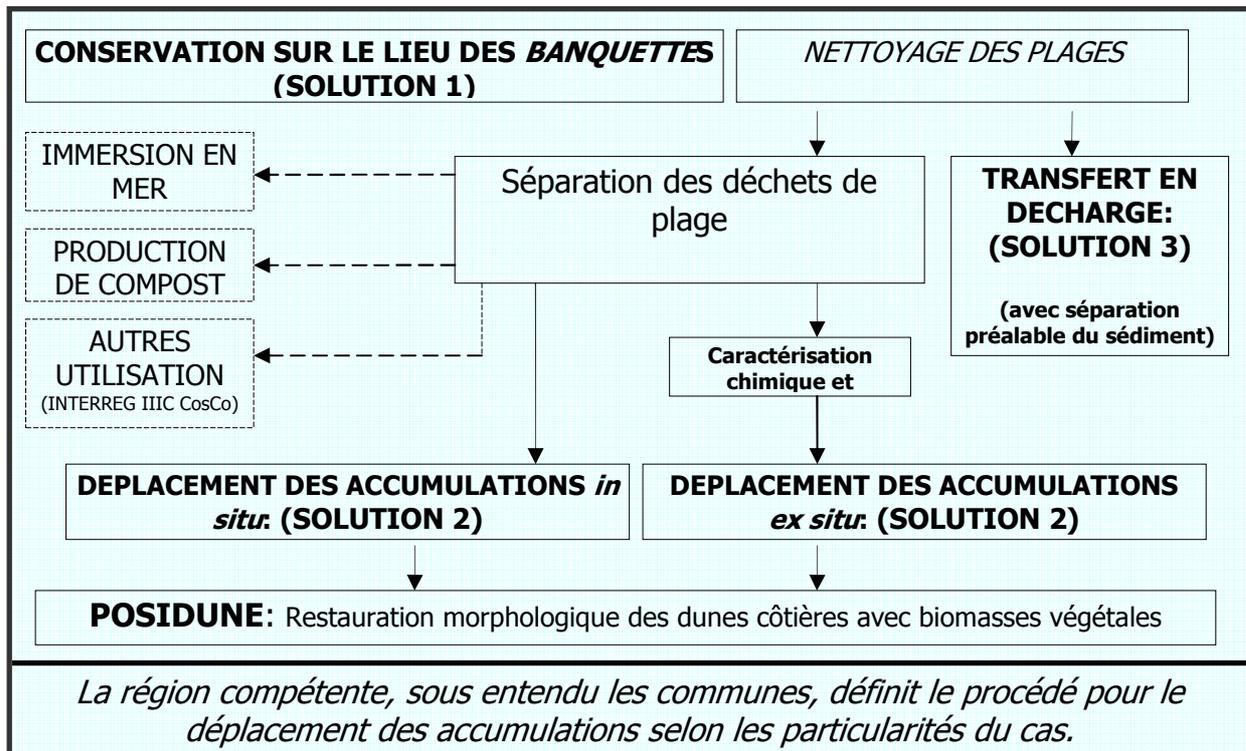


Figure 5 – Le diagramme supérieur schématise le flux des éventuelles lignes de gestion des biomasses végétales de plage. Les lignes en tiret représentent des solutions potentielles, encore à l'étude du point de vue normatif, par conséquent non encore réalisables, et les champs d'application étudiés dans le cadre du projet INTERREG IIIC CosCo.

En bas, un extrait du texte de la Circulaire du Ministère de l'Environnement et de Protection du Territoire n. 08123 du 17 Mars 2006, qui définit les compétences pour la rédaction des procédures spécifiques.

En plus des solutions prévues par la Circulaire du Ministère de l'Environnement et de Protection du Territoire n. 08123 du 17 Mars 2006, d'autres solutions de gestion du matériel végétal de plage ont été identifiées. Ces solutions sont encore actuellement analysées d'un point de vue normatif :

1. Immersion en mer: la possibilité de re-injecter en mer des biomasses végétales de plage, constitue une solution qui doit être examinée avec majeure attention afin de vérifier si cette solution peut être acceptée par les pays signataires de la Convention de Barcelone. Cette solution sera donc approfondie et expérimentée dans le cadre d'autres projets.
2. Production de compost: différentes études expérimentales ont permis de vérifier la présence d'Arsénique et de Vanadium dans la *Posidonia oceanica*. À ce propos, ISS a mentionné des valeurs limites de concentration pour ces éléments si le matériel est utilisé pour la production de compost de qualité aux sens de la réglementation 748 de 1984 et



s.m.i. avec avis n. 00161 du 13/05/2006. En ce qui concerne le Thallium, également relevé dans la plante, aucune limite de concentration n'a été proposée.

3. Autres utilisations: d'autres champs d'application comme ceux de la médecine, des constructions et des emballages, ont été approfondis dans le cadre du projet INTERREG IIIC CosCo "Regional cycle development through Coastal Co-operation - seagrass and algae focus" (www.life-see gras.de/cosco).

2.5. CONCLUSIONS

Les lignes guides dédiées à la gestion de la biomasse végétale de plage (fig. 5), qui respectent les dynamiques naturelles, peuvent être ainsi résumées:

- Protéger et valoriser la présence de *banquettes* (dépôts structurés) en retirant périodiquement les déchets sans utiliser de moyens mécaniques;
- Retirer le matériel seulement s'il n'est pas structuré, en limitant les mouvements à une accumulation contrôlée le long de la partie supérieure de la plage;
- Seulement si le déplacement est nécessaire, le matériel doit être réémis en mer (anticipant le processus naturel) ou doit être utilisé pour la protection et la défense du littoral;
- D'autres biomasses végétales de plage, telles que les troncs, les rameaux, les roseaux, etc., sont considérées comme un ressource naturelle très utile. L'utilisation de ces matériaux pour les interventions de restauration et de protection des dunes et pour la gestion écologique des littoraux peut être considérée comme une action qui augmente et optimise l'efficacité des processus naturels. De plus, grâce à leurs caractéristiques biochimiques les vérifications spécifiques et analytiques ne sont pas nécessaires.



3. TECHNIQUES INNOVATRICES POUR LA RESTAURATION ET LA CONSOLIDATION DES DUNES COTIERES

Introduction aux techniques innovatrices pour la restauration et la consolidation des dunes côtières

IMBC – K. Dounas, kdounas@her.hcmr.gr
FORTH/IACM – E. Koutantos, ekoutant@iacm.forth.gr

Dans le présent rapport, une intervention de restauration et de consolidation des dunes côtières est définie "innovatrice" si elle n'a jamais été précédemment appliquée par au moins un des pays partenaires du sous-projet POSIDUNE.

Un panorama des brevets actuels permet d'obtenir des informations utiles pour déterminer les pays dont le niveau « technologique » dans ce domaine est plus avancé. Il convient néanmoins de préciser que les interventions de restauration dunaires réalisées ne sont pas toutes brevetées au niveau international.

Afin de décrire plus en détail les brevets existants, les bases de données internationales suivantes ont été utilisées:

1. European Patent Office (EPO). European Network of databases (ESP@CENET). Accès via European Commission: <http://ec.espacenet.com> et aussi via Hellenic Republic National Office: <http://gr.espacenet.com>
2. United States Patent and Trademark Office (USPTO) via: <http://uspto.gov/>
3. World Intellectual Property Organisation (WIPO). Patent Cooperation Treaty (PCT) via <http://wipo.int/pct/en/>

La méthode de recherche a prévu l'utilisation de mots-clés ou de combinaison spécifique des mots-clés dans le titre officiel ou dans le résumé de chaque brevet. Toutes les combinaisons possibles des termes suivants ont été effectuées:

Termes principaux: (Dune Ou Dunes) ET
Termes secondaires: (côtier, protection, restauration, plage, érosion)

Pour chaque brevet identifié, les paramètres suivants ont été enregistrés: titre, nombre et date de la publication du brevet, nom et nationalité des inventeurs et dépositaires, classification internationale et finalement nombre initial d'application. Les résultats préliminaires concernent 39



brevets (voir l'annexe 3). Comme prévu, la plupart d'entre eux (28 brevets) ont été initialement déposés à l'office des brevets des Etats-Unis (67%). Les demandes de brevet indiquent généralement une préférence pour l'Organisation Mondiale des Propriétés Intellectuelles (5 brevets, 13%). Au contraire, les brevets d'origine européenne sont plus limités. Seulement 1 brevet a été soumis à l'Office Européen des brevets (3%) et 5 autres brevets ont été directement délivrés par les Offices des Brevets Nationaux: 3 brevets à l'office allemand des brevets (13%), 1 brevet au bureau de l'ex-Union Soviétique et un autre à celui du Royaume-Uni. Curieusement, les brevets japonais identifiés sont très limités (2 brevets, 6%); dans ce cas, il faut toutefois tenir compte des difficultés de rechercher des termes de type occidental dans les bases de données japonaises (fig. 1). La suprématie globale américaine d'invention technologique liée aux différents domaines d'application de la gestion des dunes sableuses (fig. 2 et 3) est bien plus élevée si seul le nombre de nouvelles applications de brevet est considéré (11 demandes durant les 3 dernières années; 2004-2006).

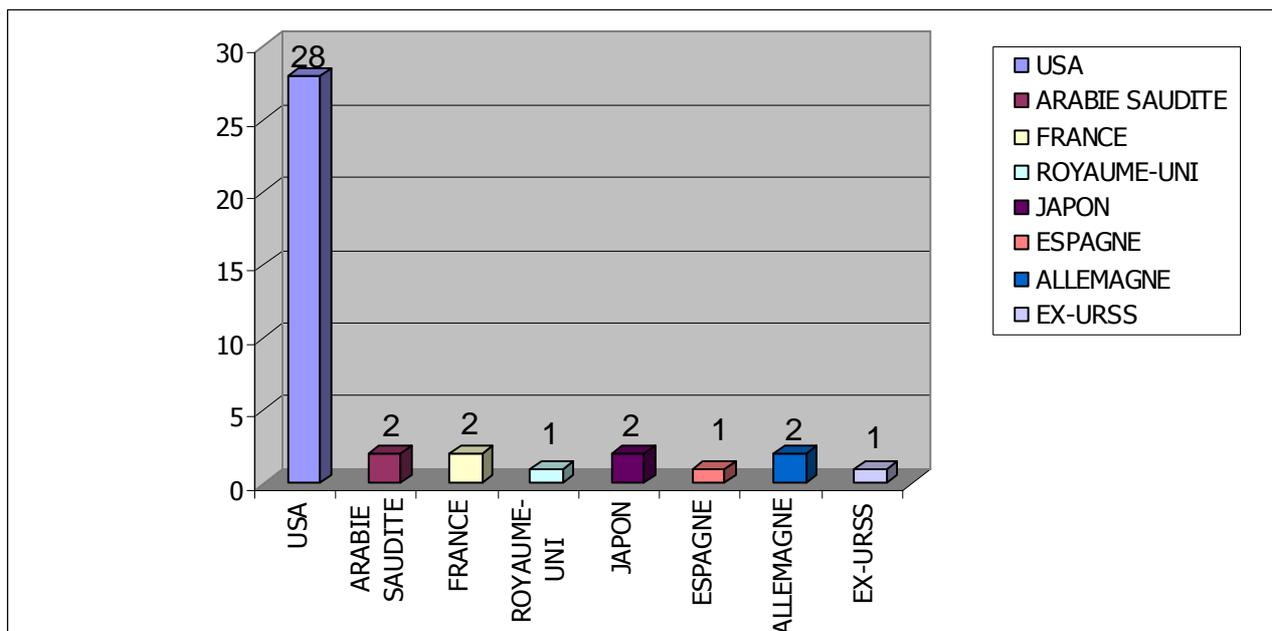


Figure 1 – Numéro d'interventions de restauration dunaire brevetées dans les différents pays.

Il convient de préciser que ces résultats préliminaires doivent être seulement considérés comme qualitatifs, puisque la forte discordance entre les USA et le reste du monde pourrait être également attribuée à la procédure que chaque pays soutient pour la création de nouveaux brevets.

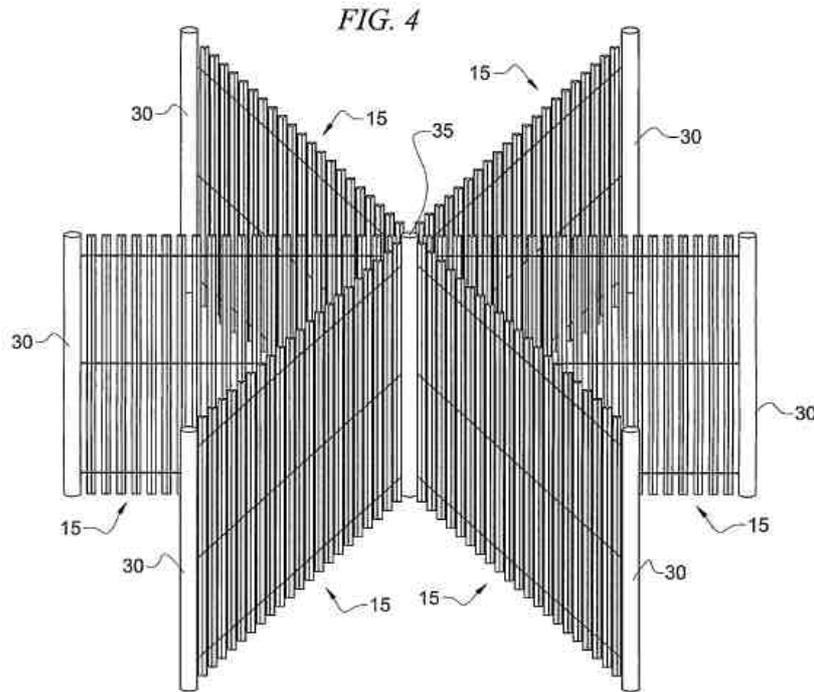


Figure 2 - Brevet PCT/2006/01736. Une section de barrières disposées dans un modèle astérisque.

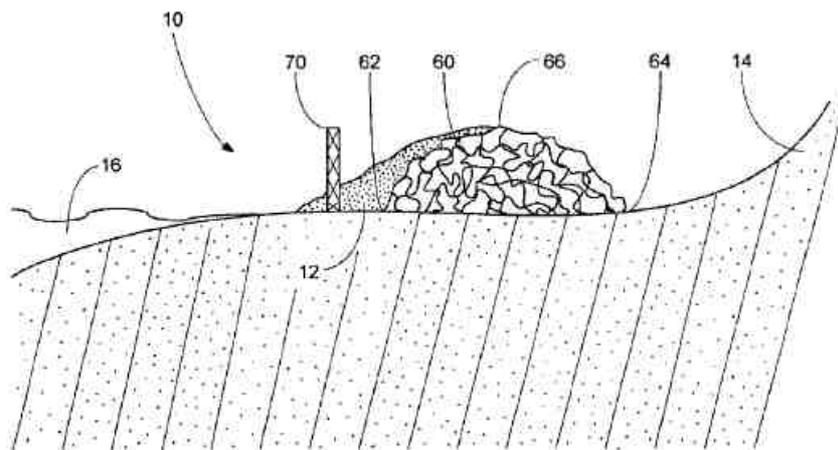


Figure 3 - Restauration d'une plage et système de régénération, méthodes et compositions. Le produit de base est réalisé en fragments de bois accumulés le long de la plage (US Patent 6626611).

Les techniques innovatrices pour la restauration et la consolidation des dunes côtières identifiées au cours de la phase B par les partenaires du sous projet sont présentées ci-dessous. Ces techniques sont classées selon les typologies identifiées dans le rapport technique de Phase A. De plus, ces techniques peuvent être utilisées seules ou combinées entre elles.

3.1. OUVRAGES "A EFFET BRISE-VENT"

Les ouvrages "à effet brise-vent" permettent de protéger le sable de l'érosion éolienne, et de piéger celui qui se déplace. Ces structures pouvant s'avérer trop lentes, il est possible de gagner du temps en réalisant mécaniquement un bourrelet sableux constituant le "corps" de la future dune (AA.VV., 2007).

Les cinq solutions suivantes rentrent dans cette catégorie:

3.1.1. Clôture brise-vent

Studio Associato Geosphaera – G. Bovina, M. Amodio, C. Di Vignale Callori,
giancarlo.bovina@geosphaera.191.it

Finalité et description synthétique

La clôture brise-vent est une œuvre de protection contre le piétinement incontrôlé et également contre l'érosion éolienne (fig. 1). Elle est constituée d'une palissade de « piquets » en châtaignier qui est placée au sommet de la dune, le long de la crête (notamment en présence d'une route longitudinale) ou au pied de la dune, afin de dissuader les baigneurs de traverser la dune et de les diriger vers les passerelles d'accès. La structure est constituée de poteaux ($d = 6 - 8$ cm) espacés de 2 m l'un de l'autre. Les poteaux sont enterrés verticalement d'environ un tiers de leur longueur totale (la partie « aérienne » doit être de 0.9 m environ). Des poteaux sub-horizontaux de $6 \div 8$ cm de diamètre sont fixés sur la tête des montants à l'aide de vis (fig. 2).

La structure de la clôture comporte une natte de canne comme fonction brise-vent, de 1.0 m de hauteur totale, partiellement enterrée en fonction de la dynamique éolienne de la zone (pour une profondeur supérieure à 0.2 m).

Au sommet de la dune, une deuxième protection brise-vent est associée à la clôture brise-vent décrite ci-dessus. Une structure en cellule (mesure indicative 2×1 ou 3×1 m) est ensuite réalisée grâce à la construction de liaisons transversales. Ces liaisons sont réalisées au niveau

des montants et perpendiculairement aux deux écrans. Cette structure en cellule permet de mitiger l'action éolienne. Sur le flanc marin, des cloisons transversales triangulaires sont construites au niveau des montants. Celles-ci permettent d'éviter les phénomènes de déchaussement dus au transport éolien parallèle aux écrans.

Au pied de la dune la clôture brise-vent peut ne pas être associée à second « écran ». Dans ce cas, l'œuvre est limitée aux clôtures brise-vent en prenant soin de réaliser des cloisons transversales triangulaires en avant et en arrière de l'écran.

Domaines d'application

Plages et milieux dunaires (au sommet ou au pied du dépôt) soumis à l'érosion éolienne et au piétinement et également en présence d'accès incontrôlés tels que les passerelles ou les "chemins protégés.

Matériaux utilisés

- Piquets en châtaignier (avec des pointes longues de 1.5 m environ);
- Série de piquets en châtaignier disposés en ligne droite (piquets cylindriques en châtaignier de 4.0 m de long);
- Nattes de canne (canne domestique ou canne de bambou);
- Fil de fer et vis.

Modalité d'exécution

- Plantation des montants;
- Mise en place de deux séries longitudinales de fil de fer de liaison entre les piquets (si la canne de bambou est utilisée, les piquets peuvent alors être installés sans fil de fer);
- Réalisation d'un sillon pour enterrer partiellement les nattes de canne;
- Positionnement des nattes de canne et enterrement partiel de ces dernières;
- Fixation des piquets coulissants le long de la tête des montants de la clôture;
- organisation et nettoyage de la zone.

Recommandations

Il est recommandé d'enterrer correctement la base des nattes de canne en creusant une petite tranchée et en battant successivement la partie supérieure de la natte de canne.

Même s'il s'agit de matériel qui n'est pas utilisé traditionnellement, il est conseillé d'utiliser la canne de bambou car elle est plus durable et plus solide (elle ne nécessite pas l'utilisation de fil de fer entre les montants).

L'utilisation éventuelle de nattes tissées avec du fil d'acier permet de régler la "perméabilité" des écrans brise-vent (en réduisant le numéro de cannes par unité de longueur et en les espaçant entre elles) pour améliorer l'efficacité de capture des sables transportés par le vent. Enfin, il est conseillé de faire particulièrement attention à la réalisation des cloisons transversales déflectrices.

Limites d'application

- Tempêtes qui engendrent une surélévation qui atteint le pied de la dune;
- Vandalisme.

Avantages

L'œuvre joue le double rôle: elle réduit les superficies soumises au piétinement et retient efficacement le sable transporté par le vent. L'action brise-vent réalisée par la structure à cellule est particulièrement efficace pour réduire le taux du transport éolien dirigé vers l'arrière dune. Cette action est particulièrement utile dans le cas de dunes anthropisées où la quantité de sédiment transporté vers la terre peut être définitivement considérée comme une soustraction au budget du système plage- dune.

Inconvénients

Aucun inconvénient évident.

Effet

Le développement de dépôts éoliens pouvant être rapidement végétalisés associé à l'efficacité des clôtures à fermer les passages de la dune (au sommet et au pied) permet d'obtenir un effet de restauration de tout le système.

Estimation des coûts

Le coût est de l'ordre de 26 €/ml, dont environ 40 % de matériaux.

Photographie



Figure 1 – Exemple de clôture brise-vent.

Aperçu

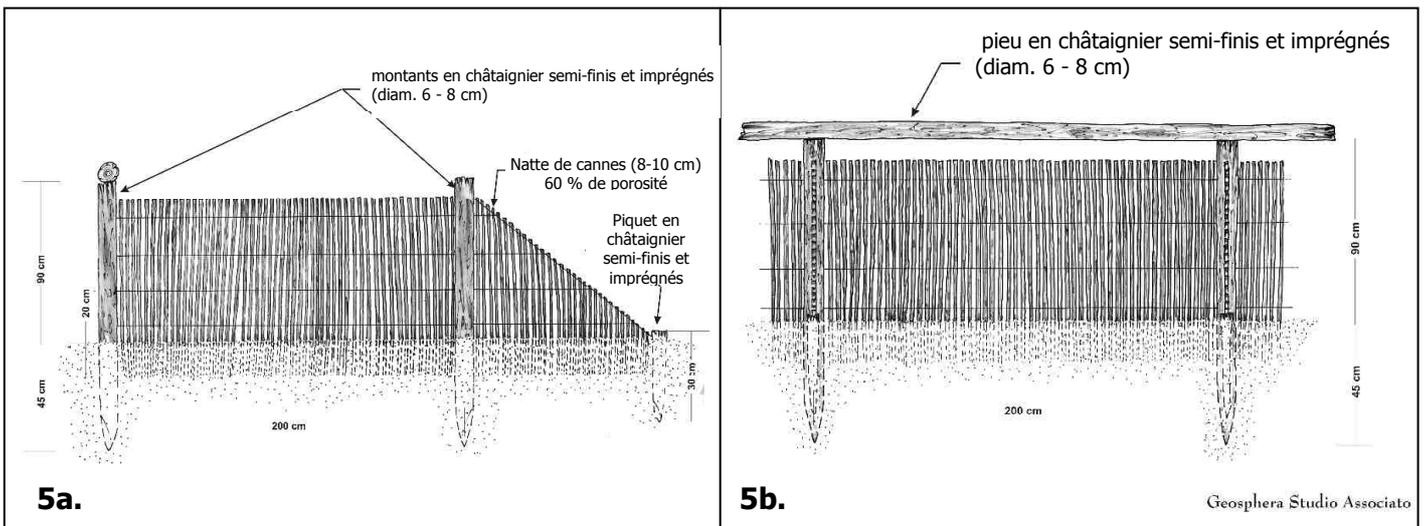


Figure 2 - Clôture brise-vent. 5a) aperçu latéral; 5b) aperçu frontal.

3.1.2. Palissade brise-vent horizontale

Studio Associato Geosphaera – G. Bovina, M. Amodio, C. Di Vignale Callori,
giancarlo.bovina@geosphaera.191.it

Finalité et description de la structure

Réalisation d'écrans brise-vent installés parallèlement au trait de côte, selon des plans disjoints et partiellement superposés. Cette disposition peut varier en fonction des conditions éoliennes et morpho- topographiques locales. La tresse de canne constitue un écran poreux capable de réduire l'énergie du transport éolien et de favoriser les mécanismes de dépôt en arrière du brise-vent.

La palissade brise-vent horizontale est construite en tressant la canne commune autour de poteaux tuteurs en bois. Les poteaux ($d = 8 \div 10$ cm) sont plantés à une distance de $0.5 \div 0.8$ m l'un de l'autre, et ils sont enfoncés jusqu'à une profondeur de 1.5 - 2,0 m (partie externe d'environ 0.5 m; fig. 1).

Les caractéristiques structurelles de l'œuvre (rapport optimal entre flexibilité et fragilité) permettent l'exposition aux tempêtes d'énergie élevée. L'éventuel dommage de l'œuvre pourra engendrer la destruction de la tresse de canne mais pas le déplacement des poteaux montants (enterrés à une profondeur suffisante) ce qui permettra la reconstruction successive de l'écran.

Domaines d'application

- Versants dunaires, dépressions inter-dunaires et zones de déflation;
- Pied de la dune et portions supérieures des plages occasionnellement soumis à des épisodes d'« overtop » d'énergie moyenne.

Matériaux utilisés

- Pieux en bois, semi-finis et imprégnés;
- Canne de *Arundo donax*;
- Fil de fer.

Modalité d'exécution

- Réalisation d'un trou avec une moto-foreuse;
- Plantation des pieux;
- Creusement manuel du sillon;
- Réalisation de la tresse de canne;

- Enterrement partiel.

Recommandations

- Utilisation de pieux en essence résineuse imprégnés en autoclave;
- Réalisation d'un trou préliminaire et enterrement successif du pieu le plus profond possible;
- Garantir une structure la plus solide possible en limitant les espaces entre les cannes, de manière compatible avec les caractéristiques du matériel utilisé.

Limites d'application

Zones caractérisées par un taux de transport éolien limité.

Avantages

- Simplicité et économie de la restauration de l'œuvre en cas de destruction de la tresse;
- Bonne insertion environnementale.

Inconvénients

Inefficacité possible du brise-vent en cas d'absence de contrôle et d'entretien lié à un déchaussement possible à la base de l'écran.

Effet

Formation rapide du dépôt éolien en fonction du taux de transport, si des accumulations de matériel végétal sur la plage sont présentes, alors le dépôt pourra être rapidement colonisé par la végétation psammophyle.

Estimation des coûts

Le coût est de l'ordre de 15 €/ml, dont environ 20% de matériaux.

Aperçu

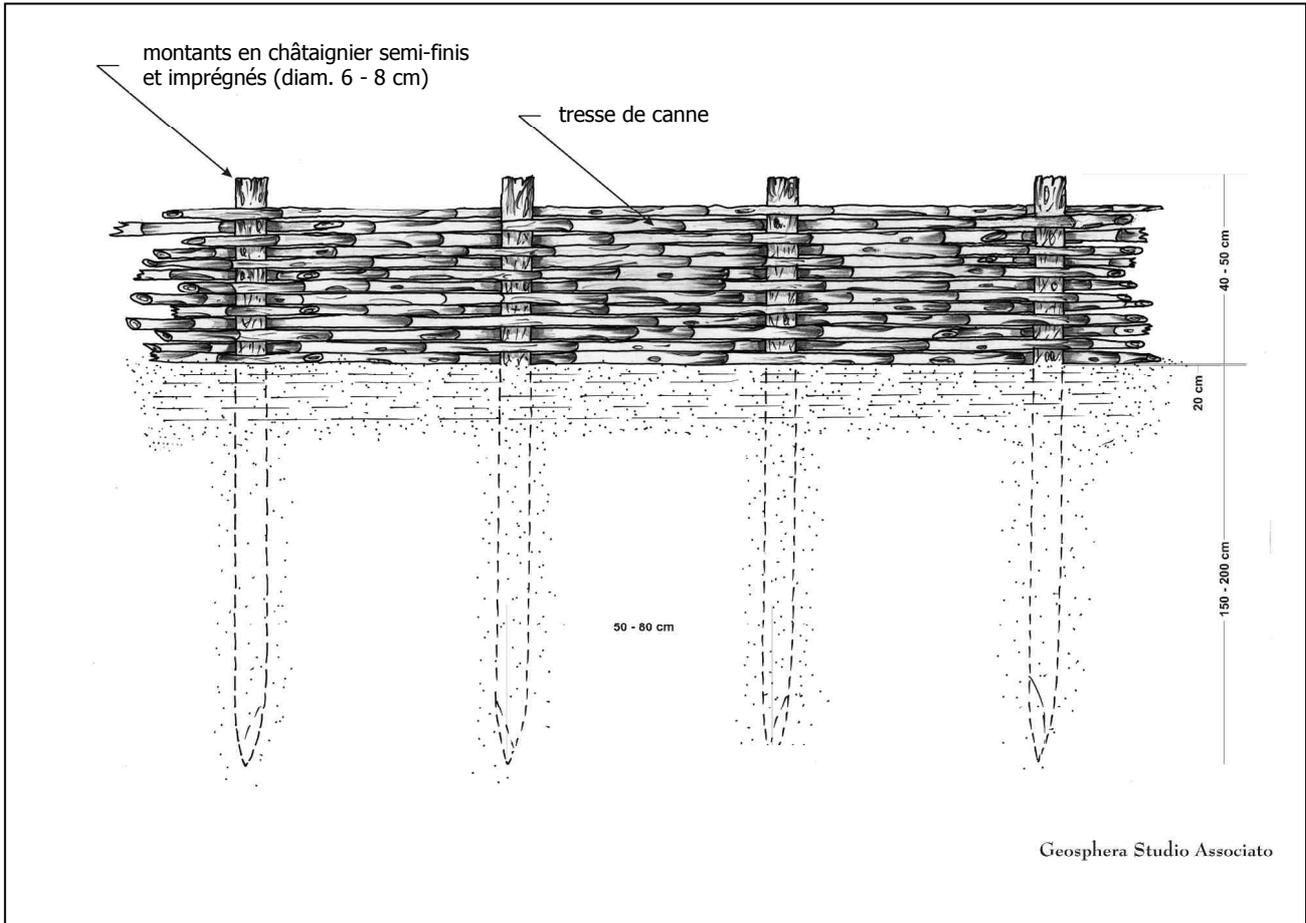


Figure 1 – Palissade brise-vent horizontale: aperçu frontal.

3.1.3. Ecran brise-vent à échiquier

Studio Associato Geosphaera – G. Bovina, M. Amodio, C. Di Vignale Callori,
giancarlo.bovina@geosphaera.191.it

Finalité et description de la structure

Reconstruction et protection des dunes embryonnaires au moyen d'écrans brise-vent disposés en échiquier (fig. 1). Les écrans sont réalisés avec des nattes de cannes positionnées sur un châssis constitué de poteaux en châtaignier et de fil de fer. L'échiquier est constitué de carrés d'environ 1.5 m de côté, orientés le plus possible perpendiculairement à la direction des vents dominants. Des cloisons diagonales ou transversales, de hauteur variable (d'environ 50 cm en arrière des écrans, à environ 5 ÷ 10 cm à l'extrémité opposée), permettent de contrôler les éventuels phénomènes d'érosion, liés à la composante éolienne parallèle aux écrans et à l'augmentation de la vitesse au niveau des arêtes.

Domaines d'application

Dépôts dunaires et parties supérieures des plages présentant différentes formes d'érosion (éoliennes, de piétinement, de ruissellement, etc.) et caractérisés par une faible couverture végétale en mesure de piéger efficacement les sables transportés par le vent. Les écrans brise-vent à échiquier sont particulièrement indiqués pour les formes embryonnaires (et avant dunes) car ils jouent une fonction protectrice, mécanique et physico-chimique, qui favorise les mécanismes d'accroissement et de stabilisation.

Matériaux utilisés

- Natte de cannes liées par du fil de fer (h = 100 cm);
- Piquet en châtaignier (d = 6 ÷ 8 cm; h = 100 cm);
- Fil de fer.

Modalité d'exécution

La structure portante est réalisée avec des piquets en châtaignier et du fil de fer zingué (fig. 2a & 2b). Les piquets (h = 100 cm, d = 6 ÷ 8 cm) doivent être enterrés de 50 cm environ et sont positionnés aux arrêtes du carré (d'environ 1,5 ÷ 2,0 m de côté). Les écrans sont constitués de nattes de canne, tissées de manière à être perméables au vent, et semi enterrées (environ 50 cm).

La construction de l'œuvre prévoit les phases suivantes:

- Plantation des poteaux;
- Creusement d'un petit sillon;
- Mise en place d'une double file de fil de fer entre les poteaux (à 20 cm du plan de campagne et du sommet);
- Mise en place et enterrement des nattes de cannes;
- Fixation de la natte avec du fil de fer;
- Disposition du sable autour des écrans.

Recommandations

Les côtés des quadrilatères seront si possible orientés perpendiculaires à la direction des vents prédominants. Les points critiques de la structure, tels que les sommets des quadrilatères et les portions terminales des écrans, devront être réalisés très soigneusement afin d'éviter que l'énergie éolienne s'y concentre. Pour la même raison, les traits frontaux des écrans, qui se développent sur une longueur supérieure à 2 m, devront être interrompus par des cloisons orthogonales (déflecteurs).

Les écrans brise-vent devront toujours être perméables au vent afin de réduire l'énergie du transport, de favoriser le dépôt du sédiment et d'éviter les mécanismes de concentration du fluide et donc d'amorce d'érosion.

Limites d'application

Environnements de haute énergie de la houle. Les structures décrites devront être positionnées à des cotes supérieures à la limite des houles de tempête.

Effet

La réalisation des écrans brise-vent, réalisés avec du matériel perméable au vent et disposé en échiquier, favorise le dépôt des sables éoliens et la formation d'un dépôt dunaire. Les écrans, bien que réalisés avec du matériel fragile, sont également en mesure de protéger et de renforcer le dépôt avec un châssis épais constitué de matériel biodégradable. La végétation herbacée (vers la mer) et arbustive (au sommet de la dune) trouve des conditions favorables pour son développement favorisant l'accroissement et la stabilisation du dépôt. Même la végétation surnuméraire, qui tend à coloniser initialement l'intérieur des échiquiers, est progressivement substituée par des espèces plus adaptées.

Les écrans brise-vent jouent une action protectrice sur la végétation de manière directe (protection mécanique) et indirecte (maintien de matériel végétal en mesure d'enrichir les sables dunaires en substances nutritives, et de favoriser la condensation et le maintien de

l'humidité atmosphérique. Cette dernière représente une source hydrique fondamentale pour la végétation xérophile).

Inconvénients

Présence de fils métalliques, peu dégradables, dans la structure. La substitution avec des cordes d'origine végétale (ou mieux encore avec des perches verticales) pourrait être une bonne solution même si temporaire en raison de la faible durabilité du matériel.

Estimation des coûts

Le coût est de l'ordre de 22,00 €/ml, dont environ 35 % de matériaux.

Photographie



Figure 1 – Exemple de écran brise-vent à échiquier.

Section

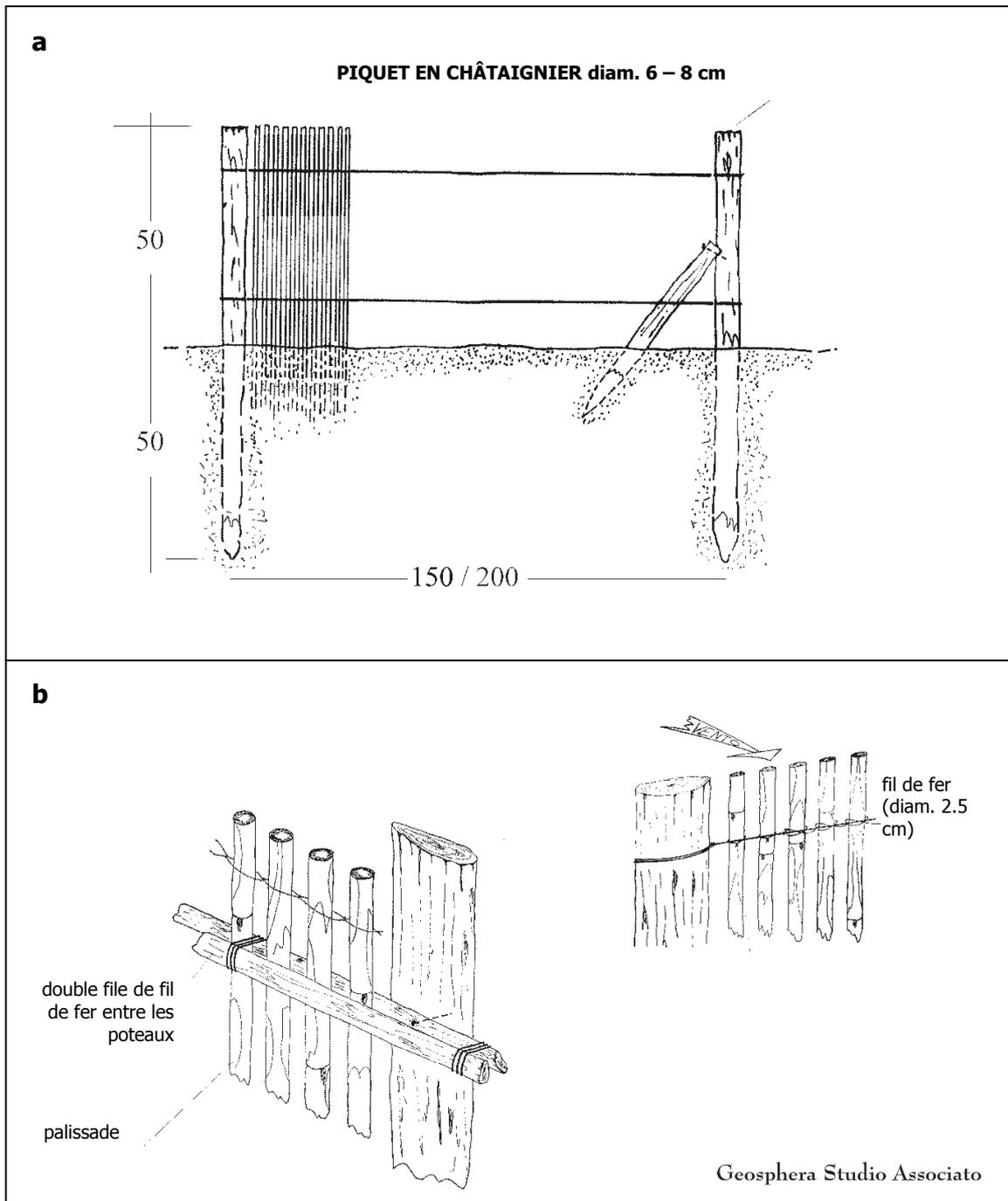


Figure 2 - Ecran brise-vent à échiquier. a) Section; b) Détails d'exécution.

3.1.4. Noyaux dunaires armés

Studio Associato Geosphaera – G. Bovina, M. Amodio, C. di Vignale Callori,
giancarlo.bovina@geosphaera.191.it

Finalité et description synthétique

Stabilisation et consolidation du pied dunaire au moyen de sacs de forme lenticulaire, constitués de bio-filet en fibre de coco de grammage de 900 gr/mq. Ces sacs, d'environ 1 m de hauteur et de capacité indicative de 2 à 2.5 mc/ml, sont remplis de sable (fig. 1).

Le sac est placé dans une fosse au pied de la dune avec un gradin d'ancrage frontal le plus proche possible du niveau marin. La partie inférieure du sac est rempli de sable provenant du creusement et sa partie supérieure par un mélange de sable et de matériel végétal de plage (de préférence des restes phanérogames marines comme *Cymodocea nodosa* ou *Posidonie*). Finalement, une fois le sac recousu, l'œuvre est recouverte par une mince couche de sable. La forme particulière du sac favorise le dépôt du sable éolien et offre un profil dissipatif si l'œuvre est atteinte par les vagues (pente de l'ordre de 10° - 20° max).

En fonction de la dynamique éolienne de la zone, l'œuvre peut être complétée par des systèmes brises-vents.

Domaines d'application

Dépôts éoliens directement intéressés par des phénomènes périodiques d'érosion marine. Portions supérieures des plages caractérisées par des reculs sensibles du trait de côte.

Matériels utilisés

- Bio-filet en fibre de coco de grammage de 700 – 900 gr/mq;
- Fil de couture en fibre de coco d'épaisseur non inférieure à celle du tissu du filet.

Modalité d'exécution (fig. 2)

- Couture des toiles et cantonnement momentané;
- Creusement mécanique de la tranchée pour abriter le sac;
- Positionnement du sac et remplissage avec du sable;
- Fermeture du sac;
- Recouvrement du sac avec du sable;
- Réalisation éventuelle d'un système brise-vent.

Recommandations

- Positionner le sac jusqu'à une cote de base la plus proche possible du niveau de la nappe phréatique;
- Réaliser le sac de manière à obtenir un profil de pente modérée (10° – 20°);
- Eviter la réalisation de l'oeuvre lors de conditions météo marines critiques.

Limites d'application

Condition météo-marine particulièrement critique.

Avantages

- Biodégradabilité totale du matériel et "résorption complète" dans le contexte environnemental en cas de destruction de l'oeuvre;
- Récupération de la fertilité grâce à l'utilisation de matériel amendement naturel (accumulations végétales sur la plage);
- Colonisation végétale rapide.

Inconvénients

- Limites de résistance et d'efficacité lors de conditions météo marines de forte énergie.
- Réduction temporaire de la densité du sable constituant le noyau « armé » et de celui utilisé pour le remplissage de la tranchée de logement.

Effet

Réalisation d'un noyau de sable renforcé, caractérisé par une bonne capacité dissipative et une relative plasticité et flexibilité, efficace vis-à-vis d'évènements météo marins de moyenne énergie.

Estimation des coûts

Le coût de l'oeuvre est de l'ordre de 100,00 €/ml dont environ 30 % de matériel.

Photographie



Figure 1 – Exemple de noyaux dunaires armés.

Aperçu

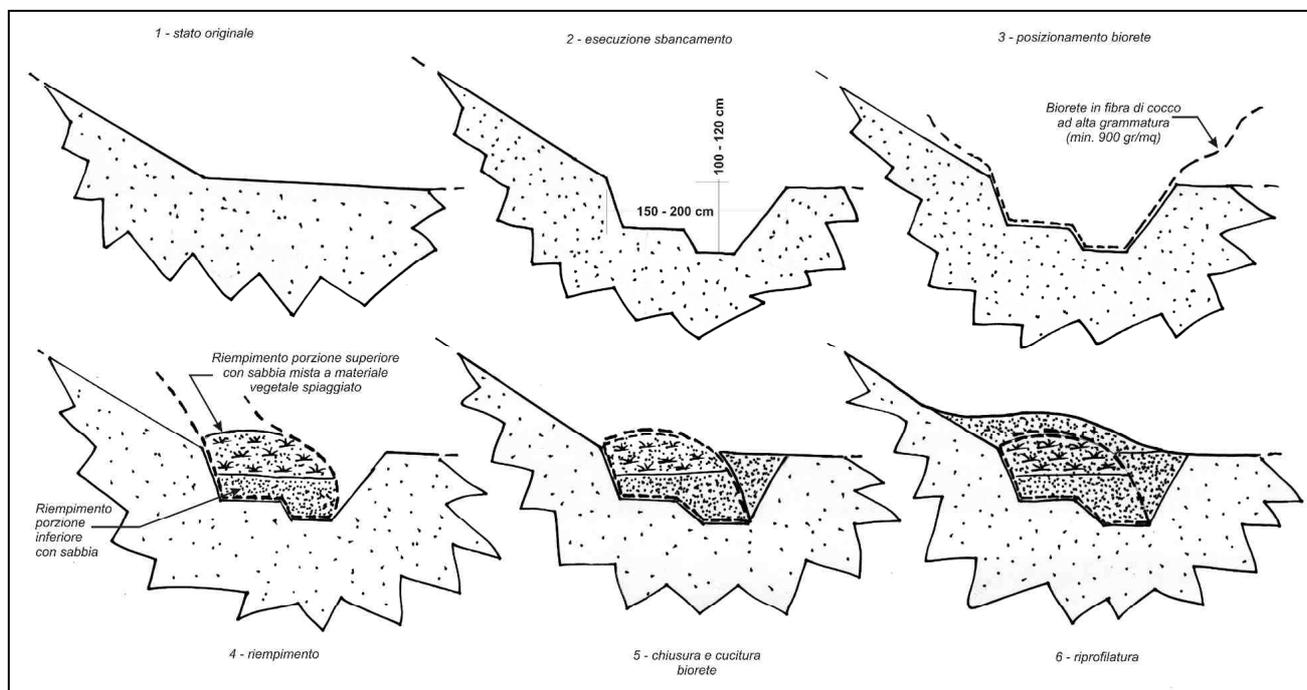


Figure 2 - Noyaux dunaires armés, modalité d'exécution. Légende: 1 – Etat original; 2 – creusement mécanique de la tranchée pour abriter le sac; 3 – positionnement du sac; 4 – remplissage avec du sable; 5 – fermeture du sac; 6 – recouvrement du sac avec du sable et re-profilage.

3.1.5. Consolidation combinée constituée de structure en osier et d'écran brise-vent

Studio Associato Geosphaera – G. Bovina, M. Amodio, C. Di Vignale Callori,
giancarlo.bovina@geosphaera.191.it

Finalité et description de la structure

Reconstruction et/ou consolidation de pentes dunaires à l'aide d'un système de « restriction » combiné, constitué d'osier associé à des bio-filets en fibre de coco et de brise-vent en roseau et de fascine d'*Erica scoparia*.

Après l'éventuel re-profilage du flanc dunaire, la structure est réalisée en partant du pied de la pente en installant: plusieurs séries de poteaux en châtaignier ($h = 2,00 \text{ m}$, $d = 0,08 \div 0,12 \text{ m}$). Les poteaux sont enfoncés de 1 m environ dans le sable et à une distance de l'ordre de 1,5 m.

Des rameaux de châtaignier ou d'autres espèces ayant des caractéristiques analogues ($l \sim 3,2 \text{ m}$, $d = 3 \div 5 \text{ cm}$) sont tressés entre les poteaux pour réaliser une structure en osier de 0.5 m de hauteur moyenne. La hauteur de cette structure est variable et dépend de la topographie. Le côté de la structure orienté vers le sommet de la dune est protégé sur toute la superficie du gradin par un biofilet en fibre de coco. Ce biofilet devra être également étendu le long du plan horizontal afin de réaliser des « couches renforcées » de sable.

Au-dessus de la structure en osier, des écrans brise-vent sont réalisés. Ils sont constitués de nattes pré-tissées en canne (fascine), de 0.5 m de hauteur, fixés aux poteaux du châssis par du fil de fer zingué ou des rameaux de châtaignier.

Après le versement de sable, le profil du versant est remodelé pour obtenir une pente d'angle inférieur à l'angle de repos des sables. Les écrans brise-vent sont ensuite reliés entre eux par des structures analogues disposées perpendiculairement, qui utilisent comme tuteurs les mêmes piquets en châtaignier. Une structure en cellule est ainsi réalisée.

Devant la structure, au niveau du pied de la dune, un écran brise-vent est réalisé avec des fascines verticales d'*Erica scoparia* ($h = 1,0 \div 1,2 \text{ m}$, diamètre à la base $\sim 0,10 \div 0,12 \text{ m}$).

Ces dernières sont montées sur un châssis constitué de poteaux verticaux en châtaignier ($h = 1,00 \div 1,20 \text{ m}$, $d = 0,08 \div 0,12 \text{ m}$), plantés à une distance de 2 m l'un de l'autre, et de piquets horizontaux de liaison, également en châtaignier, ($l = 2,0 \div 2,5 \text{ m}$, $d = 3 \div 5 \text{ cm}$). L'écran devra être enterré de 40 à 50% de la hauteur totale.

Domaines d'application

Milieu dunaire, zone de déflation et canyon d'érosion de différentes formes (érosion éolienne, de piétinement, de ruissellement, etc.) et avec une couverture végétale insuffisante pour retenir le sable éolien.

Matériels utilisés

- Piquets en châtaignier ($d = 8 \div 12$ cm; $h = 2.0 \div 2.5$ m);
- Filets de canne liés par du fil de fer ($h = 0.5$ m);
- Rameaux de châtaignier ou orniello ($d = 3 \div 5$ cm; $l = 3.0 \div 3.5$ m);
- Fascines d'Erica;
- Filet en fibre de coco;
- Fil de fer;
- Clous et vis.

Modalité d'exécution

- Re-profilage préliminaire de la superficie d'érosion y compris à l'aide d'apport de sable.

En procédant du pied de la dune vers le sommet (fig. 1):

- Plantation des poteaux pour la réalisation du châssis d'une structure en osier;
- Réalisation de tresse de rameaux en châtaignier (ou autre matériel de caractéristiques analogues) de diamètre de 3 à 5 cm;
- Positionnement des bionattes en fibre de coco pour le revêtement interne de la structure et du plan horizontal du gradin;
- Remplissage intermédiaire avec du sable;
- Réalisation d'écrans brise-vent constitués de nattes de canne pré-tissées et montées sur la partie supérieure des poteaux de la structure en osier;
- Réalisation de l'écran brise-vent en avant de l'œuvre de restriction, constitué par des fascines verticales d'Erica montées sur un châssis de poteaux en châtaignier;
- Remplissage avec du sable et re-profilage morphologique du versant dunaire jusqu'à l'obtention de la pente désirée;
- Réalisation d'écrans brise-vent internes aux remplissages et perpendiculaires à la structure en osier;
- Profilage morphologique finale du dépôt sableux.

Recommandations

Le sable utilisé pour le remplissage et le re-profilage des formes érosives, restaurées par la technique décrite, devra être compatible d'un point de vue minéralogique et sédimentologique et, si possible devra être prélevé dans des zones limitrophes.

Si possible, des petites implantations de végétaux autochtones sont conseillées pour anticiper les effets positifs de l'intervention de restauration.

Effet

L'œuvre permet de réaliser la suture des formes d'érosion, d'extension variable, dues à différents processus (éolien, de ruissellement, de piétinement) pouvant être également contemporains. Elle favorise les mécanismes de dépôt des sables éoliens, et aussi la stabilisation de la végétation qui trouve des conditions favorables à l'implantation et à son développement progressif à l'intérieur des écrans brise-vent.

Estimation des coûts

Le coût est de l'ordre de 35,00 €/ml, dont environ 40% de matériaux.

Aperçu

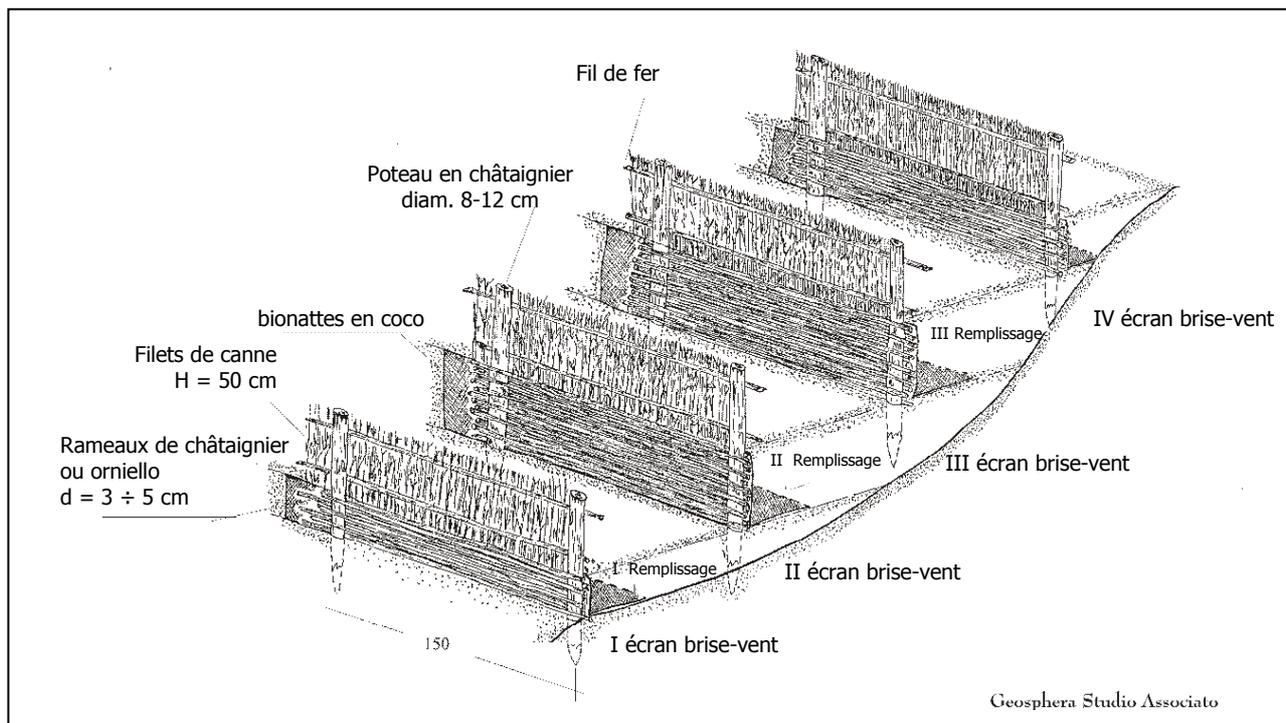


Figure 1 – Consolidation combinée constituée de structure en osier et d'écran brise-vent: aperçu de la première phase de construction.

3.2. CONSOLIDATION/RESTAURATION DES DUNES PAR LA VEGETATION

Des plantations en milieu dunaire peuvent être réalisées pour améliorer les capacités de cicatrisation naturelle de la dune et accélérer la restauration du couvert végétal d'une zone restaurée. Enfin la végétalisation peut améliorer la diversité végétale dans des secteurs dégradés (AA.VV., 2007).

Les propositions suivantes appartiennent à cette catégorie:

3.2.1. Végétalisation et aide à la végétalisation

DiSTA, Université de Bologna – M. Speranza, G. Pritoni, G. Venturi, maria.speranza@unibo.it
EID Méditerranée – S. Grosset, H. Heurtefeux, S. Mathieu, hheurtefeux@eid-med.org

Description synthétique

La végétalisation et les techniques d'aide à la végétalisation ont pour objectif d'accélérer les capacités naturelles de colonisation par la végétation.

Il est possible d'effectuer:

- une végétalisation sans préparation préalable du substrat;
- une végétalisation avec préparation du substrat;
- une aide à la reprise de la végétation spontanée.

La végétalisation peut être réalisée par graines, par bouturages directs, ou en utilisant des plants cultivés en pépinière issus de graines ou de boutures locales. Les espèces utilisées seront sélectionnées parmi les espèces de la flore locale du lieu d'intervention. La sélection des espèces végétales est une étape primordiale; elle doit être faite en fonction de la diversité spécifique, actuelle ou passée, des stations à végétaliser et des aptitudes édificatrices des espèces.

Domaines d'application

Ces techniques sont utilisées après une reconstitution dunaire ou pour la cicatrisation d'une zone mise à nue suite, par exemple, à un piétinement intense de la dune.

Matériaux

Végétalisation – Tous les matériaux végétaux vivants (graines, boutures, plantes) à utiliser doivent provenir du site en lui-même ou de dunes les plus proches.

Graines - La récolte des graines sera faite dans la nature pour chaque espèce au moment de la maturation des fruits, limitée à une période de 1-2 semaines et variable en fonction de la

localisation géographique; les espèces psammophiles du milieu méditerranéen ont leurs fruits qui mûrissent surtout dans la période printemps-début été. Les graines peuvent être utilisées pour obtenir des jeunes plantes à cultiver en pépinière, avant l'implantation *in situ*, ou utilisées directement *in situ*. Dans ce dernier cas, il peut être utile de préparer le substrat sableux par une couverture végétale morte qui retient les graines *in situ*. (voir après - aide à la reprise de la végétation spontanée).

Boutures – Les boutures sont récoltées dans la nature sur des plantes vivantes. La meilleure période pour faire des bouturages à cultiver en pépinière est le début du printemps, tandis que l'automne est propice pour les boutures implantées directement *in situ*.

Plantes cultivées en pépinière – Il s'agit de plantes obtenues par graines ou par boutures de plantes cueillies dans la nature (fig. 1a). Les nouvelles plantes seront cultivées en pépinière jusqu'à atteindre un développement suffisant pour garantir un bon enracinement au moment de l'implantation *in situ* (fig. 1b).

Préparation du substrat avant végétalisation: un maillage géotextile biodégradable peut être utilisé afin d'améliorer les conditions d'humidité du substrat et de limiter l'érosion éolienne; le géotextile utilisé est tissé à partir de fibres de jute. L'utilisation du géotextile avant végétalisation est obligatoire dans les secteurs pentus (fig. 2).

Aide à la reprise de la végétation spontanée – Une couverture végétale morte ou un géotextile peuvent être utilisés afin de stabiliser le substrat sableux. Ces techniques favorisent le piégeage des graines de la végétation *in situ* et donc son développement. La couverture morte la plus fréquemment utilisée en Languedoc-Roussillon est la tige de *Phragmites australis* (fig. 3). Un géotextile tissé à base de fibres de coco peut aussi être utilisé.

Modalités de mise en place

Végétalisation

Graines – Les semis réalisés *in situ*, ne donnent généralement pas de très bons résultats car le taux de germination peut être faible ou très faible (*Ammophila littoralis*, *Eryngium maritimum*, *Echinophora spinosa*, *Medicago marina*, *Euphorbia paralias*), et, même pour les espèces qui ont un taux de germination plus élevé (*Agropyron junceum*, *Otanthus maritimus*, *Anthemis maritima*, *Polygonum maritimum*, *Crucianella maritima*), la mortalité des plantules est toujours significative, surtout à cause de la sécheresse estivale.

Boutures - Le bouturage direct *in situ*, par exemple pour *Medicago marina*, *Polygonum maritimum*, *Crucianella maritima* est souvent peu ou très peu satisfaisant, tandis que pour d'autres espèces, telles que *Agropyron junceum*, *Otanthus maritimus*, *Sporobolus pungens*,

Anthemis maritima les résultats sont meilleurs. En tous cas, le bouturage direct en automne est toujours préférable au bouturage direct au printemps.

Plantes cultivées en pépinière – Les plantes obtenues en pépinière, à partir de graines ou de boutures, et réimplantées *in situ*, donnent aussi des résultats variables. Le Tableau 1 reporte les résultats d’une expérimentation de végétalisation, par bouturage, puis culture en pépinière avant implantation, à Agde (Hérault); le taux de survie des plants obtenu après deux années n’est pas très élevé. Mais une autre implantation, effectuée en octobre 2006 au site pilote de Foce Bevano (Ravenna, Italie), utilisant *Agropyron junceum* et *Ammophila littoralis*, obtenues également par bouturage puis cultivées en pépinière, a donné un taux de survie de 100%, sept mois après l’implantation (fig. 4). Ces deux expérimentations présentent des résultats différents qui résultent de l’utilisation d’espèces différentes et des conditions expérimentales également différentes (sécheresse estivale prononcée pour l’expérimentation à Agde, durée réduite de l’observation du taux de survie pour Foce Bevano). Toutefois les données ici reportées indiquent de très bonnes potentialités pour ce type de technique, en utilisant *Agropyron junceum* et *Ammophila littoralis*.

La meilleure période pour l’implantation est l’automne. La mise en place des plantes se fait après creusement de trous de 30 cm de profondeur, dans lesquels le plant doit être déposé, en prenant soin de maintenir intactes la motte de terre et les racines (fig. 5). Après l’introduction *in-situ*, selon les méthodes et les possibilités, suite à l’introduction *in situ*, un abondant arrosage est recommandé afin d’aider les plants surmonter le stress de la transplantation (fig. 6).

	Taux de survie An + 1 après plantation	Taux de survie An + 2 après plantation
<i>Crucianella maritima</i>	38%	25%
<i>Anthemis maritima</i>	54%	50%
<i>Helichrysum stoechas</i>	72%	20%
<i>Malcolmia littorea</i>	36%	32%
Taux de survie moyen	50%	31,70%

Tableau 1 – Résultat d’une expérimentation de végétalisation (par bouturage puis culture en pépinière) à Agde (Hérault).

Que l’on utilise des graines, des boutures, ou des plantes de pépinière, la localisation spatiale des espèces doit suivre leur distribution naturelle sur la dune, selon la zonation des

communautés qui colonisent les dunes embryonnaires, les dunes vives et les dunes fixées. Pour les espèces édifcatrices (*Ammophila littoralis*, *Agropyron junceum*, etc.), on utilise généralement une règle d'implantation en quinconce avec une densité d'implantation de 4 à 8 plantes/m².

Préparation du substrat avant végétalisation - Le géotextile est fixé sur les secteurs à stabiliser grâce à des agrafes métalliques.

Aide à la reprise de la végétation spontanée - La couverture végétale morte (tiges de *Phragmites australis*) est disposée sur le revers du cordon pour former un paillage (les tiges sont disposées croisées de manière à former un maillage sur 10 cm d'épaisseur).

Recommandations

Végétalisation: Le choix des espèces à utiliser pour la végétalisation sera précédé d'une reconnaissance de la végétation naturelle des dunes en bon état de conservation, les plus proche possible du site d'intervention. De cette manière, on pourra identifier les espèces qui contribuent davantage à l'édification de la dune et à la fixation du sable, et les espèces qui augmentent la biodiversité du site, mais qui n'ont pas un rôle édificateur. Sur les dunes du Languedoc-Roussillon, les espèces les plus appropriées pour la végétalisation sont: *Agropyron junceum* (= *Elymus farctus*) et *Sporobolus pungens* pour la dune embryonnaire, *Ammophila littoralis* (= *Ammophila arenaria ssp. australis*), *Anthemis maritima* et *Euphorbia paralias* pour la dune vive, *Artemisia campestris*, *Helichrysum stoechas*, *Crucianella maritima* pour la dune fixe. De même, sur les dunes de la côte du Nord Adriatique, *Agropyron junceum* et *Ammophila littoralis* sont les espèces quantitativement prédominantes pour la dune embryonnaire et pour la dune vive, respectivement. Pour ne pas endommager les communautés végétales des lieux de récolte, le prélèvement de matériel vivant doit être contenu le plus possible.

Selon les expérimentations effectuées à l'Exploitation Agricole de l'Université de Bologna (AUB), la fin de l'hiver-début du printemps est un bon moment pour la récolte dans la nature du matériel *A. junceum* et *A. littoralis* à propager en pépinière. Les nouvelles pousses commencent à se former environ un mois après la transplantation en pots et les températures peu élevées favorisent un meilleur développement des jeunes pousses. L'été est une période critique même en pépinière: il faut alors assurer une irrigation régulière et suffisante, et protéger les plantes par un pare-soleil. Cela peut éviter des pertes importantes par mortalité pendant l'été. Une récolte précoce du matériel végétal à propager permet, en outre, de disposer en automne de plantes bien développées et aptes pour l'implantation *in situ*. Les

conditions de culture en pépinière doivent être aussi proches que possible des conditions naturelles, afin de favoriser, par la suite, l'adaptation des plants au milieu dunaire naturel.

En milieu méditerranéen et sub-méditerranéen, l'automne semble être la période la plus propice pour réaliser les bouturages directs ainsi que l'implantation *in situ* de plantes multipliées en pépinière, qui bénéficieront ainsi des températures moins élevées et des pluies d'automne-hiver.

Dans les premiers mois suivants les plantations *in situ*, il faut limiter les risques d'érosion éolienne tout comme un ensablement trop important. Le piétinement doit être absolument contrôlé.

Aide à la reprise de la végétation spontanée: La couverture morte déposée sur les dunes (comme les tiges de *Phragmites australis*) doit être autant que possible exempte de propagules d'espèces adventices ou invasives, afin d'éviter la prolifération de ces espèces.

Limites d'applications

La végétalisation ne peut être pratiquée que sur des surfaces relativement petites en raison de son coût élevé. Les techniques d'aide à la reprise de la végétation spontanée peuvent, elles, être étendues à des surfaces plus importantes. Les coûts supérieurs de la végétalisation sont toutefois compensés par une rapidité supérieure de formation d'une couverture végétale et, par conséquent, de stabilisation du stock sableux.

Avantages

Les deux techniques (végétalisation et aide à la reprise de la végétation spontanée) permettent d'accélérer la reprise naturelle de la végétation et de stabiliser le stock sableux, mais avec des coûts, des résultats et des avantages bien différents entre elles.

Végétalisation par graines – Il s'agit d'une technique relativement peu coûteuse. La récolte des graines ne comporte pas d'impacts importants sur l'environnement et sur la végétation des sites de récolte.

Végétalisation par bouturage direct – Il s'agit d'une technique un peu plus efficace que la végétalisation par graines et moins coûteuse que la végétalisation par plantes cultivées en pépinière.

Végétalisation par plantes cultivées en pépinière – Elle est sans doute plus efficace que la végétalisation par graines, par bouturage direct et que l'aide à la végétalisation, même si la mortalité peut être également significative (tab. 1). *Agropyron junceum* et *Ammophila littoralis* ont parfois donné de très bons résultats (taux de survie de 100%, 7 mois après les plantations).

En outre, la production des plantes par bouturage en pépinière est suffisamment rapide, comporte selon les espèces utilisées des pertes réduites et, si les temps sont bien calibrés, il est possible de disposer du matériel pour la végétalisation dans 6-7 mois suivant la récolte dans la nature. Enfin, par rapport au bouturage direct, cette technique comporte un impact réduit sur l'environnement, car la quantité de matériel végétal prélevé en nature est mineure.

Aide à la végétalisation – Il s'agit dans absolu de la technique la plus économique et donc particulièrement adaptée à des sites de grande taille.

Inconvénients

Végétalisation par graines ou par bouturage direct - La mortalité des individus obtenus par graines est en général élevée. Le temps pour obtenir une couverture végétale significative, qui puisse représenter un véritable obstacle pour le vent, est long. Le bouturage direct peut donner des résultats meilleurs, mais la mortalité est parfois significative. Le succès de reprise de la végétation est fortement dépendant de la biologie des espèces, des conditions climatiques, de la dynamique sableuse et de la fréquentation du site. De plus, le bouturage direct peut comporter un certain impact sur les sites de récolte du matériel végétal à utiliser.

Végétalisation par plantes cultivées en pépinière - Il s'agit d'une technique onéreuse et un peu complexe, qui demande un bon calibrage temporel des différentes phases, de récolte du matériel végétal dans la nature, de préparation des boutures, de culture en pépinière, à l'implantation *in situ*.

Aide à la végétalisation - Il s'agit de techniques économiques, mais le temps pour obtenir une couverture végétale significative est assez long, surtout si les communautés végétales qui sont sources de propagules (graines, fruits, rhizomes) d'espèces psammophiles se trouvent loin du site à végétaliser. Enfin la couverture morte, utilisée pour stabiliser le substrat sableux et pour favoriser le piégeage de graines, peut être éliminée en cas de vents violents.

Evaluation des coûts (hors main d'œuvre)

Végétalisation par graines. On ne dispose pas d'évaluations ponctuelles et complètes sur les coûts de cette technique.

Végétalisation par plantes issues de bouturage et cultivées en pépinière en Languedoc-Roussillon (hors main d'œuvre). 11 €/m².

Végétalisation par plantes cultivées en pépinière (compris main d'œuvre). 14-15 €/m².

Aide à la reprise de la végétation spontanée et préparation du substrat (hors main d'œuvre): Gerbe de *Phragmites*: 3 € (avec 1/2 gerbe au m², soit 1.5 €/m²); Géotextile jute: 3.2 €/m²; Géotextile coco: 5.5 €/m².

Phasage de réalisation

- La phase de multiplication en pépinière dure de 6-7 mois (plantes obtenues par boutures) à 1-1.5 ans (plantes obtenues par graines). Ces temps permettent d'obtenir des plantes bien développées qui ont une bonne probabilité de survie après l'implantation.
- Entre la restauration morphologique et la végétalisation, une période d'un an est recommandée pour que le sable se stabilise et éventuellement se désalinise. Ce délai permet en outre de laisser le temps à la végétation spontanée de recoloniser le sable; la végétalisation n'est alors nécessaire que sur les zones non colonisées.

La meilleure saison, soit pour le bouturage direct, soit pour l'implantation des plantes cultivées en pépinière, est l'automne.

Photographies



Figure 1 - a) Touffe et rhizome de *Ammophila littoralis*, utilisées pour des bouturages (gauche).
b) Cultivation en pépinière des plantes obtenues par bouturage (droite).

Photos: M. Speranza et G. Pritoni.



Figure 2 – Végétalisation par plantation sur un géotextile en fibres de jute, 3 ans après les plantations.



Figure 3 – Paillage du revers du cordon et gerbe de *Phragmites australis*.



Figure 4 – Végétalisation par *Agropyron junceum* et *Ammophila littoralis* (bouturage puis culture en pépinière), sept mois après l'implantation (Foce Bevano - Ravenna, Italie).

Photo: M. Speranza.



Figure 5 – Préparation des trous et mise en place d'une touffe de *Agropyron junceum*.
Photos: G. Pritoni.



Figure 6 – Arrosage après l'implantation.
Photos: G. Pritoni et M. Speranza.

3.3. RECONSTRUCTION DU CORDON DUNAIRE

La construction de dunes artificielles doit reproduire en termes de morphologie et de dimension les formes naturelles correspondantes (AA.VV., 2007).

Les quatre propositions suivantes appartiennent à cette catégorie:

3.3.1. Reconstitution des dunes côtières

EID Méditerranée – P. Richard, H. Heurtefeux, hheurtefeux@eid-med.org

Description synthétique

Certaines dunes disparues nécessitent d'être reconstituées artificiellement. Le principe est de mettre en forme mécaniquement puis de protéger un cordon sableux, qui évoluera ensuite en fonction des processus naturels.

Champs d'application

Sont concernés les littoraux constitués de dunes et de plages de sable fin. L'érosion marine (recul du trait de côte) ne doit pas être trop forte: la plage doit être suffisamment large. Aucun obstacle imperméable ne doit exister entre la plage et la dune. Le site doit être facilement accessible, avec des sources de sédiments à proximité.

Suggestions

Le positionnement et le dimensionnement du futur cordon dunaire doit être étudié très précisément afin de garantir sa pérennité. La fréquentation du public doit être contrôlée pour éviter le piétinement de la dune (cf. fiche "gestion de la fréquentation").

Matériaux

- **Sable:** fin, propre (pas d'éléments allochtones), en quantité suffisante et si possible à proximité du site à traiter;
- **Ganivelles** (treillis fabriqués mécaniquement à partir de lattes (non sciées) de châtaignier régulièrement espacées et assemblées entre elles par des fils de fer);
- **Piquets d'ancrage** en châtaignier;
- **Fil de fer** d'attache.

Modalités de mise en place

Le sable est apporté au moyen d'engins mécaniques depuis sa source, avant d'être modelé suivant des formes les plus proches possible de celles des dunes naturelles. La totalité de la surface de ce bourrelet ainsi reconstitué doit ensuite être protégée contre l'action du vent et du piétinement (les techniques les plus courantes utilisent des ganivelles disposées verticalement, face au vent dominant, et attachées sur des piquets d'ancrage en bois enfoncés dans le sable).

Phasage de réalisation

La mise en place des ouvrages de protection contre l'action éolienne (ganivelles; fig. 2) doit être effectuée en même temps que la mise en forme du bourrelet sableux (fig. 1).

Avantages

Rapidité de la reconstitution dunaire (fig. 3). Utilise ensuite les processus naturels pour aider la dune à se consolider. Utilisation de matériaux naturels.

Inconvénients

Nécessité de volumes sableux disponibles, si possible à proximité. Matériaux dégradables, nécessitent une maintenance.

Impacts

Moyens: dégâts éventuels sur le milieu, dus à l'utilisation d'engins de génie civil.

Evaluation des coûts

Entre 300 et 400 € le mètre linéaire côtier (sable, fournitures et main d'œuvre).

Photographies



Figure 1 – Mise en forme mécanique du bourrelet sableux (année *n*).

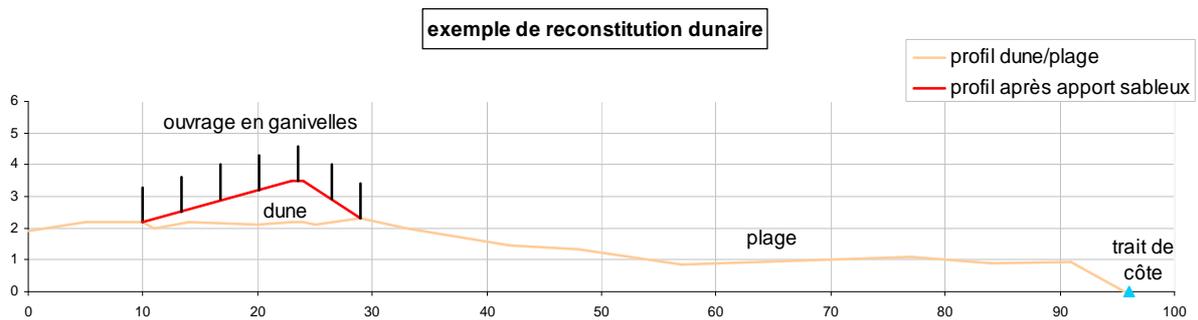


Figure 2 – Protection du bourrelet sableux contre l'érosion éolienne (année n).



Figure 3 – dune en voie de reconstitution (année $n + 2$).

Coupe-type



© EID-Med

3.3.2. Restauration des dunes côtières

EID Méditerranée – P. Richard, H. Heurtefeux, hheurtefeux@eid-med.org

Description synthétique

L'application de techniques de génie écologique permet d'assurer la restauration, la consolidation des dunes. Le principe est d'utiliser l'énergie des facteurs naturels pour redonner à la dune un volume sableux satisfaisant: le sable transporté par la mer et le vent sur la plage est capté et stabilisé sur la dune grâce à des ouvrages à effet brise-vent (fig. 1).

Champs d'application

Sont concernés les littoraux constitués de dunes et de plages de sable fin, où le vent venant de la mer peut souffler librement. L'érosion marine (recul du trait de côte) ne doit pas être trop forte: la plage doit être suffisamment large. Aucun obstacle imperméable ne doit exister entre la plage et la dune.

Suggestions

Le positionnement et le dimensionnement des ouvrages doivent être étudiés très précisément afin de garantir leur efficacité. La fréquentation du public doit être contrôlée pour éviter le piétinement de la dune (cf. fiche "gestion de la fréquentation"). Les ouvrages réalisés doivent faire l'objet d'un suivi et d'un entretien réguliers.

Matériaux

- **Ganivelles;** ce sont des treillis fabriqués mécaniquement à partir de bois de châtaignier (possibilité d'utiliser également des nervures de feuilles de palmier type *phœnix*), formés de lattes (non sciées) régulièrement espacées et assemblées entre elles par des fils de fer. Différentes hauteurs de ganivelles peuvent être utilisées;
- **Piquets d'ancrage** en châtaignier (différentes hauteurs existent);
- **Fil de fer** d'attache.

Modalités de mise en place

Les ganivelles sont disposées verticalement, face au vent dominant, et attachées sur des piquets d'ancrage en bois (châtaignier) profondément enfoncés dans le sable. Le travail doit être effectué manuellement, pour minimiser les impacts sur la dune et sa végétation.

Phasage de réalisation

Mise en place des piquets d'ancrage dans le sable; positionnement et fixation des lignes de ganivelles sur les piquets.

Avantages

Utilise les processus naturels pour aider la dune à se consolider. Intégration paysagère, utilisation de matériaux naturels. Ouvrages s'adaptant au relief et réversibles.

Inconvénients

Matériaux dégradables, nécessitent une maintenance.

Impacts

Très faibles.

Evaluation des coûts

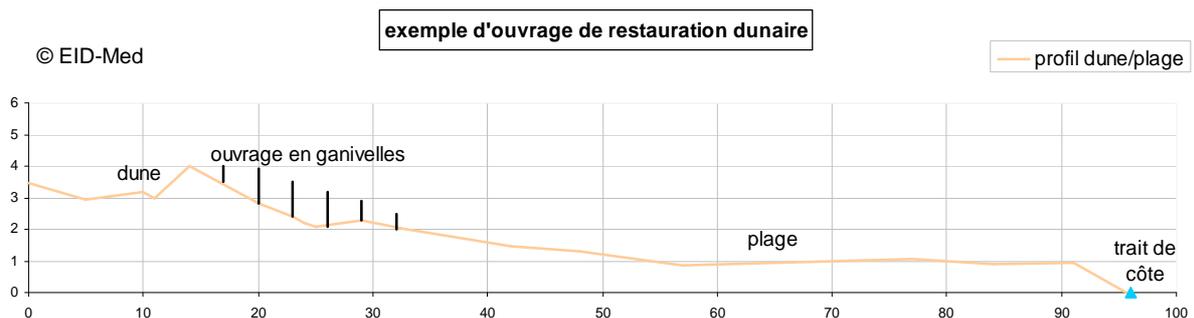
Entre 100 et 200 € le mètre linéaire côtier (fournitures et main d'œuvre).

Photographies



Figure 1 – ouvrages à effet brise-vent: le sable transporté par la mer et le vent sur la plage est capté et stabilisé sur la dune.

Coupe-type



3.3.3. Restauration d'un cordon dunaire et de la plage/1

Università di Ferrara – U. Simeoni, C. Corbau, V. Brunelli, S. Gragnaniello, U. Tessari, g23@unife.it

Description synthétique

Reconstruction de dune et de la plage adjacente. Certaines dunes sévèrement attaquées par la houle nécessitent d'être reconstruites artificiellement. Le principe est de réaliser un rechargement mécanique en haut de plage en utilisant le sable provenant du nettoyage des plages et accumulé dans les décharges afin de reconstruire la dune, qui évoluera successivement en fonction des processus naturels.

Domaines d'application

Littoraux présentant une sévère crise érosive caractérisés par un fort retrait du trait de côte (de l'ordre de 5 m/an) et cordons dunaires fortement attaqués par la houle (fig. 1). Toutefois, la quantité de sédiment nécessaire ne doit pas être importante car elle provient du nettoyage des plages. De plus, le site ne doit pas avoir une forte valeur touristique.

Le site doit être facilement accessible, et les dépôts de sédiments doivent être situés à proximité.

Suggestions

Le positionnement et les dimensions du futur cordon dunaire doivent être étudiés très précisément afin de garantir sa pérennité.

Les modalités d'intervention sont fortement conditionnées par le financement disponible, par l'urgence liée à la défense de la zone et par la nécessité de reconstruire les dunes et la plage adjacente.

Matériaux

- **Sables** : Les sables nécessaires pour le versement proviennent d'une décharge où sont accumulés les sédiments et les déchets récoltés durant le nettoyage des plages;
- **Déchets**: Déchets recueillis lors du nettoyage des plages;
- **Troncs et branchages** accumulés sur la plage.

Modalités de mise en place

Lors du projet, la future caractérisation morpho-topographique de la zone d'intervention est définie à partir de l'étude d'un trait de côte adjacent qui présente un « bon état de

conservation ». La comparaison des profils topographiques de cette zone avec des profils topographiques de la zone d'intervention permet de déterminer la quantité de matériel à verser pour obtenir la largeur de plage définie par le projet.

Les sables nécessaires pour le rechargement peuvent être prélevés d'une décharge où sont accumulés les sédiments et les déchets recueillis durant le nettoyage des plages.

Après un tamisage (fig. 2a), les sédiments sont transportés par camion et autres moyens mécaniques pour être déversés sur la plage objet d'intervention (fig. 2b).

De plus, les troncs et les branchages accumulés sur la plage et recueillis au cours de la phase préparatoire peuvent être déposés au pied de la dune si la plage en question est peu touristique (fig. 3). Cela fournit au cordon dunaire une protection supplémentaire à l'action destructrice de la houle et favorise le dépôt des sédiments transportés par le vent.

Réalisation

Relevé topographique de la zone pour la caractérisation morfo-topographique (fig. 4).

Réalisation de profils topographiques pour calculer les volumes de matériel nécessaires pour obtenir la largeur de la plage souhaitée (fig. 5). Ces volumes sont successivement corrigés par un facteur multiplicatif.

Repérage du matériel nécessaire dans les décharges où est accumulé le matériel recueilli durant le nettoyage des plages.

Après tamisage, le matériel est transporté puis déversé sur la plage objet d'intervention.

Avantages

Rapidité de la reconstitution de la dune.

Consolidation de la dune grâce aux processus naturels.

Utilisation de matériaux provenant du nettoyage des plages (décharges).

Inconvénients

Nécessité de volumes sableux disponibles, si possible à proximité du site.

Difficulté de réaliser un profil naturel de la plage. Son modelage sera fonction des conditions météo-marines après intervention.

Impacts

Moyens: dégâts éventuels sur le milieu, dus à l'utilisation d'engins de génie civil.

Evaluation des coûts

Environ 200.000 € pour un rechargement de 22.000 m³.

Photographies



Figure 1 – Exemple de figures érosives du cordon dunaire (Lido delle Nazioni).



Figure 2 – a) Tamisage du sable et b) versement du matériel sur la plage. L'exemple provient de l'analyse réalisée par l'Université de Ferrara dans le cadre d'un projet de reconstruction des dunes du Lido delle Nazioni (Regione Emilia-Romagna). Durant l'intervention environ 22.000 m³ de sable ont été transportés et versés sur la plage objet d'intervention.



Figure 3 – Exemples de troncs et de branchages déposés sur le flanc marin du cordon dunaire lors de l'intervention de reconstruction des dunes du Lido delle Nazioni (Regione Emilia-Romagna).

Coupe-type

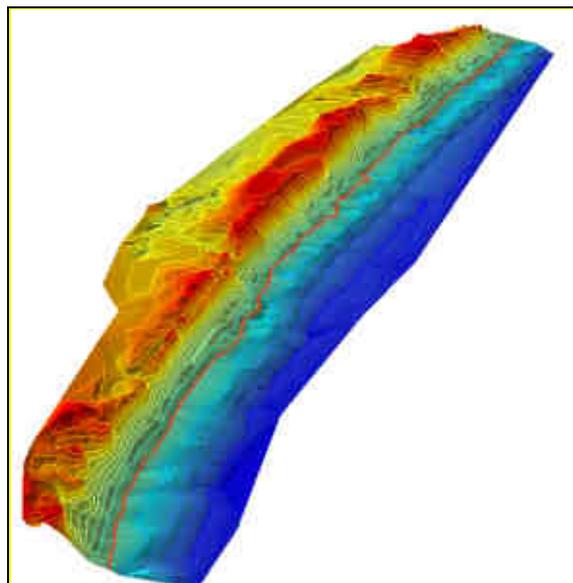


Figure 4 – Exemple de modèle 3D de la zone étudiée réalisé à l'aide des données topographiques (Lido delle Nazioni).

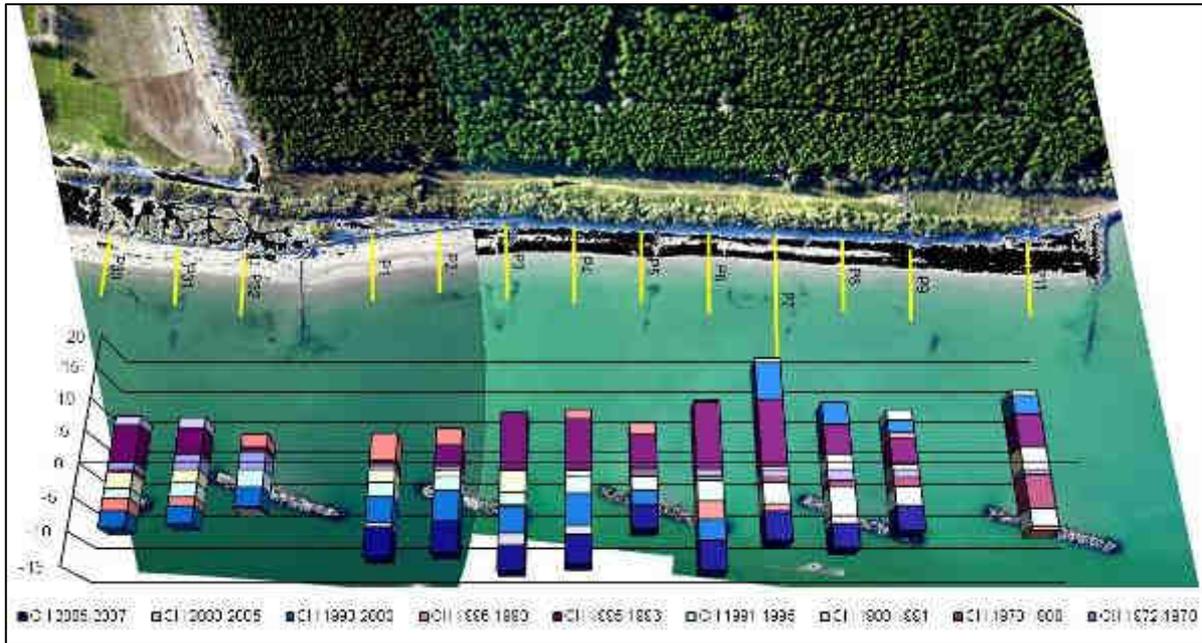


Figure 5 – Analyse de l'évolution du trait de côte du Lido delle Nazioni le long de 13 profils réalisée par l'Université de Ferrara dans le cadre d'un projet de reconstruction des dunes du Lido delle Nazioni (Regione Emilia-Romagna). Les histogrammes représentent les variations de la plage entre 1978 et 20074. L'intervention a été réalisée entre P1 et P9.

3.3.4. Restauration d'un cordon dunaire et de la plage/2

Université de Ferrara – U. Simeoni, C. Corbau, V. Brunelli, S. Gagnaniello, U. Tessari, g23@unife.it

Description synthétique

Construction d'un cordon dunaire, constitué d'un noyau interne artificiel et basculant, afin de protéger l'arrière pays et rechargement de la plage adjacente pour atténuer le risque lié aux évènements de tempête et d'« *acqua alta* ». Au cours du projet une attention particulière a été accordée à la morphologie et à la topographie du cordon afin de respecter les dimensions et les géométries des dunes naturelles des zones côtières limitrophes (Simeoni, 2002).

Domaines d'application

Littoraux en forte érosion caractérisés par un fort recul du trait de côte et où les dimensions de la plage (naturelle ou reconstruite) n'offrent plus une protection suffisante contre les évènements de tempête et d'« *acqua alta* », et, ne protègent donc plus la zone et les territoires situés en arrière. Le site doit être facilement accessible, et les sources de sédiments doivent se trouver à proximité du site d'intervention.

Suggestions

Le positionnement et les dimensions du futur cordon dunaire doivent être étudiés précisément afin de garantir sa pérennité.

Matériaux

- **Sable:** fin marin, propre et si possible à proximité du site d'intervention.

Modalités de mise en place

Etude de l'évolution hydrodynamique et morpho-dynamique du site à travers des recherches et l'élaboration de modèles numériques pour tester les différentes options de mitigation du risque. Recueil de données sur les vents, la houle et le trait de côte. Ces données sont essentielles pour développer les modèles mathématiques qui projettent les morphologies des dunes et de la plage. Lors du projet de reconstruction, une attention particulière doit concerner la correcte insertion environnementale de la dune en respectant les dimensions et les géométries des dunes naturelles.

Les sédiments compatibles ou économiquement utilisables doivent se trouver à proximité du site d'intervention. Dans le cas spécifique, le matériel utilisé pour protéger un trait de côte en

forte érosion (environ 1 km de long), situé sur la rive gauche du Po de Goro, a été prélevé sur une barre sableuse située sur les fonds adjacents à une profondeur de 2-3 m.

La quantité limitée de matériel disponible, environ 80.000 m³, a permis la reconstruction d'une plage de dimension réduite. Cependant ce rechargement ne protégeait pas suffisamment la zone du phare et l'arrière pays des évènements extrêmes et ne garantissait pas la continuité du Scanno de Goro.

Une fois la plage remodelée, des cordons dunaires furent reconstruits pour réduire le risque lié à ces évènements et défendre les zones d'arrière-plage (Simeoni, 2002).

Les dunes reconstruites ont été pourvues (Fig. 1, 2 et 3) d'une armure interne basculante: formée par des gabions, hauts 20-30 cm et remplis de galets, reposant sur des poteaux. Le matelas en galets, étendu sur un géotextile semi-perméable, a été ensuite recouvert de sable.

Réalisation

La construction de la dune armée doit être réalisée en même temps que le rechargement de la plage considérée.

Avantages

Défense douce, avec faible impact sur la dynamique naturelle et respectueuse des caractéristiques environnementales de la zone.

Ces dunes artificielles en plus de jouer la double fonction de barrière contre les ingressions marines et de réserve sédimentaire pour l'alimentation des plages en érosion, occupent un rôle de défense encore plus important puisqu'elles ont été pourvues d'une armure interne basculante.

Dans le cas d'une régression rapide de la plage l'armure sera mise à jour et devrait basculer sur l'échafaudage pour s'adapter à la nouvelle organisation morpho-topographique de la plage (fig. 3).

Inconvénients

Attention particulière lors de la construction du noyau interne;

Nécessité de subdiviser les matelas en section afin d'empêcher les déplacements et les accumulations des galets;

Accroissement des coûts.

Impacts

À court terme, sa bonne évolution est documentée par la rapide croissance du nouvel appareil dunaire et par l'évolution positive du trait de côte.

Correcte insertion environnementale de l'œuvre indispensable pour des zones protégées (Parcs naturels, SIC.).

Evaluation des coûts

Le coût total de l'intervention a été de 656,600.00 €; dont 274,600.00 € pour le rechargement et 158,000.00 € pour la reconstruction et l'armature du cordon dunaire.

Images

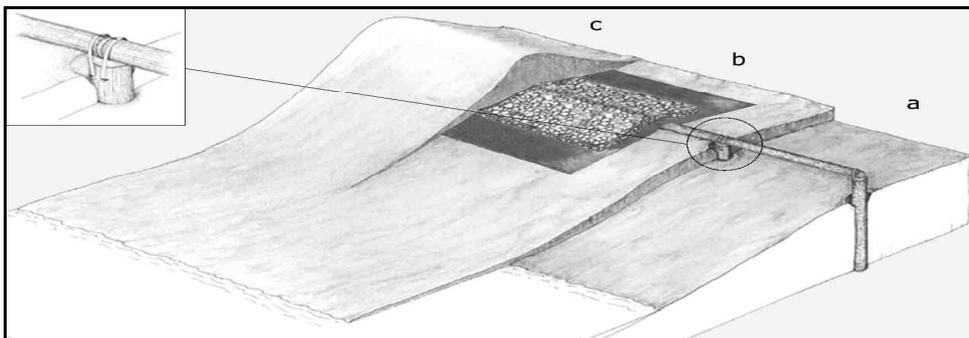


Figure 1 - Phases de construction du noyau interne armé des dunes: a) construction de la structure portante (poteaux), avec détail de la fixation; b) pose du matelas en galets sur le géotextile semi-perméable; c) couverture du noyau armé et modelage de la dune.

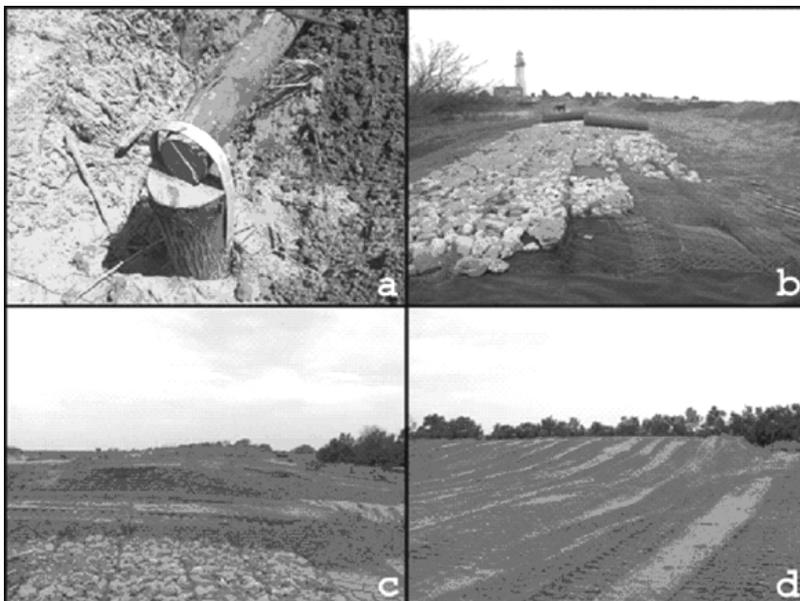


Figure 2 – Phases de la construction de l'armure interne des dunes:

- a) crochets entre les poteaux;
- b) pose du matelas en galets;
- c) couverture partielle de l'armure;
- d) intervention achevée.

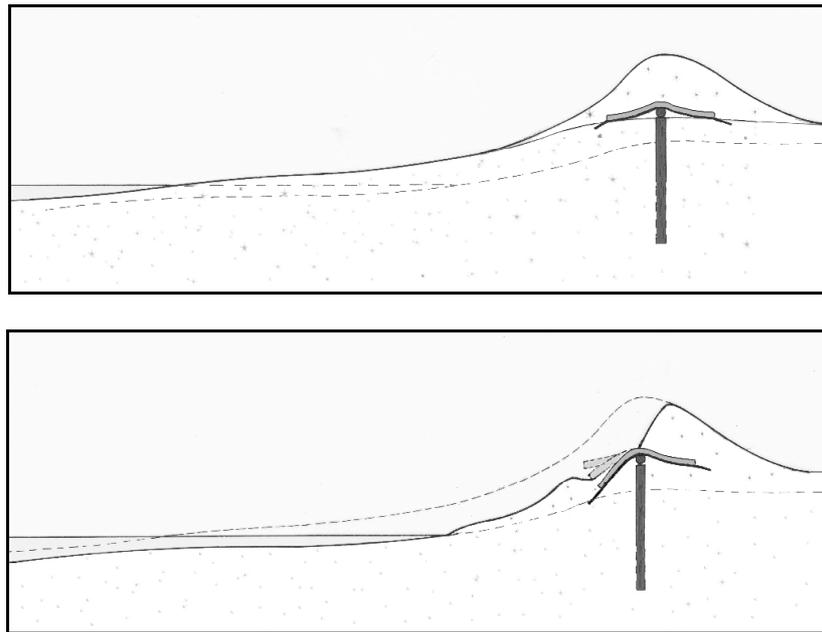


Figure 3 – Comportement de la structure armée basculante en cas de forte érosion. Image supérieure: situation après intervention; image inférieure: comportement du matelas en fonction du nouveau profil de la plage.



Figure 4 - La zone du phare de Goro après intervention.

3.4. GESTION DE LA FREQUENTATION

En complément aux techniques de rétablissement/restauration des cordons dunaires décrites co-dessus, il est conseillé d'entreprendre une politique de gestion de la fréquentation (AA.VV., 2007).

Les quatre propositions suivantes rentrent dans cette catégorie:

3.4.1. Passerelles rasantes

Studio Associato Geosphaera – G. Bovina, M. Amodio, C. Di Vignale Callori,
giancarlo.bovina@geosphaera.191.it

Description de la structure et finalité

Structure construite avec des matériels naturels pour protéger les dunes de l'érosion liée au piétinement, en correspondance des parcours utilisés par les baigneurs pour accéder aux plages (fig. 1a et 1b). Les passerelles sont réalisés en coïncidence des "tracés" existants et prévoient la protection et la consolidation des sables « meubles » à l'aide de biofilets en fibre de coco de grammage approprié (matériel naturel de bonne résistance et durabilité) enterrés à une profondeur de 5-10 cm environ. La réalisation de mains-courantes latérales en châtaignier permettent de guider correctement les utilisateurs de la plage et de rendre le parcours plus facile (fig. 2 et 3).

Domaines d'application

Versants dunaires peu pentus, pied de la dune et arrière-plage caractérisés par des signes évidents d'érosion de piétinement.

Matériels utilisés

Bionatte en fibre de coco de grammage minimum de 700 gr/mq.

- Poteaux en châtaignier:
 - montant de 10 - 12 cm de diamètre et d'environ 1.5 m de hauteur;
 - main-courante de 8-10 cm de diamètre et de 3-6 de longueur;
 - "pare-jambe" (d = 6 - 8 cm; l = 3 - 6 m);
 - "coup de pied" (d = 10 - 12 cm; l = 3 - 6 m).
- Vis.

Modalité d'exécution

La construction de la structure prévoit:

- Le positionnement de deux séries de piquets en châtaignier distants entre eux de 2 m. Les piquets sont enterrés à une profondeur supérieure à 0.5 m. Les deux séries devront être distantes entre elles de 1 m environ afin de permettre le passage des personnes.
- Fixation de la main-courante et positionnement du pare-jambe.
- Profilage du fond sableux.
- positionnement de la bionatte le long du chemin.
- Couvrir la bionatte avec du sable jusqu'à obtenir une couverture homogène et régulière de 5-10 cm environ d'épaisseur.

Recommandations

Choix attentif du parcours en évitant les traits pentus ou avec un profil très irrégulier; les éventuels dénivelés peuvent être franchis à l'aide de petits gradins réalisés avec des piquets de bois.

Il s'agit d'une œuvre très simple mais qui nécessite une réalisation très soignée (par exemple durant les phases d'assemblage des composants et la fixation de la bionatte). De plus, il est nécessaire de réaliser des contrôles fréquents et un léger entretien durant les périodes d'utilisation majeure.

Limite d'application

La structure ne peut être réalisée si:

- Les pentes sont supérieures à 10 - 15 %;
- La dynamique éolienne au niveau des chemins est particulièrement active (érosion importante ou excès de dépôt sableux);
- Il existe une absence ou carence d'entretien;
- Les environnements sont peu contrôlés ou soumis au vandalisme.

Avantages

- Excellente insertion environnementale;
- Vitesse de réalisation;
- Faible coût par rapport aux passerelles classiques;
- Entretien ordinaire simple et économique;
- Biodégradation totale des matériaux.

Inconvénients

- Forte vulnérabilité aux actes de vandalisme.
- Nécessité d'entretien fréquent (il est indispensable de recouvrir la bionatte de sable si elle est facilement découverte par l'action éolienne ou par une fréquentation massive); il s'agit toutefois d'un entretien simple et rapide.
- Nécessité de substituer la bionatte (sans devoir retirer celle dégradée) tous les 2-3 ans en fonction de l'utilisation et de l'exposition.

Effet

L'œuvre permet de réaliser rapidement des parcours contrôlés, efficaces et confortables pour la traversée de la dune. Elle est particulièrement indiquée pour les dunes caractérisées par un piétinement diffus et une forte distribution de sillons érosifs. Elles sont mieux insérées que les passerelles traditionnelles même d'un point de vue du paysage.

Estimation des coûts

Le coût est de l'ordre de 65 €/ml (pour une largeur de passage de 1 m environ) dont environ 50% de matériaux.

Photographies



Figure 1a– Exemple de passerelle rasante.



Figure 1b – Exemple de passerelle rasante.

Section

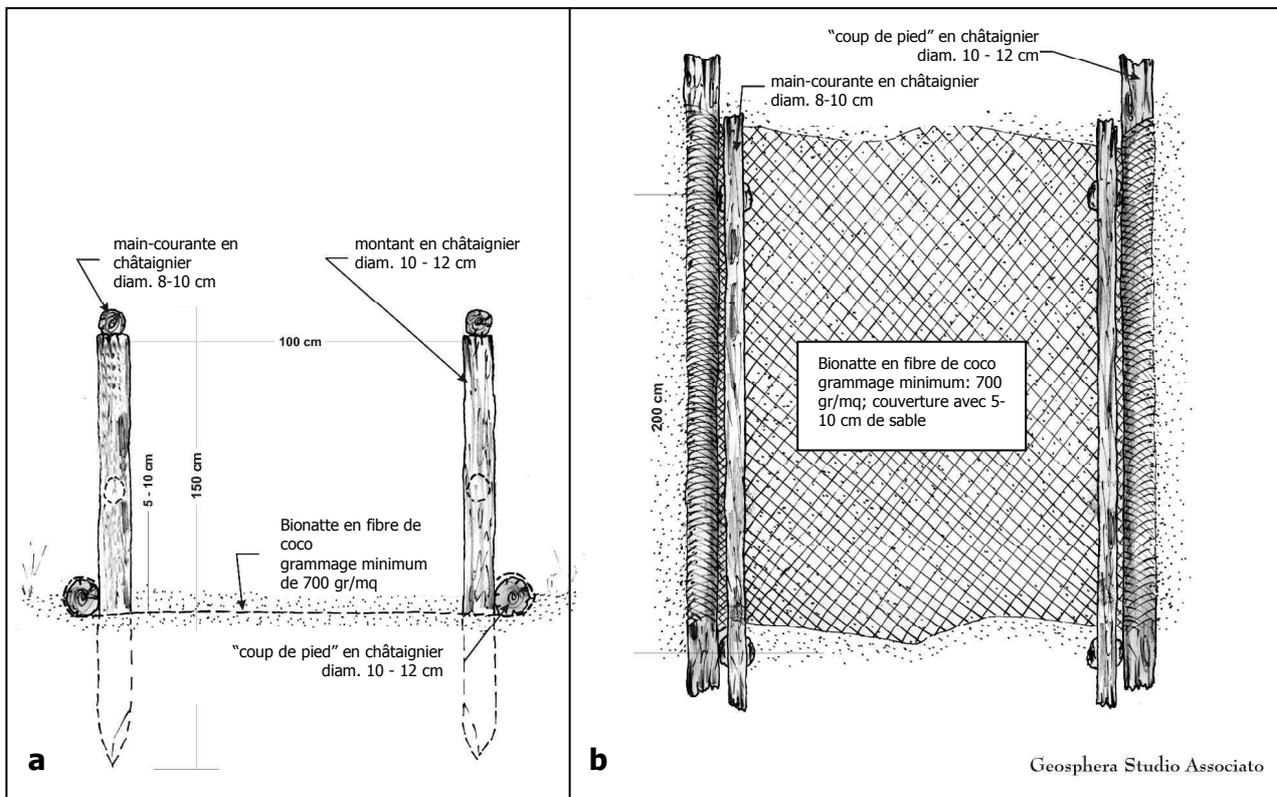


Figure 2 - Passerelles rasantes. Légende: a) section; b) plan.

Aperçu

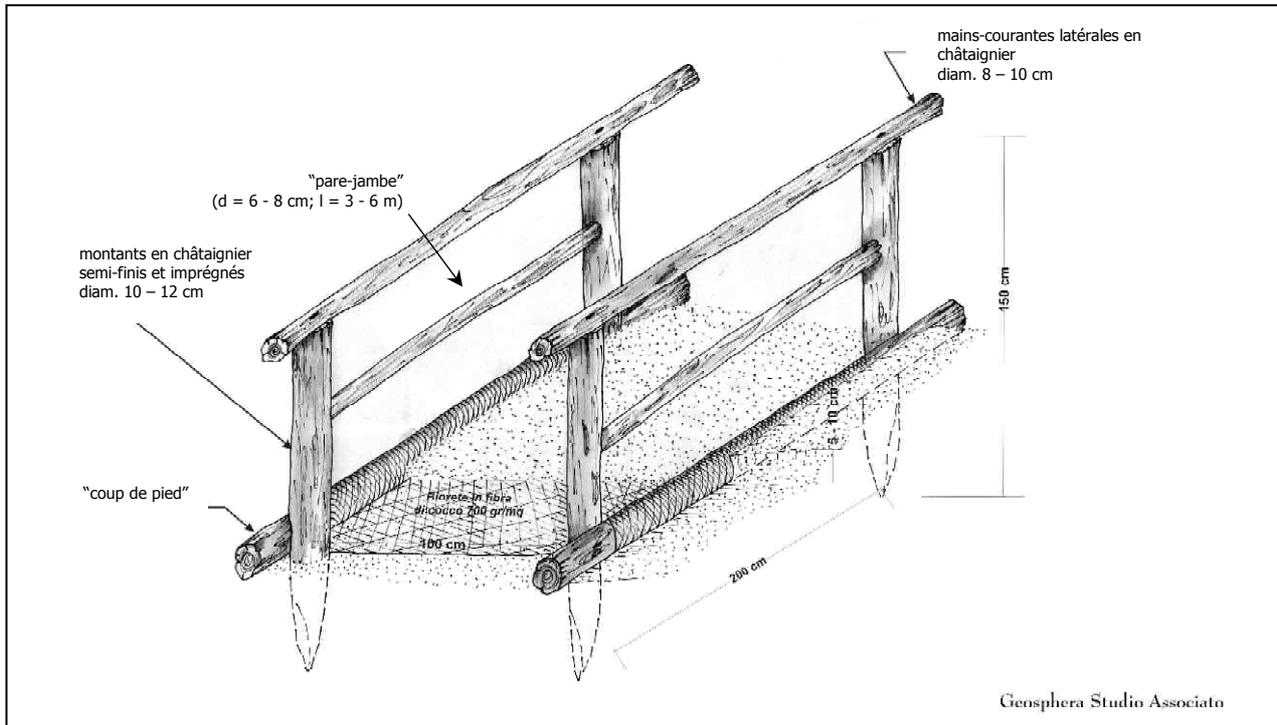


Figure 3 - Passerelles rasantes, aperçu.

3.4.2. Barrière basale en osier

Studio Associato Geosphaera – G. Bovina, M. Amodio, C. Di Vignale Callori,
giancarlo.bovina@geosphaera.191.it

Finalité et description de la structure

Protection du pied dunaire au moyen de barrière basale en bois, constituée d'osier partiellement enterrée et inclinée d'environ 60° par rapport au plan horizontal. La structure en osier, réalisée à l'aide d'une tresse de rameaux (réguliers et longs) et de piquets en châtaignier, doit être enterrée d'environ 50% de sa hauteur. Cette opération est réalisée en remplissant la tranchée avec le sable provenant du creusement, en prenant soin de réaliser une petite butte autour de la structure (fig. 1 et 2).

Domaines d'application

- Plages et dunes en érosion;
- dépôts éoliens stabilisés par la végétation;
- formes dunaires embryonnaires soumises à des conditions de houles normales.

Matériels utilisés

- Piquet en châtaignier (d = 10 ÷ 12 cm; h = 220 ÷ 240 cm);
- Rameaux en châtaignier (d = 3 ÷ 5 cm; l = 300 ÷ 350cm);
- Fil de fer;
- Clous et vis.

Modalité d'exécution

- Creusement d'une tranchée de profondeur et de largeur suffisantes pour l'enterrement de l'œuvre (environ 1 m de profondeur, 1,5 ÷ 2,0 m de largeur);
- Plantation des poteaux tuteurs et de ceux contrevent, à un intervalle de 1.5 m environ;
- Fixation avec des vis;
- Réalisation de la structure en osier à l'aide de tresses de rameau;
- Fixation et assemblage des éléments de tresse au moyen de clous et de fil de fer;
- Remplissage de la tranchée avec du sable.

Recommandations

Il s'agit d'une œuvre réalisée près du trait de côte. Elle est particulière soumise aux attaques des vagues de tempête qui l'atteignent facilement. Encore plus que pour d'autres œuvres réalisées le long de la côte, les éléments fondamentaux sont la qualité du bois et le soin du travail. Une attention particulière concerne l'enterrement de la barrière et son inclinaison. Si le taux de dépôt autour de la barrière est faible, alors des entretiens périodiques sont conseillés.

Limites d'application

Même si la barrière peut répondre de manière "élastique" à l'énergie de la houle, en raison de la porosité et des caractéristiques structurales, des conditions de houle particulièrement intenses peuvent gravement endommager l'œuvre, voire la détruire.

Avantages

Il s'agit d'une œuvre « flexible » et poreuse, réalisée avec des matériaux dégradables et très efficaces.

Inconvénients

La durée de l'œuvre est limitée dans le temps, surtout en cas d'évènements météo marins particulièrement critiques ou quand les mécanismes de dépôt à moyen terme (plus de 2 ans environ) ne dépassent pas les phénomènes érosifs.

Effet

L'œuvre peut avoir une action efficace d'amortissement des vagues et de brise-vent en favorisant le dépôt du sable; de plus, elle permet de retenir des fractions organiques de plage avec des effets positifs sur la végétation pionnière. De cette manière, l'œuvre possède un rôle articulé et extrêmement fonctionnel de protection et de consolidation du pied dunaire ou de la partie supérieure de la plage. Lors de conditions favorables et avant la détérioration définitive de la structure, on assiste à l'enterrement de la structure en 1 ou 2 ans, avec la formation d'un dépôt d'avant-dune rapidement stabilisé par la végétation psammophile.

Estimation des coûts

Le coût est de l'ordre de 50€/ml (pour une largeur de passage de 1 m environ) dont environ 40% de matériaux.

Aperçu

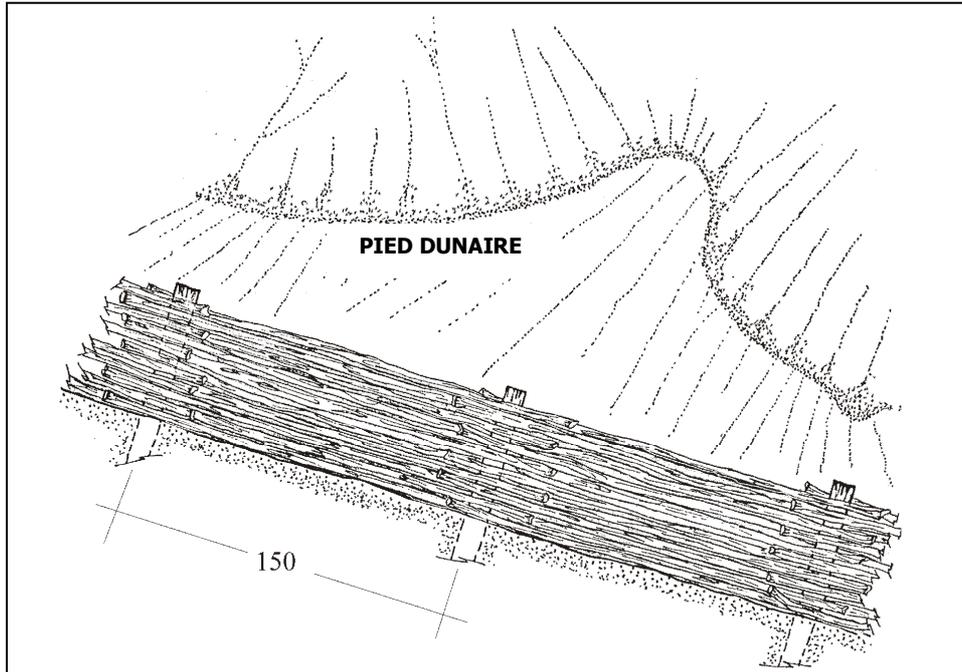


Figure 1 – Barrière basale en osier, aperçu.

Section

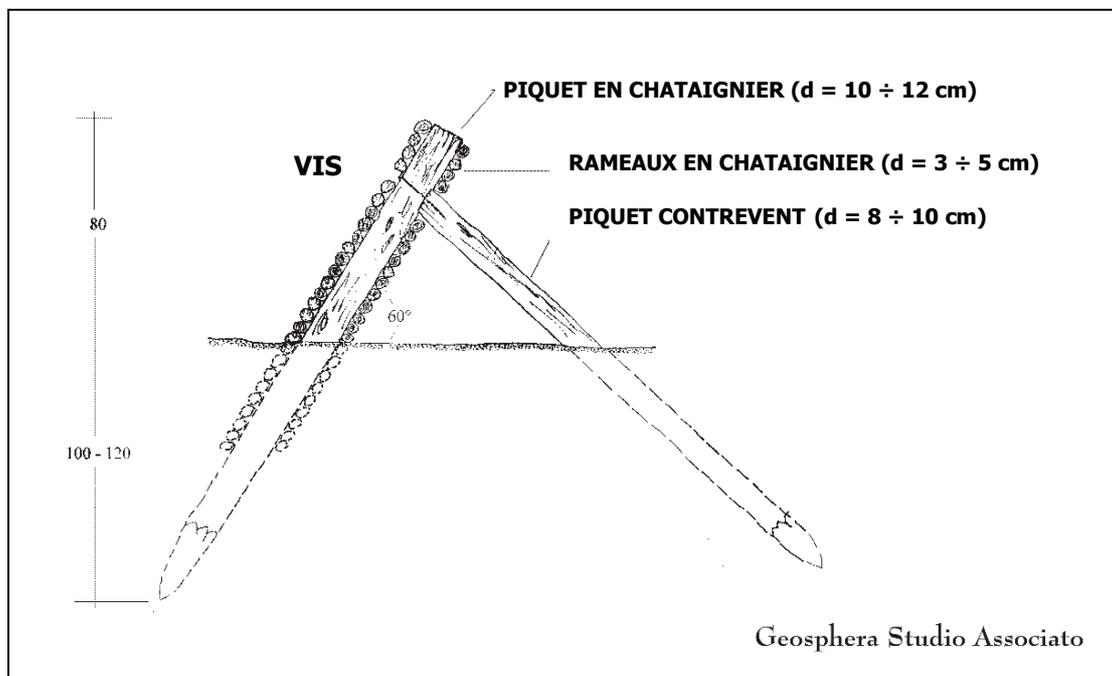


Figure 2 – Barrière basale en osier, section.

3.4.3. Gestion de la fréquentation en milieu dunaire

EID Méditerranée – P. Richard, H. Heurtefeux, hheurtefeux@eid-med.org

Description synthétique

La gestion de la fréquentation du public dans les espaces dunaires côtiers est indispensable; elle permet d'assurer leur protection durable et de pérenniser les actions de restauration du milieu. Le principe est de contrôler l'accès du public à la plage (matérialisation et encadrement d'accès pour les piétons, les handicapés et les véhicules autorisés), et d'empêcher le piétinement de la végétation dunaire (mise en défens).

Champs d'application

Sont concernés les littoraux constitués de dunes, soumis à la fréquentation par le public.

Suggestions

Les mesures de gestion de la fréquentation doivent être accompagnées d'une politique de sensibilisation du public, expliquant l'intérêt de la conservation des dunes et des ouvrages mis en place dans ce but. Des panneaux peuvent être implantés au niveau des accès piétonniers. Des escaliers ou des passerelles en bois peuvent être nécessaires en cas de dénivelé important.

Matériaux

- **Ganivelles;** ce sont des treillis fabriqués mécaniquement à partir de lattes de châtaignier (non sciées) régulièrement espacées et assemblées entre elles par des fils de fer;
- **Piquets d'ancrage** en châtaignier (différentes hauteurs existent);
- **Fil de fer** d'attache;
- **Platelages en bois** ou **tapis géotextiles** pour le passage des handicapés, des véhicules.

Modalités de mise en place

Les dunes sont matérialisées et clôturées par des ganivelles disposées à leur périphérie (mise en défens). Cette clôture est interrompue au niveau de chaque accès aménagé pour:

- les piétons (tapis géotextile ou platelage léger en bois sur le sable, deux lignes de ganivelles pour encadrer l'accès; fig. 1 et 2);

- les handicapés (tapis géotextile ou platelage léger en bois sur le sable, deux lignes de ganivelles pour encadrer l'accès);
- les véhicules autorisés (platelage en bois sur le sable, deux lignes de ganivelles pour encadrer l'accès, barrière de contrôle; fig. 3). Cf. fiche "accès handicapés".

Phasage de réalisation

Si nécessaire, équipements à mettre en place directement à l'issue des travaux de restauration ou de reconstitution dunaire.

Avantages

Permet de concilier les usages (accès du public à la mer) et le respect du fonctionnement naturel du milieu dunaire. Intégration paysagère, utilisation de matériaux naturels. Ouvrages s'adaptant au relief et réversibles.

Inconvénients

Matériaux dégradables, nécessitent une maintenance.

Impacts

Très faibles.

Evaluation des coûts

- Mise en défens: 20 € le mètre linéaire de ganivelles (fournitures et main d'œuvre);
- Accès piétonnier: 100 € le mètre linéaire (fournitures et main d'œuvre);
- Accès véhicules: entre 500 et 600 € le mètre linéaire (fournitures et main d'œuvre).

Photographies



Figure 1 – Exemple de mise en défens d'un cordon dunaire, avec une ligne de ganivelles.



Figure 2 – Exemple d'accès piétonnier encadré par des ganivelles.



Figure 3 – Exemple de platelage en bois pour le passage des véhicules.

3.4.4. Franchissement d'un cordon dunaire pour les personnes à mobilité réduite

EID Méditerranée – E. Sire, H. Heurtefeux, hheurtefeux@eid-med.org

Description synthétique

Le franchissement des dunes pour les personnes à mobilité réduite nécessite la mise en place d'ouvrages spécifiques, offrant un accès à la plage. Il s'agit de rampes dont les caractéristiques (pentes, aires de repos, garde-corps...) respectent les normes nationales ou européennes dans ce domaine, et qui permettent de s'affranchir des dénivelés dunaires.

Champ et limites d'application

L'ouvrage permettant le franchissement d'un cordon dunaire nécessite que l'altimétrie de la dune et le dénivelé entre le haut de plage et la crête du cordon ne soient pas trop importants. Cet aménagement n'est pas adapté à des sites à forte érosion et où la largeur de plage est insuffisante.

Suggestions

Dans le cadre d'une consolidation du cordon, cet accès transdunaire doit être réalisé sur pilotis. Il convient également d'ajouter un tapis synthétique permettant un accès jusqu'à la mer. De plus, à proximité, il faut réserver (si possible) des emplacements de parking spécifiques.

Matériaux

- **Pieux en pin** traité, à cœur, autoclave de classe 4 ou 5;
- Éléments de **platelage en de bois exotiques** (longévité et résistance de ces essences) respectant les normes nationales et européennes en vigueur, sans aubier;
- Visserie de qualité inox marine.

Modalités de mise en place

La réalisation de l'accès sur pilotis permet le positionnement des éléments de platelage à l'horizontale sur les versants du cordon. Ce système n'empêche pas les mouvements sableux éoliens.

Phasage

Mise en place de l'accès concomitante à la consolidation ou à la restauration du cordon dunaire.

Avantages

Intégration paysagère et utilisation de matériaux naturels (à la place de rampes en béton ou en métal).

Inconvénients

L'emprise d'un accès handicapé est relativement importante sur le cordon dunaire; le respect des pentes maximales (5%) induit par exemple un platelage de 10 m de long pour une différence altimétrique de 0.50 m.

Evaluation des coûts

Ce type d'accès est coûteux (environ 70 000 €: fournitures et pose), il est fonction des essences de bois exotiques choisies (Iroko, azobé, bankirai, etc.).

Plan

Schéma d'un accès transdunaire expérimental dont la réalisation se fera courant 2007 sur le Lido de Sète (Hérault, France).

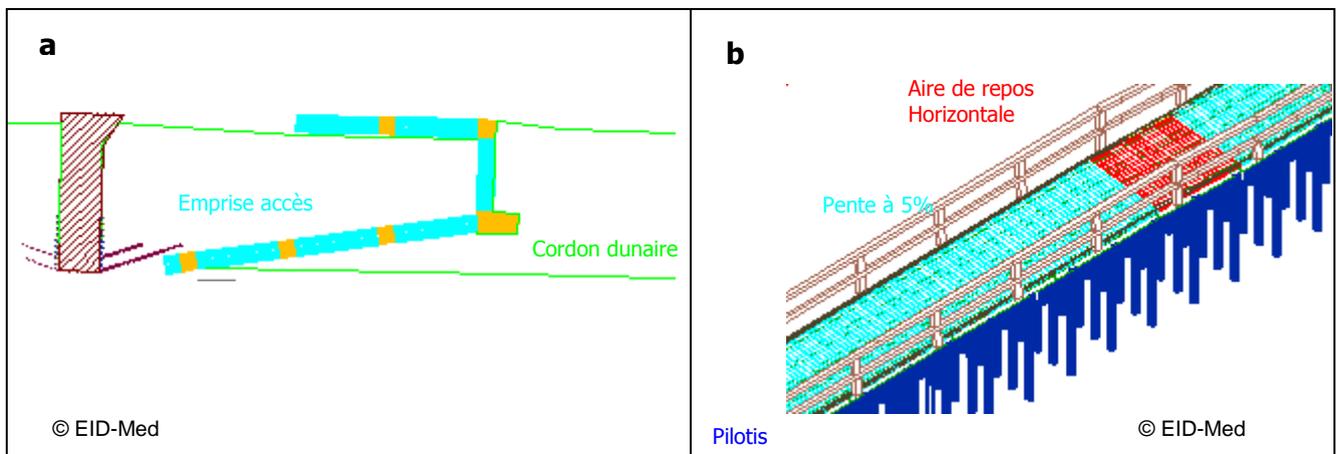


Figure 1 – a) Vue en plan d'un schéma de principe de rampe handicapés; b) Vue de détail en 3D.

4. BIBLIOGRAPHIE

- AA.VV. (2005) – *I depositi eolici delle coste italiane e il flusso di sedimenti spiaggia-duna*. Atti Congr. Cagliari – Arbus – Loc. Piscinas.
- AA.VV. (2007) – PHASE A - *Rapport technique étendu du Sous-projet POSIDUNE (Interaction des sables et Posidonia Oceanica avec l'environnement des dunes naturelles)*, 179 pp.
- BAGNOLD R.A. (1941) – *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*. Morrow, New York, (republished in 1954 by Methuen, London).
- BEAR J., CHENG A.H.D., SOREK S., OUAZAR D., HERRERA I. (1999) - *Seawater Intrusion in Coastal Aquifers – Concepts, Methods and Practices*. In: Theory and Application of Transport in Porous Media. Edited by J. Bear, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 625.
- BOUDOURESQUE C.F., BERNARD G., BONHOMME P., CHARBONNEL E., DIVIACCO G., MEINESZ A., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., RUITTON S., TUNESI L. (2006) – *Préservation et conservation des herbiers à Posidonia oceanica*. RAMOGE pub. 197 pp.
- BOUWER H., RICE R.C. (1976) – *A slug test method for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells*. Water Resources Research, vol. 12(3): 423-428.
- BRAUN-BLANQUET J. (1932) – *Plant sociology: the study of plant communities*. MacGraw-Hill, New-York, USA.
- CE (2007) – *Report to the European Parliament and the Council: An evaluation of Integrated Coastal Zone Management (ICZM) in Europe*. COM(2007) 308 final.
- CROPWAT (<http://www.fao.org/ag/AGL/AGLW/cropwat.stm>)
- CORRE J.J. (1971) – *Etude d'un massif dunaire le long du littoral méditerranéen: structure et dynamisme du milieu et de la végétation*. Colloques Phytosociologiques, I Dunes: 201-224, Paris.
- DAGET P., POISSONET J. (1971) – *Une méthode d'analyse phytologique des prairies. Critères d'application*. Annales agronomiques, 22 (1): 5-41.
- DIRECTIVE 92/43/CEE du Conseil du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages. Commission des Communautés Européennes, Direction Générale XI, Bruxelles.
- EU (2005) – *Climate Change and the European Water Dimension*. EU Report No. 21553.
- FIERS V. (2004) – *Guide Pratique. Principales méthodes d'inventaires et de suivi de la biodiversité*. Réserves naturelles de France.

- FOLK R.L., WARD W.C. (1957) – *Brazos River bar, a study of the significance of grain size parameters*. J. Sed. Petrol. 27, 3-27.
- GACIA E., GRANATA T.C., DUARTE C.M. (1999) – *An approach to measurement of particule flux and sediment retention within seagrass (Posidonia oceanica) meadows*. Aquat. Bot. 65: 255-258.
- GARNIER E., LAURENT G., BELLMAN A., DEBIAN S., BERTHELIER P., DUCOUT B., ROUMET C., NAVAS M.L. (2001) – *Consistency of species ranking based on functional traits*. In: New Phytologist, 152: 69-83.
- GIORGI J., THELIN I. (1983) – *Phénologie, biomasse et production primaire de Posidonia oceanica (feuilles et épiphytes) dans la baie de Port-Cros*. Mémoire Diplôme d'Etudes Approfondies en Ecologie méditerranéenne, Univ. Aix-Marseille III, Fr. : 1-16.
- HSU S.A. (1973) – *Computing Eolian Sand Transport from Shear Velocity Measurements*. In: Journal of Geology, Vol 81: 739-743.
- HSU S.A. (1986) – *Correction of Land-Based Wind Data for Offshore Applications: A Further Evaluation*. In: Journal of Physical Oceanography, Vol. 16: 390-394.
- JACOB C.E. (1950) – *Flow of groundwater*. In: Engineering Hydraulics. Ed. Rouse H. New York, John Wiley, pp. 321-386.
- KENT M., COKER P. (1996) – *Vegetation description and analysis*. J.Wiley & Sons, New York, 363 pp.
- LUCARINI M., DEL GIZZO M., IADANZA C., CERRI C., BERTI D., LIGATO D., BRUSITA E., VITTORI E., PASANISI F., FERRUZZA G., CONTI M., CAPPUCCI S., CORSINI S. (2007) – *Atlante delle opere di sistemazione costiera*. APAT – Manuali e linee guida 44/2007, 169 pp.
- MAREVIVO/BOVINA G. (2001) – *Programma Nazionale di individuazione e valorizzazione della Posidonia oceanica*. Convenzione Marevivo/Ministero dell'Ambiente 1998. Relazione Illustrativa V semestre (Rapporto inedito).
- MAREVIVO/BOVINA G. (2002) – *Programma di indagine sulle banquettes di Posidonia oceanica come indicatore dello stato di conservazione delle praterie*. Convenzione Associazione Ambientalista Marevivo/Ministero dell'Ambiente 2001. Relazione illustrativa finale e tavole allegate (Rapporto inedito).
- MAZZELLA L., OTT J.A. (1984) – *Seasonal changes in some features of Posidonia oceanica (L.) Delile leaves and epiphytes at different depths*. In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edits. International Workshop on Posidonia oceanica beds, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 119-127.
- MOULIS D., BARBEL P. (1999) – *Restauration des dunes. Réhabilitation et gestion des dunes littorales Méditerranéennes Françaises*. Collection: Manuels et méthodes, Brgm, pp. 75-91.
- MUDFLOW (<http://water.usgs.gov/nrp/gwsoftware/modflow2000/modflow2000.html>)

- NAVAS M.L., DUCOUT B., ROUMET C., RICARTE J., GARNIER J., GARNIER E. (2003) – *Leaf life span, dynamics and construction cost of species from Mediterranean old-fields differing in successional status*. *New Phytologist*, 159: 213-228.
- O'BRIEN M.P., RINDLAUB B.D. (1936) – *The Transport of Sand by Wind*. *Civil Engineering*, Vol. 6: 325-327
- OTT J., MAURER L. (1977) – *Strategies of energy transfer from marine Macrophytes to consumer levels: the Posidonia oceanica example*. In: Keegan B.F., O'Ceidigh P., Boaden P.J.S. edits. *Biology of benthic organisms*. UK: 493-502.
- PASKOFF R. (1998) – *Les littoraux. Impact des aménagements sur leur évolution*. Armand Colin, 260 pp.
- POPULUS J., LAURENTIN A., ROLLET C., VASQUEZ M., GUILLEMEONT B., ONNOT-COURTOIS C. (2003) – *Surveying coastal zone topography with airborne remote sensing for benthos mapping*, Earsel's SIG Remote Sensing of the Coastal Zone. Workshop, Ghent.
- ROSEN P.S. (1978) – *An efficient, low-cost eolian sampling system*. In: *Scientific and Technical Notes, Current Research, Part A, Paper, 78-1A*, Geological Survey of Canada, 531-532.
- SEAWAT (<http://water.usgs.gov/ogw/seawat/>)
- SHRESTHA R.L., CARTER W.E, SARTORI M, LUZUMA B.J., SLATTON K.C. (2005) – *Airborne Laser Swath Mapping: Quantifying changes in sandy beaches over time scales of weeks to years*. *SPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 59: 222–232.
- STUYFZAND P.J. (1989) – *Hydrochemical evidence of fresh- and salt-water intrusions in the Coastal Dunes Aquifer System of the western Netherland*. In: De Breuck, W.; Walschot, L. (Ed.) (1989). *Proceedings of the 10th Salt-Water Intrusion Meeting Ghent (Belgium), 16-20 May 1988*. *Natuurwet. Tijdschr.*, 70(1-4): 9-29.
- VALPRED A. (2006) – *La banca dati geografica delle dune costiere in Italia: uno strumento per valutare l'interazione tra questa morfologie costiere, l'evoluzione dei litorali ed il loro utilizzo*. In: *Studi Costieri* 11: 3-16.
- WESTOFF V., VAN DER MAAREL E. (1973) – *The Braun-Blanquet approach*. In: Whittaker R.H. (ed.), *Ordination and classification of communities, Handbook of Vegetation Science*, V. W. Junk, The Hague, pp. 619-726.
- WHITTAKER R.H. (1973) – *Direct gradient analysis: techniques*. In: Whittaker R.H. (ed.), *Ordination and classification of communities, Handbook of Vegetation Science*, V. W. Junk, The Hague, pp. 9-31.
- WINSEV (<http://www.wgeosoft.ch/Software/default2.html>)
- ZINGG A.W. (1953) – *Wind Tunnel Studies of the Movement of Sedimentary Material*. In: *Proceedings, 5th Hydraulic Conference, State University of Iowa, Studies in Engineering, Bulletin*. Vol. 34: 111-135.

ANNEXES

ANNEXE I - Procédure pour le transfert et l'utilisation de posidonies pour la constitution de dunes côtières

PROVINCE DE PISA - G. Bracci, L. Pioli - g.bracci@provincia.pisa.it

Selon la Circulaire n. 08123du Ministère de l'Environnement et de la Protection du Territoire, « *les localités intéressées par cette solution (par le déplacement et ses modalités) devront faire l'objet de mesures appropriées, qui doivent être adoptées par des Organismes du Parc ou de la Région compétente, c'est-à-dire par les Communes intéressées* ».

En référence à la normative en vigueur, et de manière expérimentale, la Province de Pise a élaboré une « **Procédure pour le transfert et l'utilisation de posidonies pour la constitution de dunes côtières** ». Cette procédure sera appliquée et développée de façon opérative à l'intérieur du projet pilote de récupération et reconstruction des systèmes de dunes dans la localité Gombo, commune de Pise.

Cette procédure est reportée ci-dessous à titre d'exemple:

L'emploi de biomasses végétales échouées d'origine marine pour consolider les dunes, la récupération de la fertilité et la valorisation de débris, traités jusqu'à présent comme déchets, est de plus en plus objet d'études et d'expérimentations spécifiques avec des résultats désormais consolidés.

Déjà de façon naturelle les feuilles échouées forment des structures qui d'un côté contribuent à retenir le sable, et par conséquent à éviter l'érosion du littoral, et d'un autre côté constituent un micro habitat pour les espèces végétales, car leur décomposition apporte les substances suffisantes pour permettre l'amorce de la colonisation de la part d'espèces herbeuses.

L'enlèvement systématique des amas de feuilles entrepris pour rendre les plages accueillantes durant la saison estivale a donc contribué et contribue à aggraver de façon significative l'érosion des plages. Etant donné qu'il est impensable d'empêcher l'utilisation des littoraux, autrement que pour des portions limitées ayant une grande valeur environnementale, l'hypothèse de travail est celle d'employer les matériaux végétaux échoués pour la reconstruction ou la protection des cordons de dunes, en ayant soin d'armer les portions plus exposées à l'érosion avec des fibres végétales (troncs broyés et posidonies) de façon à faciliter l'action de dépôt et maintien du sable et favoriser la prise de la végétation naturelle.

Avant d'affronter les problèmes opératifs liés à la recherche et à l'utilisation des matériaux végétaux échoués il est nécessaire de mettre au point le cours administratif qui permettra d'approuver le "processus opératif", dont l'ordonnancement constituera une partie essentielle du projet des ouvrages de défense auxquels le matériau est destiné, s'ajoutant aux études prévues par les normes relatives aux travaux publics:

Niveau sommaire:

Ce premier niveau de projet n'est pas fondamental aux fins du processus d'autorisation relatif à l'usage des matériaux échoués, il est toutefois utile comme définition générale des problèmes que l'on devra affronter, bien que sa validité soit purement interne au processus.

Au niveau de l'avant projet sommaire on devra nécessairement localiser les terrains de prélèvement du matériau échoué et ceux auxquels il est destiné (terrain de réalisation des travaux). Ceci afin de déterminer si il s'agit de réutilisation du matériau à l'intérieur du même chantier ou bien de l'application d'un processus opératif qui prévoit son transfert depuis le terrain de déposition naturelle à celui de son utilisation.

Dans le premier cas le matériau n'aura jamais la nature de "déchet". Toutefois il restera encore à définir, durant les phases successives du projet, le processus de ramassage et stockage temporaire. Le stockage temporaire pourra toutefois être évité au cas où les amas végétaux saisonniers du littoral seraient à même de permettre la disponibilité immédiate des quantités nécessaires pour les travaux en cours.

Dans le deuxième cas le processus de gestion du matériau échoué, développé dans les stades successifs du projet, sera un élément important pour déterminer l'inapplicabilité des normes en matière de déchets.

Cette définition générale sera de toute façon indispensable pour identifier l'activité de transfert des matériaux (en termes de nombre de transports journaliers, itinéraires possibles et périodes auxquelles ils ont lieu). Ce facteur fait en effet partie de la "supervision" des problèmes environnementaux liés au projet (bruit, pollution, ralentissement de la circulation), à exercer déjà durant la phase de définition préliminaire des travaux. Ceci implique la nécessité d'une définition de principe des quantités de matériau à mouvementer.

Reste à affronter le problème des stockages, étant donné que, même en cas de disponibilité immédiate sur le lieu de déposition des quantités de matériau végétal nécessaire à la réalisation des travaux prévus, pour pouvoir passer au chargement et transport par camion il est indispensable de stocker le matériel pour permettre l'élimination naturelle de l'excès d'eau.

Niveau détaillé:

Le projet détaillé devra contenir le "plan de ramassage et réutilisation" des matériaux végétaux échoués utiles pour la réalisation des ouvrages de défense. Ce document de projet sera soumis à l'approbation de la conférence des services convoquée pour l'acquisition des indications et autorisations exprimées au sujet du projet dans son ensemble ou bien, dans les cas particuliers, il pourra être l'objet d'une conférence expresse.

Les Administrations à impliquer seront, pour l'Italie, les Mairies (comme ayant la gestion du domaine maritime), les ARPA et les Province (pour les aspects environnementaux inhérents la gestion du matériau) les Parcs au cas d'intervention sur des terrains faisant partie de leur périmètre.

Niveau de réalisation:

C'est un niveau d'approfondissement majeur du cours du "plan". Au cours de cette phase le processus approuvé au niveau détaillé ne pourra pas être varié mais on précisera ultérieurement les modalités de gestion du matériau, éventuellement en amplifiant les enquêtes cognitives sur les matériaux, sur les sites de stockage et les destinations. Il constitue une phase de transition du projet, entre la programmation et la réalisation du "plan" qui toutefois n'aura plus besoin de passages autorisateurs.

Dans les paragraphes successifs on a tenté de définir les contenus minimum du « **Plan de récolte et réutilisation** » des matériaux végétaux échoués, en individuant les sujets à analyser et les processus de détail:

- définir la typologie des matériaux végétaux nécessaires au travaux en projet (matériaux ligneux ou posidonies);
- définir les quantités de matériel végétal nécessaire à la réalisation des travaux. En fonction de cette valeur on pourra localiser et déterminer les dimensions des terrains de stockage et faire le programme des opérations relatives:
 - o au cas où les quantités de matériel déjà échoué soient suffisantes pour les exigences on pourra choisir un terrain limitrophe à celui de dépôt naturel sur lequel en accumuler la totalité. Ceci afin de permettre le séchage naturel du matériau, avant le transport, et le soustraire définitivement à l'action des flux qui pourrait l'éloigner ou le disperser;
 - o au cas où il serait nécessaire de prévoir un programme d'approvisionnements répétés, à cause de la non disponibilité immédiate de quantités suffisantes, celui ci

devra se baser sur l'observation faite au préalable de la dynamique de dépôt du matériau. Les terrains limitrophes de stockage auront les dimensions et seront aménagés pour recevoir les quantités finales, dans les cas où il sera possible d'y stocker le matériel jusqu'au moment de l'utilisation définitive, ou bien les dimensions pour un seul approvisionnement, dans l'hypothèse de transfert du matériau à l'aire de destination après séchage.

- dans les cas où les plages objets de prélèvement du matériau sont utilisées pour la baignade, il est recommandable d'y prévoir des terrains de stockage limités et temporaires et transporter rapidement le matériau vers le terrain où il sera utilisé, en y prévoyant éventuellement le stockage définitif (si l'utilisation n'est pas immédiate).

Les terrains de stockage et d'utilisation pour les matériaux dont on parle, destinés aux ouvrages de défense de la côte ou des dunes, seront localisés à l'intérieur de la bande côtière appartenant au domaine maritime.

- le prélèvement du matériau végétal échoué adviendra selon les étapes suivantes:
 - localisation et délimitation du terrain sur lequel effectuer le prélèvement du matériau;
 - séparation manuelle des déchets solides qui peuvent être présents sur la plage;
 - ramassage de ces déchets et transport à la décharge selon les normes prévues;
 - prédisposition du matériau en tas, voire en utilisant des moyens mécaniques, en ayant soin de limiter au minimum indispensable le prélèvement du sable (ce problème est particulièrement important au cours du prélèvement des posidonies);
 - transport au terrain de stockage limitrophe pour le séchage;
 - (pour les posidonies) l'échantillonnage du matériau végétal devra être effectué au terme de la phase de prélèvement de tout le matériel estimé nécessaire. Des limites de volume ultérieures pourront être objet d'accord avec les ARPA au cours de l'autorisation du processus. Par analogie avec la caractérisation des matériaux terreux on suggère d'effectuer l'échantillonnage au moins tout les 2000 m³ de matériau;
 - les échantillons extraits seront soumis à analyses déterminées avec les compétents Bureaux Régionaux (ARPA).

- dans les cas où, sur la base des analyses déterminées, la réutilisation du matériel stocké pour les travaux en projet ne soit pas admise, le dit matériel devra être écoulé, après accord avec les mairies, selon les normes;
- les quantités de matériel stocké devront être annotées dans un registre spécial prédisposé par l'Administration réalisatrice des travaux. Les transports de matériel au terrain d'utilisation, immédiate ou successive, devront être accompagnés de bulletins de transport émis par l'Administration même, qui contextuellement déchargera les quantités transportées du registre des stocks existants sur le terrain de stockage. Les registres et l'ensemble des bulletins devront être conservés par l'Administration réalisatrice, jusqu'à la réception définitive des travaux, et mis à disposition des ARPA, ASL et Mairies compétents pour leurs contrôles éventuels.

Le processus illustré donne des garanties sur la destination et sur l'usage correct du matériau une fois celui-ci éloigné de son lieu d'origine (objectif que se posent les normes sur les déchets). La garantie est donnée par le fait que la récolte et l'utilisation du matériel fait partie d'un contexte de projet sujet à autorisations préalables.

Le dit processus sera appliqué et développé de façon opérationnelle à l'intérieur du projet pilote de récupération et reconstruction des systèmes de dunes dans la localité Gombo, commune de Pise.

ANNEXE II – Base de données du Sous-projet POSIDuNE¹.

REGION LAZIO

LOCAL PARTNER	SITES PILOTES	DONNEES
1. ICRAM	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Littoral de Marina di Tarquinia et Montalto Marina ▪ Littoral des lacs côtiers de Fogliano et Monaci 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Distribution des herbiers à <i>P. oceanica</i> le long du Lazio (UTM WGS84, fuseau d'appartenance) ▪ Aires Protégées du Lazio (UTM WGS84) ▪ Utilisation du Sol de la zone côtière du Latium (par exemple: Urbanisation, Barrages fluviaux, Bouches fluviaux, Carrières, Unités physiographiques, Evolution de la côte, Sites de mesure du transport solide, Interventions, Géologie, Trix, Lien Idrogéologique, Eaux balnéaires) ▪ Coordonnée des points d'échantillonnage des phanérogames marines de plage du Latium (UTM WGS84, fuseau d'appartenance) ▪ Zones protégées du Latium (UTM WGS84, fuseau d'appartenance) ▪ Analyses chimiques des échantillons de <i>Posidonia oceanica</i> et d'autres phanérogames marines. ▪ Caractérisation des dunes côtières des sites pilotes (UTM WGS84 fuseau d'appartenance)

REGION TOSCANA

2. PROVINCE DE PISA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ S. Rossore, Loc. Gombo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Carte Géologique historique (raster) ▪ Carte Géologique, Géomorphologique, Carte des Zones Protégées et Utilisation du sol (vectoriel) ▪ Lien du paysage et Idrogéologique (vectoriel) ▪ Carte de la végétation du Parc de "Migliarino-San Rossore" (raster) ▪ Ortophotocarte des voles aériens disponibles sur la zone côtière: années 1938, 1944, 1954, 1965, 1975, 1982, 1984, 1986, 1987, 1990, 1991, 1994, 1995, 1996, 1997, 2000, 2002, 2004, vol aérien dédié 2004 (images géoréférencées) ▪ Campagne de relèvement de la ligne de rivage et des dunes (année 2006-2007, une fois sur deux mois ou après événements significatives) ▪ Etude sur l'évolution de la ligne de rivage avec la comparaison des images aériens. ▪ Carte des systèmes des dunes littoraux et intérieurs avec l'évaluation de l'état de conservation. ▪ Etude sédimentologique de la plage émergée et du fond en face du Parc de San Rossore jusqu'à la ligne bathymétrique de -10 m.
---------------------	--	--

¹ Données existantes et ajournées relatives aux caractéristiques physiques (topographiques, morphologiques, sédimentologiques), biotique (végétation) et concernant l'anthropisation des sites pilotes sous format papier et digital sous environnement GIS (UTM WGS84, fuseau d'appartenance). Données hydrogéologiques, météorologiques, pédologiques et du transport sédimentaire éolien mesuré *in situ* sous un format digital facilement exportable et si possible compatible avec les indications du projet EUROSION.

REGION EMILIA ROMAGNA

<p>3. UNIVERSITE' DE FERARRA</p> <p>4. UNIVERSITE' DE BOLOGNA</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Po di Goro ▪ Lido delle Nazioni ▪ Bevano ▪ Marina Romea 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Base de données (vectoriels et raster) sous environnement GIS-ArcView9.1 (WGS84 UTM, fuseau d'appartenance et Gauss-Boaga (M.te Mario 40) ▪ PRG, PTCP, utilisation du sol, Ramsar, SIC/ZPS, Parc du « Delta del Po », RER, etc. ▪ Levés Lidar 2003 et 2006, levés topographiques DGPS et au tachéomètre (2003 - 2007) ▪ Localisation et données relatives au monitoring des piézomètres 2006- 2007 ▪ Localisation et données relatives aux relevés géoélectriques. ▪ Distribution des sédiments de la plage de Foce Bevano (2007) ▪ Evolution de la ligne de rivage e caractéristiques du territoire (1954 – 2007; Intégration avec données QuickBird 2003 et 2005) ▪ Evolution des fonds marines (jusqu'à la ligne bathymétrique de - 80 m) de 1968 à 2004 (élaborations in 2-3D) ▪ Série historique des données climatiques ▪ Modèles numériques des conditions météo-marines (élaborations avec Mike21, etc.) ▪ Description de la végétation dunaire da la côte de la ragion Emilia-Romagna (données géoréférencées). ▪ Deux monitorages de la végétalisation du site Foce Bevano (octobre 2006) par implantation de <i>Agropyron junceum</i> et <i>Ammophila littoralis</i>.
---	--	---

REGION HERAULT

<p>5. EID MEDITERRANEE</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Villeneuve les Maguelone ▪ Grande Maire 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Levés topographiques et bathymétriques du lido de Villeneuve-lès-Maguelone en 2003 ▪ Cartographie des aménagements du site pilote. ▪ Cartographie des groupements végétaux du lido de Villeneuve-lès-Maguelone.
----------------------------	--	---

REGION CRETE

<p>6. FORTH/IACM</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zone côtière de Episkopi - baie de Georgioupolis 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Distribution des phanérogames marines – Baie de Georgioupolis (1999; HCMR, UTM WGS84) ▪ Zone côtière de Georgioupolis - Nature 2000 (site GR4340010): données relatives aux caractéristiques générales (par exemple: habitat, qualité de l'environnement, vulnérabilité) ▪ Carte de la zone côtière de Georgioupolis à Episkopi, Crete. (HMGS; No 95104; UTM WGS84) ▪ Photographies sous-marines des herbiers de phanérogames et des débris (Zone côtière de Georgioupolis Georgioupolis – Episkopi (2007, HCMR). ▪ Carte de la localisation des lieux des plongées sous-marines.
----------------------	--	---

ANNEXE III – Base de données de brevets.

USA

	TITRE	INVENTEUR	DATE DE PUBLICATION	NOMBRE DE PUBLICATION	ASSIGNEE/A PPLICANT	CLASSIFICATION INTERNATIONALE	NOMBRE DE APPLICATION
1	Vortex generating sand and snow fence	Kirby, J. H. (US)	November 9, 2006	US 2006/0249720 A1	University of South Florida (US)	E04H 17/16	11/381,830
2	Vortex generating sand and snow fence	Kirby, J. H. (US)	December 14, 2006	WO 2006/132743 A2	University of South Florida (US)	E04H 17/16	PCT/US2006/017436
3	Erosion control device & matrix	Jensen, J.S. (US); Jensen, J.E. (US)	May 4, 2006	US 2006/0093434 A1		E02B 3/12	10/980,667
4	Sand dune bridges and methods of protecting sand dunes	Goodman, H.J. (US) Tierney, M.L. (US)	August 4, 2005	US 2005/0169708 A1		E02B 3/04; E02D 17/20	11/047,759
5	Beach restoration and regeneration systems, methods and compositions	Winters, W.H. (US) Ghormley, S.M. (US) Oldigs, R.D. (US)	March 25, 2004	US 2004/0057800 A1	Novus Systems Inc. (USA)	E02B 3/04; E02D 17/20	10/674,035
6	Beach restoration and regeneration systems, methods and compositions	Winters, W.H. (US) Ghormley, S.M. (US) Oldigs, R.D. (US)	February 21, 2002	US 2002/0021944 A1		E02D 17/20	09/875,404

	TITRE	INVENTEUR	DATE DE PUBLICATION	NOMBRE DE PUBLICATION	ASSIGNEE/A PPLICANT	CLASSIFICATION INTERNATIONALE	NOMBRE DE APPLICATION
7	Shoreline erosion barrier	Cravens, J. (US)	April 18, 2006	US 7,029,200 B1	Granger Plastics Company (US)	E02B 3/04	10/997,730
8	Porous tubular device and method for controlling windblown particle stabilization deposition and retention	Tabler, R.D. (US)	January 17, 2006	US 6,986,624 B1		E01F 7/00	10/882,123
9	Beach restoration and regeneration systems, methods and compositions	Winters, W.H. (US) Ghormley, S.M. (US) Oldigs, R.D. (US)	October 18, 2005	US 6,955,505 B2	Novus Systems Inc. (US)	E02B 3/04; E02D 17/20; E01F 7/00	10/674,035
10	Permanent and semi-permanent groyne structures and method for shoreline and land mass reclamation	Benedict, C.E. (US)	August 23, 2005	US 6,932,539 B2	Benedict Engineering Co., Inc. (US)	E02B 3/08	10/759,075
11	Compost Berm	Engwer, J. (US)	July 26, 2005	US 6,921,484 B2		C02F 3/32; E02D 5/00	10/891,538

	TITRE	INVENTEUR	DATE DE PUBLICATION	NOMBRE DE PUBLICATION	ASSIGNEE/A PPLICANT	CLASSIFICATION INTERNATIONALE	NOMBRE DE APPLICATION
12	Adjustable porous structures and method for shoreline and land mass reclamation	Benedict, C.E. (US) Dobbs, J.R. (US) Yates, C.A. (US) Ponder, P.L. (US)	April 20, 2004	US 6,722,817 B2	Beach Reclamation Inc. (US)	E02B 3/04	10/295,898
13	Reach restoration and regeneration systems, methods and compositions	Winters, W.H. (US) Ghormley, S.M. (US) Oldigs, R.D. (US)	September 30, 2003	US 6,626,611 B2	Novus Systems Inc. (US)	E02B 3/04; E02D 17/20; E01F 7/00	09/875,404
14	Apparatus to control beach erosion	Parker, J.W. (US)	August 18, 1998	US 5,795,099		E02B 3/06	631,375
15	Silt fence	Shea, B.M. (US)	June 2, 1998	US 5,758,868	Siltco Industries Inc. (US)	E01F 7/02	796,281
16	Shoreline erosion-reversing system and method	Brown, G.B. (US)	June 10, 1997	US 5,636,939		E02B 3/06	467,027
17	Method and apparatus to control beach and sand dune erosion	Essay, Jr., A.J. (US)	April 22, 1997	US 5,622,449		E02B 3/12	554,471

	TITRE	INVENTEUR	DATE DE PUBLICATION	NOMBRE DE PUBLICATION	ASSIGNEE/A PPLICANT	CLASSIFICATION INTERNATIONALE	NOMBRE DE APPLICATION
18	Sand dune and shore-line erosion prevention system	Olsen, G.C. (US) West, C.A. (US)	April 23, 1996	US 5,509,755		E02B 3/12; E02B 3/06	173,604
19	Drift fence	Nash, M. W. (US)	July 21, 1992	US 5,131,630		E01F 7/02	761,302
20	Bionic dunes	Ianell, A.W. (US)	April 14, 1992	US 5,104,258		E02B 3/12	718,985
21	Subsurface dune protection system and method	Sample, J.W. (US)	October 30, 1990	US 4,966,491		E02B 3/04	388,084
22	Subsurface dune restoration system and method	Sample, J.W. (US)	April 24, 1990	US 4,919,567		E02B 3/12	359,795
23	Backshore sill beach and dune erosion control system	Sample, J.W. (US)	March 8, 1988	US 4,729,691		E02B 3/06	926,663
24	Method and apparatus for building up beaches and protecting shorelines	Laier, J.E. (US)	December 1, 1987	US 4,710,057		E04H 17/16	915,186
25	Protection of beaches and sand dunes against erosion	Auerbach, M.H. (US) Borden, G.W. (US)	July 22, 1992	EP 0 267 034 B1	PFIZER INC. (US)	C09K 17/00	87309794.3

	TITRE	INVENTEUR	DATE DE PUBLICATION	NOMBRE DE PUBLICATION	ASSIGNEE/A PPLICANT	CLASSIFICATION INTERNATIONALE	NOMBRE DE APPLICATION
26	Method and means for beach restoration	Mansen, D.J. (US)	February 22, 1979	WO 79/00084	Mansen, D.J. (US)	E02B 3/04	PCT/US78/00060
27	Sand dune and shore-line erosion prevention system	Olsen, G.C. (US) West, C.A. (US)	September 4, 1997	WO 97/32086	Olsen, G.C. (US); West, C.A. (US)	E02B 3/12; E02B 3/06	PCT/US96/02706
28	Sand trap for erosion control	Fernandez, J.L. (US)	May 10, 2002	WO 02/36890 A1	Fernandez, J.L. (US)	E02B 3/12	PCT/US00/30460

ARABIE SAUDITE

	TITRE	INVENTEUR	DATE DE PUBLICATION	NOMBRE DE PUBLICATION	ASSIGNEE/A PPLICANT	CLASSIFICATION INTERNATIONALE	NOMBRE DE APPLICATION
29	Dynamic sand drift barrier	Alghamdi, A.A. (SA)	May 10, 2005	US 6,890,367 B2	Saudi Arabian Oil Company (SA)	B01D 33/00	10/622,326
30	Dynamic sand drift barrier	Alghamdi, A.A. (SA)	February 3, 2005	WO 2005/010280	Alghamdi, A.A. (SA), Saudi Arabian Oil Company (SA), Aramco Services Company (US)	B01D 33/00	PCT/US2004/023121

FRANCE

	TITRE	INVENTEUR	DATE DE PUBLICATION	NOMBRE DE PUBLICATION	ASSIGNEE/A PPLICANT	CLASSIFICATION INTERNATIONALE	NOMBRE DE APPLICATION
31	Self-orientable barrier fence	Taillandier, J.M. (FR)	October 29, 1985	US 4,549,724		E01F 7/02	385,386
32	Process for fixing sandy terrains	Auriat, E. (FR)	June 26, 1979	US 4,158,932	Rhone-Poulenc-Textile (FR)	A01G7/00; D01D 5/12	843,284

ROYAUME-UNI

	TITRE	INVENTEUR	DATE DE PUBLICATION	NOMBRE DE PUBLICATION	ASSIGNEE/A PPLICANT	CLASSIFICATION INTERNATIONALE	NOMBRE DE APPLICATION
33	Erosion protection mat	Czerwinsky, P. (GE) Holst, D. (GE) Gossling, E.G. (GE)	August 28, 1975	UK 1 403 944		E02B 3/12; B32B 5/26	23369/73

JAPON

	TITRE	INVENTEUR	DATE DE PUBLICATION	NOMBRE DE PUBLICATION	ASSIGNEE/A PPLICANT	CLASSIFICATION INTERNATIONALE	NOMBRE DE APPLICATION
34	Biodegradable seedling pot for greening sandy area and method for greening sandy area	Aeba, T. (JP)	August 26, 2003	JP2003235365	Aeba, T. (JP)	A01G1/00; A01G9/02; A01G9/10	JP2002004017 6 20020218
35	Windbreak and sandproof fence	Inoue, T. (JP);	January 25, 2000	JP2000027122	Ikedaya, S.K. (JP)	E01F7/02; A01G7/00; A01G13/00; E01F7/00	JP 19980194882 19980710

ESPAGNE

	TITRE	INVENTEUR	DATE DE PUBLICATION	NOMBRE DE PUBLICATION	ASSIGNEE/APPLICANT	CLASSIFICATION INTERNATIONALE	NOMBRE DE APPLICATION
36	Beach or dune sand erosion prevention method	Kumpf, E. (ES)	April 22, 1999	DE19846891	Kumpf, E. (ES)	E02B3/04	DE 199810468910 19981013

ALLEMAGNE

	TITRE	INVENTEUR	DATE DE PUBLICATION	NOMBRE DE PUBLICATION	ASSIGNEE/APPLICANT	CLASSIFICATION INTERNATIONALE	NOMBRE DE APPLICATION
37	Method of stabilizing the soil at banks and dikes of watersources, coasts and dunes	Schulz, H. (DE); Pietsch, M. (DE)	August 6, 1987	DE3602913	Schulz, H. (DE); Pietsch, M. (DE)	E02B3/12; E02D3/08;	DE 19863602913 19860131
38	Passageway to beach for disabled persons-consists of wood floor panels fitted between parallel balustrades and linked together by rest or turn platforms	Lehmann, G.P. (DE)	December 2, 1993	DE4217255	Lehmann, G.P. (DE)	E01C5/00; E01C9/08; E01C15/00; E01C9/00	DE 19924217255 19920525

EX - URSS

	TITRE	INVENTEUR	DATE DE PUBLICATION	NOMBRE DE PUBLICATION	ASSIGNEE/APPLICANT	CLASSIFICATION INTERNATIONALE	NOMBRE DE APPLICATION
39	Method of reinforcing sand dunes	Khoruzhij, E.F. (SU) Stupakova, L.F. (SU) Syapich, O.A. (SU)	June 7, 1992	SU1738916	SRED AZ GV DOROZHNOGO NII (SU)	C09K17/00; E02D3/12; E02D3/00	SU19894756551