



TECHNIQUE DE RÉHABILITATION DES PLAGES ET DES DUNES DU LITTORAL NORD-MÉDITERRANÉEN À L'AIDE D'OUVRAGES À " EFFET BRISE-VENT "

P. BARBEL et D. MOULIS

Centre d'Étude, d'Expérimentation et de Réalisation, pour la Protection et la Réhabilitation du Littoral
CEPREL - Montpellier

Abstract

Sandy shores of the northwest Mediterranean Sea are subject to some particular dynamic conditions. While marine erosion processes are not active, these conditions determine an evolution pattern dominated by the alternate interfacial sediment exchange between the immersed and the emergent parts of the littoral system. Resulting from the opposite action of land winds and storm waves, this exchange assures the dynamic equilibrium of the coast. Once disturbed, it may cause an irreversible regressive process in the dune ridge.

The technique of land works trapping wind-blown sand is used to slow down the perturbations in the sediment exchange and to reverse the recession trend by reestablishing duneward ascending beach profiles. The resulted upper beach accretion is favourable to sand supply of the dune by sea winds.

Conceiving and positioning of these works provide an implement by which the sea and the wind take part in the regeneration of the coastal environment.

1 - LE CONTEXTE MORPHODYNAMIQUE

En milieu nord-méditerranéen, les processus morphodynamiques des systèmes littoraux sableux constitués de sédiments à granulométrie fine sont spécifiques et résultent :

- de l'action des vents de terre largement dominants, pouvant souffler très fort en toute saison,
- des tempêtes de sud très fortes mais rares (tous les 2 à 3 ans en moyenne), responsables d'importantes élévations du niveau marin à la côte et de la submersion des plages,
- des marées d'origine gravitationnelle au marnage très faible (inférieur à 30 cm).

Dans ce contexte, et en l'absence de perte significative de sédiments par érosion marine, leur équilibre (dynamique) dépend essentiellement des transferts de sable entre les parties émergées et immergées. Le volume de sédiments concerné par ces transferts constitue le "stock sédimentaire mobilisable". Le déplacement de ce stock résulte de l'action des vents et de la mer. L'évolution morphodynamique d'un système littoral au cours d'un cycle, avec retour à l'état initial, dépend de l'importance relative des flux de matière et de leur direction, lors des régimes de forts vents de terre ou de mer.

Les vents de terre (Mistral, Tramontane) ont une forte fréquence en toute saison. Leur action érosive sur les plages émergées se traduit par un déplacement progressif de très importants volumes de sable vers la mer. Il en

résulte un élargissement de la plage et une réduction de son altimétrie, plus accentuée sur sa partie médiane. La présence d'un cordon dunaire chaotique perturbe l'écoulement des flux éoliens, et accentue l'inversion de la pente des profils en travers qui deviennent descendants jusqu'à la dune (haute-plage surcreusée d'une altimétrie inférieure à la basse plage).

En perturbant les échanges sableux entre la plage et la dune, voire en les supprimant, cette inversion des profils en travers joue un rôle fondamental dans l'évolution des formations dunaires inhomogènes ou trop éloignées de la ligne de rivage : lors des séquences de forts vents de mer, la partie arrière de la plage, submergée par les eaux marines, ne peut céder du sable au vent pour alimenter la dune.

Les vents de mer sont, quant à eux, bien moins fréquents et les transferts de sable qu'ils induisent interviennent sur des périodes très courtes qui représentent un total cumulé peu important (de l'ordre de 10 à 20 jours par an au maximum). Cette durée est cependant suffisante pour assurer la pérennité des cordons dunaires.

Les vents de mer interviennent également de façon indirecte, en générant les houles et un relèvement du niveau marin à la côte : il en résulte un transfert de sable de la partie immergée vers la partie émergée.

Ce phénomène fondamental, compense les effets érosifs résultant de l'action des vents de terre ; lors des fortes tempêtes, mettant en jeu des énergies considérables, les sables envoyés à la mer pendant des mois, sont ramenés sur le rivage en quelques heures.

Un tel mécanisme contribue de façon très efficace à protéger le littoral contre l'assaut des mers de tempêtes. De ce point de vue, il met en évidence le caractère bénéfique des transferts sableux, de la plage émergée sur l'avant-plage, sous l'action des vents de terre.

L'amplitude des marées étant très faible, seules les plus fortes tempêtes (à l'exception des phénomènes exceptionnels) ont la capacité de recharger correctement les hautes-plages et de corriger leur profil. Leur fréquence d'occurrence moyenne est estimée à environ une pour trois ans. Au cours d'un cycle évolutif complet, qui dure donc en moyenne trois ans, des transferts maritimes de sédiments de moindre importance se produisent, mais les hautes-plages présentent fréquemment des déficit sableux. Ceux-ci sont d'autant plus sévères que l'état de la dune est chaotique, que les conditions aux limites côté terre sont inhomogènes, qu'un apport important de sédiments élargit une plage émergée (interception du transit par des jetées portuaires par exemple).

2 - LA TECHNIQUE DE RÉHABILITATION

2.1 - Définition

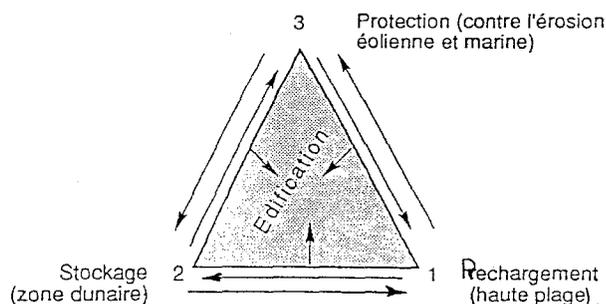
Les plages de ces systèmes littoraux sableux sont le plus souvent très amaigries par l'action des vents de terre et ne sont plus en situation de jouer leur rôle dans l'alimentation en sable des cordons dunaires. Ainsi, toute action de réhabilitation doit avoir pour objectif la restauration de la plage et la restauration de la dune.

Les résultats de premières expérimentations ont démontré qu'il était possible, en utilisant un matériau capable de résister aux assauts de la mer (palissades en châtaignier), de concevoir des ouvrages qui puissent à la fois réhabiliter la plage et la dune à la condition que le système littoral ne subisse pas de pertes significatives de sédiment par érosion marine.

Ces ouvrages doivent remplir trois fonctions :

- . rechargement de la haute-plage par les apports maritimes de sable lors des fortes tempêtes,
- . stockage des apports de sables maritimes et éoliens,
- . protection contre l'érosion éolienne et marine des zones ouvragées et de la haute-plage.

Les trois fonctions ont des effets inter-actifs et convergents qui peuvent être schématisés de la façon suivante :



- le rechargement de la haute-plage favorise le transit sableux entre la plage et la dune. Il tamponne très efficacement l'énergie des houles de tempête,

- le stockage des sables dans l'ouvrage initie ou régénère la dune, favorise l'engraissement de la plage par les apports maritimes de sable et augmente la protection de la haute-plage contre l'action érosive des vents de terre,

- la protection contre l'érosion réduit les reprises éoliennes sur les sables stockés dans l'ouvrage et sur la haute-plage.

L'effet résultant de l'ensemble des trois fonctions est un processus édificateur aboutissant à l'engraissement et l'homogénéisation des profils de la plage avec dans certains cas, une augmentation de sa largeur et, à terme, à la restauration ou la création de la dune.

2.3 - Les ouvrages (positionnement-conception)

Dans l'étude conceptuelle et le positionnement des ouvrages, la prise en compte des trois fonctions est impérative pour obtenir un processus édificateur.

Chacune d'entre elles se détermine à partir des conditions physico-dynamiques du milieu littoral.

- Rechargement de la haute-plage par les apports maritimes de sable lors des fortes tempêtes

A tout moment, l'action de la mer sur le rivage est conditionnée par la force des vagues et par le niveau marin. Pour un niveau et une houle donnés, la mer remanie le sable d'une plage afin que l'estran puisse dissiper l'énergie qu'il reçoit. Ainsi la berme de basse plage résulte de l'action des houles de beau temps, son versant maritime constitue l'estran sur lequel vont agir les jets de rive et la nappe de retrait.

La position et l'amplitude de la berme peuvent varier sur la normale à la côte. Ces variations dépendent de l'état de la mer : plus la houle est forte et le niveau marin élevé, plus la berme recule et s'amplifie (fig.1). Son recul maximal est variable dans l'espace et dépend de la qualité des sables (nature et granulométrie). Lors des fortes tempêtes, une partie des sédiments arrachés à la plage et à l'avant-plage par la houle est stockée plus au large où elle alimente en sable les barres d'avant-côte. Une autre partie, transportée et repoussée par la mer, forme (sur les systèmes littoraux ouverts côté terre) la berme de tempête, positionnée de telle manière que la plage précédemment amaigrie par l'action des vents de terre, soit rechargée en sable (fig.1).

La position occupée par le sommet de l'estran des plus fortes tempêtes, correspond à la limite amont de la plage active (en opposition à arrière-plage) : c'est la partie pouvant subir directement l'action marine. C'est le lieu où se développent successivement les différents estrans correspondants aux différents niveaux d'énergie développés par la mer.

La position idéale du pied des cordons dunaires est située sur la limite amont de la plage active. Cette position permet d'optimiser la fonction d'engraissement de la haute-plage, lors des transferts maritimes de sédiments (fig. 2 et 3). C'est sur cette limite que nous calerons "l'axe du pied de dune théorique".

- Stockage des apports de sables maritimes et éoliens

Pour que les ouvrages soient efficaces, leur ligne de façade maritime devra être située sur l'axe du pied de dune théorique. Cette disposition leur permet de jouer un rôle identique à celui des laisses de tempête, dans l'amorce du processus de dunification, et d'assurer la continuité plage active - cordon dunaire nécessaire pour une bonne alimentation, en sables éolisés, des ouvrages ou des cordons dunaires.-

Si l'ouvrage, constitué d'un maillage en ganivelles, est mis en place sur un sol situé à une côte altimétrique inférieure au niveau où se situe le sommet de l'estran des fortes tempêtes (2 mètres NGF environ), il bénéficiera d'apports maritimes de sable. Lors d'un fort coup de mer, ces apports peuvent, en quelques heures, saturer des ouvrages d'une largeur de dix à quinze mètres et d'un tirant d'air de un mètre cinquante. Au-dessus de ce niveau, les apports sableux seront toujours d'origine éolienne.

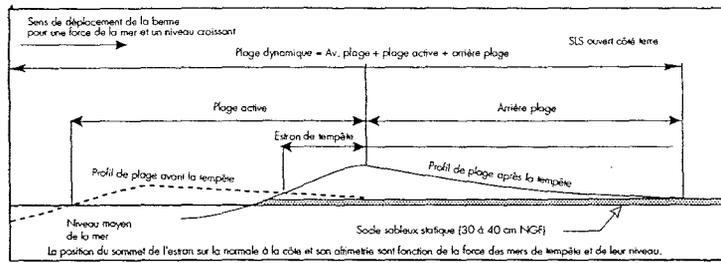


Fig. 1

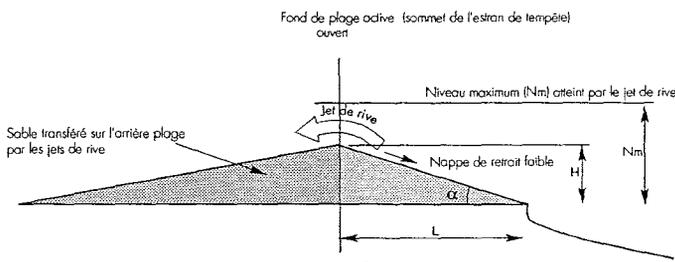


Fig. 2

Les franchissements du sommet de l'estran par les jets de rive limitent son extension verticale par entraînement d'un important volume des sables d'apports maritimes sur l'arrière-plage.

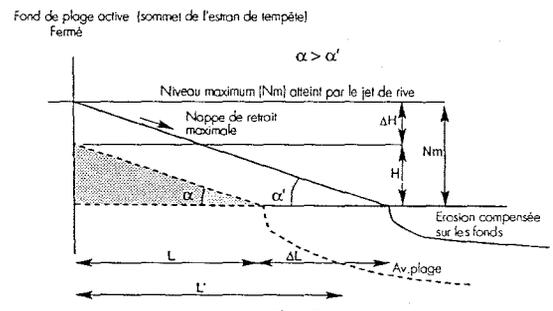


Fig. 3

Le blocage des transferts maritimes de sable, par fermeture du fond de plage au niveau du sommet de l'estran de tempête, se traduit par un engraissement accru de la plage active. De cet engraissement, résulte un accroissement allométrique du sommet de l'estran d'une valeur ΔH tel que $\Delta H + H = H' = Nm$, et une augmentation de la largeur de l'estran d'une valeur ΔL tel que $\Delta L + L = L'$. La totalité du volume d'eau concernant le jet de rive repart dans le profil sur l'estran, entraînant avec lui l'excédent de sable en suspension. Il contribue à empêcher les fonds de l'avant-plage, à se creuser exagérément.

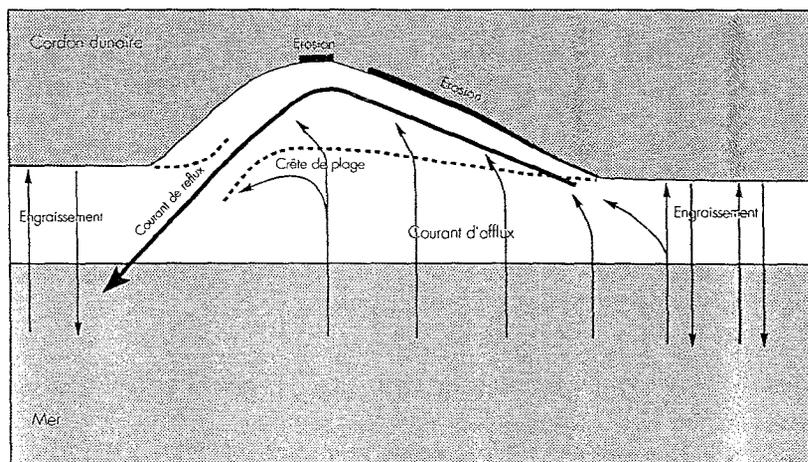


Fig. 4

Afin d'assurer à l'ouvrage une bonne capacité de rétention pour initier un bourrelet dunaire ample et solide, il est recommandé de ne pas trop réduire la largeur des appareils.

- Protection contre l'érosion éolienne et marine

Elle s'applique aux accumulations sableuses piégées dans l'ouvrage et à la partie haute de la plage située à l'avant. C'est certainement la fonction la plus importante étant donné la sévérité des conditions de milieu, et donc celle que l'on devra traiter au plan conceptuel avec le plus de soins. Elle dépend :

- du positionnement de l'ouvrage,
- de la perméabilité des lignes-écrans,
- de la dimension de la maille et du tirant d'air

Le positionnement de l'ouvrage : sur une plage large, sans cordon dunaire, avec des conditions aux limites homogènes côté terre (certaines plages de l'Aude par exemple), où la nature et la composition granulométrique des sables ne varient pas dans l'espace, on peut observer après un transfert maritime de sédiments, une crête de plage parallèle à la ligne de rivage. Ce phénomène fait apparaître la tendance naturelle des systèmes littoraux sableux, en l'absence d'éléments perturbateurs, à s'organiser de façon homogène en réponse à l'action des facteurs naturels d'évolution. Il se traduit sur les systèmes en bon état par un alignement moyen, en parallèle, des éléments topographiques caractéristiques : barres sableuses d'avant-côte, ligne de rivage, pied de dune, ligne de crête du cordon dunaire. Seul ce type d'organisation géomorphologique peut garantir une dynamique du système littoral où l'action érosive est réduite au minimum.

La situation inverse favorise l'action érosive du vent et de la mer, notamment lorsqu'un cordon dunaire inhomogène présente des parties en recul qui entraînent des variations de la largeur de la plage (fig. 4).

Ce parallélisme permet un remodelage régulier de la plage au long du linéaire et une protection très efficace du versant maritime de la dune, lors des fortes tempêtes, une érosion de la plage émergée plus homogène dans l'espace et une bonne protection de la haute-plage lors des régimes de fort vent de terre.

En conséquence, le pied de dune théorique (sur lequel sera positionnée l'implantation des ouvrages de réhabilitation ou de création dunaire), devra dans tous les cas être parallèle à la ligne de rivage moyenne.

La perméabilité des lignes-écrans : pour un vent d'une vitesse donnée, le rendement d'un écran perméable est fonction de sa perméabilité. Celle-ci étant fixe, le rendement aérodynamique d'un écran varie avec la vitesse d'écoulement des flux éoliens. Il tend vers zéro pour les grandes vitesses, en raison de la capacité de débit limitée à travers l'écran et de la surpression qui en résulte à l'amont.

La vitesse du vent étant variable, le choix d'une perméabilité est donc un compromis. Les caractéristiques éoliennes autour du Golfe du Lion ont conduit à choisir pour les ouvrages, une perméabilité moyenne de 60%. Ce choix empirique, résulte des essais sur le terrain.

La dimension de la maille et le tirant d'air : les vents soufflent de deux directions générales : sud et, beaucoup plus fréquemment, nord.

Les vents des secteurs sud sont des vents marins et leur écoulement peu perturbé ne provoque pas de reprise éolienne importante dans les ouvrages.

Les vents des secteurs nord sont des vents de terre très turbulents. Leur vitesse varie en permanence et les écarts sont importants et brutaux : Il est courant qu'un vent de force 6 à 8 s'accompagne de nombreuses rafales à force 9 ou plus.

Les accumulations sableuses piégées dans l'ouvrage et la haute-plage située à l'avant, subissent de la part de ces vents une action érosive. Cette action sera d'autant plus forte que les accumulations seront moins protégées, c'est-à-dire que la distance entre deux lignes-écrans sera grande et le tirant d'air réduit. L'action érosive est aggravée lorsque le relief dunaire proche de l'ouvrage induit des écoulements tourbillonnaires.

Pour minimiser les reprises éoliennes des sédiments piégés dans l'appareil, le pas d'interligne des écrans ne doit pas dépasser une valeur qui est fonction du tirant d'air. Pour un ouvrage composé de lignes-écrans de dimension standard, soit un tirant d'air de 1,10 à 1,40 mètre, la valeur limite paraît se situer autour de 4 mètres.

La protection de la haute-plage à partir de l'ouvrage est plus aléatoire, tout au moins au début de l'implantation. Ce n'est qu'au fur et à mesure de l'accroissement altimétrique de l'accumulation sableuse, dans l'ouvrage, qu'elle bénéficiera d'une protection accrue.

De plus, lorsque le vent attaque l'ouvrage obliquement (cas le plus fréquent), la circulation d'air incidente dans le masque aérodynamique des écrans entraîne latéralement la masse sableuse accumulée dans l'ouvrage. Ainsi les sables tendent à sortir de l'appareil par une de ses extrémités et à être ensuite dispersés par le vent sur la plage.

Une manière de remédier à ce problème consiste à disposer des lignes-écrans qui recoupent perpendiculairement les lignes principales. Le pas de ces lignes de reprises, varie d'un ouvrage à l'autre entre 4 et 12 mètres, en fonction des caractéristiques locales de l'écoulement éolien.

L'ouvrage se présente donc sous la forme d'un maillage constitué de lignes de ganivelles croisées, couvrant une plus ou moins grande surface. Son axe longitudinal est parallèle à la ligne de rivage et sa façade maritime est située sur l'axe du pied de dune théorique.

CONCLUSION

Sur les rivages nord du bassin occidental de la Méditerranée, en particulier dans le Golfe du Lion, les conditions de milieu sévères et très spécifiques imposent une adaptation très poussée de la technique des ouvrages à terre à effet brise-vent. Par leur conception et leur positionnement, ces ouvrages constituent des outils avec lesquels la mer et les vents travaillent à la régénération des plages et des dunes. Cette technique ne peut s'appliquer avec succès sans une bonne connaissance des processus morphodynamiques déterminant l'évolution des systèmes.

Bibliographie

Quelennec R.E. - BRGM . 1987. L'érosion côtière. Acte du colloque Mer et Littoral, Biarritz.

Barbel P. et al. Gestion et aménagements des espaces littoraux du Golfe du Lion. Contrat de Plan Etat-Région. Transferts et Innovations Technologiques, Synthèse des travaux 1987-1988-1989.

Moulis D. et al. 1992. Domaine des Orpellières. Conservatoire du Littoral. Bilan des interventions réalisées. Directives d'aménagement et de gestion .

QUESTION DE MONSIEUR MIGNIOT

Peut-on avoir une estimation des volumes de sables déplacés par les vents et la mer ?.

RÉPONSE

Sur des plages de grande largeur (> 300 mètres), telles certaines plages de l'Aude, sans divergence significative, ouvertes côté terre (sans formation dunaire) et soumises à des vents de terre particulièrement forts, la totalité du stock de sable mobilisable accumulé sur la plage émergée lors des tempêtes est, au cours d'un cycle, totalement envoyée à la mer par les vents. L'ensemble du phénomène s'accompagne de très amples variations de position de la ligne de rivage (d'une valeur de plusieurs dizaines de mètres) de part et d'autre de sa position moyenne. Ces déplacements sableux concernent un volume estimé approximativement à 150 à 200 m³/ml.

Ils devraient représenter un maximum pour les littoraux sableux du golfe du Lion.

Pour ce qui concerne la flèche de la Gracieuse, des volumes de 50 m³ par mètre linéaire ont pu être piégés par les ganivelles en seulement 2 années.

QUESTION DE M. G. BOUISSEAU

Le sable piégé par l'ouvrage en ganivelles que nous avons vu hier provient-il du côté terre (vents de terre) ou du côté mer ?

RÉPONSE

L'ouvrage de première génération a été presque entièrement saturé par les apports maritimes de sédiments lors d'une forte tempête de sud-est : en effet lors des tempêtes, les sédiments envoyés à la mer par les vents de terre durant des mois, sont ramenés en quelques heures sur la plage émergée. L'action de la mer paraît ainsi jouer un rôle fondamental dans l'équilibre morphodynamique de tels systèmes, en permettant un retour à l'état initial (si l'instant t_0 d'un cycle morphodynamique est l'état du système après une forte tempête).

L'ouvrage de deuxième génération, implanté au-dessus du premier, a exclusivement bénéficié d'apports sableux d'origine éolienne. Ces apports proviennent pour une part de la plage active lors des séquences de vents de mer, pour une autre part du massif dunaire situé au vent (de terre) de l'ouvrage.