

# Guide de gestion des dunes et des plages associées

Sous la direction de Loïc Gouguet





# Guide de gestion des dunes et des plages associées

Loïc Gouguet, sous la dir.

Collection *Guide pratique*

Mieux intégrer la biodiversité dans la gestion forestière (nouvelle édition)

Marion Gosselin, Yoann Paillet

2017, 160 p.

Les animaux utiles au jardin

Guide lutte biologique (nouvelle édition)

Vincent Albouy

2017, 104 p.

Insectes et acariens des cultures maraîchères en milieu tropical humide

Reconnaissance, bioécologie et gestion agro-écologique

Philippe Ryckewaert, Béatrice Rhino

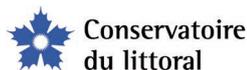
2017, 152 p.

Atlas des bois tropicaux

Caractéristiques technologiques et utilisations

Jean Gérard, coordinateur

2016, 1 000 p.



© Éditions Quæ, 2018

ISBN : 978-2-7592-2482-1

ISSN : 1952-2770

Éditions Quæ

RD 10

78026 Versailles Cedex

Le code de la propriété intellectuelle interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique, et est sanctionné pénalement. Toute reproduction partielle du présent ouvrage est interdite sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20 rue des Grands-Augustins, Paris 6<sup>e</sup>.

# Remerciements

Cet ouvrage a été réalisé à l'initiative du ministère de la Transition écologique et solidaire, et plus particulièrement de la Direction de l'eau et de la biodiversité conjointement avec la Direction générale de la prévention des risques. Cette tâche a été coordonnée par l'Office national des forêts, en faisant appel à de nombreuses compétences scientifiques, gestionnaires et experts.

Il a été conçu et rédigé par, et grâce à l'aide de :

- Alfred Peter (paysagiste) ;
- Yvonne Battiau-Queney, Marie-Claire Prat et Jean Favennec (EUCC-France, Réseau européen des littoraux) ;
- Christine Clus-Auby (EUCC Atlantique) ;
- Emmanuel Garnier (UMR CNRS Chrono-Environnement, Besançon) ;
- Yann Deniaud, Boris Leclerc et François Hedou (Cerema) ;
- Franck Desmazes, Éric Palvadeau, Manuel Garcin et Ywenn de La Torre (BRGM) ;
- Patrick Bazin (Conservatoire du littoral) ;
- Hugues Heurtefeux et Philippe Richard (Entente interdépartementale pour la démoustication du littoral méditerranéen) ;
- Jean Magne (Communauté de communes Océan-Marais de Monts) ;
- Florian Geffroy (Rivages de France) ;
- Vicky Cormier (Collectivité territoriale de Saint-Pierre-et-Miquelon) ;
- Martine Blondin, David Rosebery, Christophe Rollier, Valentin Metereau, Romain Perrot, Frédéric Séjourné et Loïc Gouguet (ONF).

Avec l'appui de Sabine Moraud, Mireille Guignard (DEB), Jean-Victor Michel et Jean-Philippe Lalande (DGPR).

Que tous les auteurs soient ici chaleureusement remerciés pour leur engagement en faveur des milieux dunaires et de leur préservation. Une mention toute particulière à Yvonne, Marie-Claire, Christine, David, Valentin et Jean pour leur relecture attentive et leurs précieux conseils, et à Romain Perrot pour les illustrations.

Loïc Gouguet  
Coordinateur du projet



# Préface

Alfred Peter

Pour nombre d'estivants, la traversée des dunes\*<sup>1</sup> côtières est un passage obligé, le plus court possible, pour rejoindre les plages\*. C'est aussi un joli fond pour selfies à poster sur Facebook, voire un terrain de jeu pour toutes sortes de pratiques, surtout quand les plages sont bondées. Cela s'explique par le fait que le paysage des dunes côtières a une forte puissance évocatrice de la nature sauvage. Mais qui sait que ce paysage est le résultat de l'action conjuguée de l'eau, du vent et des plantes ? Que c'est un paysage dynamique en mouvement constant ? Que la stabilité de la plage en dépend ? Que cette dynamique est aussi sa vulnérabilité ?

Récemment, j'ai eu à intervenir sur deux grands sites dunaires où cette chaîne eau/vent/plantes a été brisée par la construction de routes qui ont coupé la plage de son réservoir de sable\*. Deux routes, entre Sète et Marseillan d'une part, entre Carnon et la Grande Motte d'autre part, offraient la mer, presque de façon indécente, aux baigneurs : tracées entre la plage et les dunes, elles ont eu pour conséquence d'accélérer spectaculairement l'érosion des plages. Une fois les routes supprimées et le contact plage/dunes rétabli correctement, le processus naturel de ré-engraissement des plages s'est remis en route tout seul... Ces deux exemples symboliques de repli stratégique préfigurent un travail nécessaire de plus grande ampleur sur nombre de sites côtiers en France. Dans ce processus, une attention particulière doit être portée au milieu dunaire, objet de ce guide.

Mais pourquoi ce paysage est-il si intéressant ? Dune vient du mot néerlandais *duin* qui veut dire colline. Les petites collines côtières parallèles à la côte, on les doit au vent, et le vent sculpte bien. L'échelle est à taille humaine, ce qui donne l'impression de se promener dans une maquette. Les parcours offrent un nombre inouï de points de vue, de surprises ; plus on se rapproche de la mer et plus le paysage semble dynamique ; de temps en temps, des petites dépressions font voir la nappe phréatique toute proche et font penser à des petites oasis en plein désert... En plus de cette échelle si subtile, elles ont donc un côté ludique, apprivoisable. En interdire tout accès serait une grande frustration pour le public.

Comment alors protéger ces complexes dunaires tout en les révélant ? Comment faire comprendre ce qu'est une dune verte, blanche ou grise ? Il est tout à fait nécessaire et possible de concilier forte fréquentation humaine des bords de mer avec une politique de protection de ces milieux fragiles. L'approche de la mer à travers les dunes doit faire partie de l'expérience de la baignade. Pour cela, il est nécessaire de reculer progressivement les infrastructures d'accueil (parkings, toilettes), de renforcer l'accessibilité en modes doux des plages, et de créer des passages très contrôlés des complexes dunaires. L'idéal serait de créer des « tapis volants », c'est-à-dire des estacades ne touchant pas le sable, une sorte de réplique de ponton sur l'eau ; leur simple existence souligne la fragilité et la grande valeur du paysage traversé... Le traitement des abords du Mont-Saint-Michel auquel j'ai activement participé est un excellent exemple à suivre.

---

1. Les mots marqués d'un astérisque sont expliqués dans le glossaire final.

Avec la pression humaine de plus en plus forte, il faut inventer des mesures adaptées qui replacent l'homme dans ces milieux à sa juste place... Le défi sera de le faire de façon à éveiller un large public à ces milieux fragiles de manière festive et non punitive. En associant notre énergie créatrice à celle du vent et de l'eau, il est possible de faire des dunes côtières une expérience inoubliable et respectueuse.



**Figure 0.1.** Un tapis volant pour découvrir la dune.  
© A. Peter.

# Sommaire

Remerciements	3
Préface	5
Introduction	9
Présentation du guide	9
À qui s'adresse ce guide ?	10
Plan du guide	10
<b>Les différents types de dunes, leur formation et leur évolution</b>	<b>11</b>
La formation des dunes, le système plage-dune	11
La naissance	13
Les phénomènes naturels en jeu	15
Le fonctionnement du système plage-dune : le bilan sédimentaire	20
Les différents types de dunes littorales	28
Les formes dunaires globales	29
Les différents profils des dunes littorales	38
La dynamique des dunes	41
L'évolution du contact entre la plage et la dune	41
Exhaussement et bossellement sur la dune bordière	45
Le rôle de la végétation	51
Une adaptation remarquable	51
La végétation de haut de plage	52
La végétation de la dune embryonnaire	52
La dune blanche	52
La dune de transition	53
La dune grise	53
De la mer à la forêt : des habitats naturels bien différenciés	54
La dune : un milieu rude	54
Les milieux dunaires secs	54
Les milieux dunaires humides	61
Les dunes françaises	64
Les dunes de la Manche et de la mer du Nord	64
Les dunes atlantiques	76
Les dunes méditerranéennes	86
Les dunes ultramarines	91

<b>Les dunes et les hommes</b>	<b>97</b>
Du vide au trop-plein !	97
Des zones inhospitalières...	97
... à une ruée vers le littoral	99
Des usages traditionnels et contemporains multiples	102
Les usages agricoles et forestiers	102
Des lieux de passage largement empruntés	105
Les prélèvements de sable	108
L'urbanisation	110
Les ouvrages et les systèmes de défense contre la mer	113
Protéger les dunes : les politiques publiques de protection	120
Préserver une biodiversité remarquable	120
Prendre en compte les risques naturels	125
Les dunes face aux tempêtes	133
Le cas aquitain : protection et vulnérabilité, xix <sup>e</sup> -xx <sup>e</sup> siècles	133
... et l'avenir ?	136
<b>Les modalités de gestion</b>	<b>139</b>
Acteurs et stratégies de gestion des dunes	139
Les principaux gestionnaires et propriétaires	139
Les stratégies de gestion	141
Organisation de la gestion	158
La connaissance et le diagnostic	158
La surveillance et l'évaluation	159
Les entretiens	159
Les travaux d'aménagement	163
La gestion des situations d'urgence	166
Fiches des techniques d'intervention	169
Utiliser le vent et la végétation pour piéger le sable	169
Organiser la fréquentation	187
Gérer le stock de sable	199
Conclusion	209
Glossaire	211
Bibliographie	217

# Introduction

Riche de 20 000 km de côtes, la France dispose d'une grande diversité d'écosystèmes littoraux (falaises, zones humides, cordons dunaires, mangroves, récifs coralliens...), hauts lieux de biodiversité et sources de paysages remarquables. Au-delà de ce patrimoine exceptionnel, ces écosystèmes constituent des lieux de dissipation de l'énergie de la mer et limitent l'impact de l'érosion des côtes, contribuant ainsi à la protection de la population et des activités situées sur le littoral. La protection et la restauration de ces écosystèmes constituent par conséquent un enjeu important à prendre en compte dans les stratégies d'intervention mises en place dans les espaces littoraux.

Parmi ces écosystèmes, les côtes d'accumulation (galets, sables, vases) occupent une place importante avec 39 % du linéaire côtier en métropole. Sous l'effet de facteurs naturels (courant, tempêtes, vent...), elles évoluent, formant un espace mobile, parfois appelé espace de respiration\* du système, qu'il s'agit de préserver pour maintenir le bon fonctionnement de ces écosystèmes et les services qu'ils apportent.

Le guide de gestion des dunes et des plages associées a été conçu pour répondre à ces objectifs. Il propose à la fois un socle de connaissances pour la compréhension de ces écosystèmes complexes et les éléments techniques nécessaires à la constitution d'une stratégie d'intervention adaptée articulant gestion des risques littoraux et préservation de la biodiversité. Il offre ainsi un cadre d'intervention favorisant le maintien des capacités d'adaptation des milieux dunaires, essentiel dans un contexte de changement climatique.

Cet ouvrage s'inscrit pleinement dans les objectifs de la Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte, adoptée par la France en 2012, et participe à la concrétisation de son programme d'actions.

Sa réalisation a été confiée par le ministère de la Transition écologique et solidaire à l'Office national des forêts, gestionnaire de près de 380 km de dunes pour le compte de l'État. De nombreux scientifiques et techniciens ont apporté leur contribution afin d'établir une synthèse des connaissances sur le fonctionnement des dunes et des plages associées et leur gestion passée, et constituer une boîte à outils opérationnelle pour une gestion durable des milieux dunaires littoraux.

## Présentation du guide

Lorsque le 25 août 1774, le chanoine Desbiey présenta à la Société académique de Bordeaux son long mémoire sur « la fixation des dunes par les semis de pins », il expliqua comment il avait résolu avec son frère, sur ses propres terres, la difficile tâche « d'arrêter ces montagnes de sable ». Pour immobiliser les sables, il proposait de favoriser la végétation : après avoir semé des graines de pins, de genêts et d'ajoncs, il avait tout simplement étendu sur le sol des branches d'arbres qu'il fixait au moyen d'un crochet de bois enfoncé dans les sables. Les graines semées sous ces abris avaient germé aussitôt. Tout était dit, c'était le début de la longue histoire de la fixation des dunes !

Les fondements étant décrits, il ne restait plus qu'à généraliser ces pratiques, en prenant des mesures administratives, sociales et financières pour entreprendre

cette grande œuvre. Cela s'est fait sur plusieurs dizaines d'années, au gré des évolutions des institutions et de la demande de la société.

Même si les conditions sédimentaires ont progressivement changé, si les usages du littoral ont radicalement évolué, et alors que la perception de ces milieux est passée d'un sentiment de rejet il y a quelques siècles à une attraction sans faille aujourd'hui, la nécessité de contrôler les mouvements de sable reste nécessaire dans bon nombre de cas. Ce guide est là pour présenter les bases de la gestion des dunes.

## À qui s'adresse ce guide ?

Ce guide est à destination de tous les gestionnaires de milieux dunaires, collectivités locales, services de l'État, prestataires et opérateurs techniques, milieu associatif. Il doit leur permettre, en leur donnant les outils de connaissance pour analyser les conditions écologiques des milieux dunaires dont ils ont la responsabilité, de gérer ces espaces rares et riches. Ni traité de botanique, de sédimentologie ou de géomorphologie, il décrit toutefois les notions nécessaires à la mise en œuvre d'une gestion éclairée et pragmatique. Ces notions nécessitent parfois un vocabulaire un peu technique, nous souhaitons que le lecteur ne nous en tienne pas rigueur !

Ce guide est aussi bien entendu à la disposition de tous ceux qui veulent connaître les paysages littoraux familiers, leur fonctionnement complexe et les différentes façons de les préserver.

## Plan du guide

Lorsqu'il se promène tout au long du littoral, l'observateur attentif est frappé par la diversité des formes de dune qu'il découvre. Nous présenterons donc tout d'abord, dans le chapitre 1, les types et les formes des dunes rencontrées, puis nous expliquerons les différents processus en jeu dans la formation de ces espaces, subtile alchimie entre la mer, le vent et la végétation, et les différents stades de leur évolution.

Un panorama des différents types de dunes rencontrés en France sera ensuite présenté, chaque façade maritime ayant ses propres particularités.

Dans le chapitre 2 nous retracerons l'évolution des usages des milieux dunaires, et les transformations des attentes de la société, d'un refus de ces zones jugées inhospitalières avant le XIX<sup>e</sup> siècle à une ruée vers les littoraux à partir du XX<sup>e</sup> siècle, jusqu'à une certaine prise en compte de la biodiversité.

Le chapitre 3 sera consacré à la gestion des dunes. Qui les gère ? Quelles stratégies doit-on mettre en place ? Enfin, comment intervenir concrètement ?

Fruit de l'expérience de plusieurs auteurs et experts (Cerema, EUCC-France, EID Med, BRGM, EUCC Atlantique, ONF...) dans la gestion des milieux dunaires littoraux et la prévention des risques naturels, ce guide présente des outils utiles pour résoudre les problèmes liés à la gestion quotidienne des dunes. Que tous ces auteurs soient ici remerciés pour leur contribution sans laquelle ce guide ne serait pas si complet.

# Les différents types de dunes, leur formation et leur évolution

## La formation des dunes, le système plage-dune

*Yvonne Battiau-Queney*

La dune côtière ne se comprend et ne peut se gérer efficacement que si on la replace dans un système complexe intégrant la plage et les petits fonds marins et faisant intervenir conjointement de multiples facteurs.

En milieu terrestre, une dune est une accumulation de sable par le vent (contrairement aux dunes « hydrauliques » formées en milieu marin ou fluvial). Comme on trouve du sable dans tous les domaines climatiques, des pôles à l'équateur, et que le vent peut souffler partout, il est normal de voir des dunes dans tous les milieux terrestres, du froid au chaud et de l'aride à l'humide. Néanmoins, en dehors des zones arides (froides ou chaudes), c'est surtout le long du littoral qu'elles sont les plus fréquentes, des régions circumpolaires aux régions équatoriales, en passant par les grands déserts littoraux américains et africains et les côtes des moyennes latitudes, sur les cinq continents. Ce constat d'ubiquité soulève la question de l'origine et de l'évolution des dunes littorales. Pourquoi sont-elles si fréquentes quel que soit le climat ambiant ? Quelles sont leurs particularités ?

Revenons au point de départ : il faut du sable et du vent. Le sable est-il plus abondant le long des côtes qu'à l'intérieur des terres ? La réponse est oui pour au moins trois raisons :

- la charge alluviale des fleuves qui aboutit à la mer est (ou a été) très souvent riche en sable ;
- l'érosion des falaises maritimes peut fournir des quantités importantes de sable si la roche attaquée s'y prête ;
- le milieu littoral est propice à la création de sables d'origine biologique.

On passe alors à une deuxième particularité du littoral qui sera analysée dans ce guide : ce sable arrivant à la côte ou voyageant le long des côtes est remanié par la mer, les vagues et les courants, et tend à s'accumuler pour former des plages. C'est là que le vent prend le relais de la mer pour remobiliser les grains de sable qu'il peut soulever (il y a un tri dans le matériau), transporter et redéposer ailleurs.

La dune va naître de ce travail sélectif du vent sur la plage. Toutes les plages ne sont pas également propices à engendrer une dune puisque deux conditions sont nécessaires :

- que le vent puisse soulever les grains de sable, ce qui dépend de la taille et de l'humidité des grains, de la vitesse du vent, mais aussi de la largeur des aires d'envol qui dépend de la marée ;

– que le vent (dominant ou « efficace ») souffle dans la bonne direction, généralement vers la terre (avec le cas particulier des dunes de Méditerranée, où le Mistral souffle depuis la terre).

Il peut donc exister des plages sans dunes, par exemple le long de la côte méditerranéenne ou en Bretagne (les plages de poche), au fond de petites baies presque fermées et sans marée où le sable est peu abondant et trop grossier pour être mobilisé par le vent. Par contre, il est très rare de trouver une dune littorale sans plage sableuse adjacente. Lorsque cela existe, comme sur la rive sud-est de l'isthme de Courlande en Lituanie, le sable dunaire provient de dépôts morainiques abandonnés par les glaciers il y a plus de 20 000 ans. En dehors de ces exceptions, la dune est indissociable de la plage : elle naît du sable de la plage. Encore faut-il qu'une troisième étape soit franchie : le sable transporté par le vent doit se redéposer pour former la dune. On expliquera ci-après le rôle décisif de la végétation dans ce processus de piégeage.

Si la dune a besoin de la plage pour naître et se développer, la plage se nourrit de la dune pour perdurer et résister aux assauts de la mer. Pendant les tempêtes, la dune va lui restituer du sable qu'elle aura provisoirement mis en réserve. Ces échanges de sable sont essentiels à la « bonne santé » du couple plage-dune, par essence extrêmement mobile, et ils se traduisent sur le terrain par une remarquable mobilité paysagère qui sera analysée dans ce guide. C'est un perpétuel combat entre la mer, le vent et la végétation.

Dans cette lutte incessante qui met aux prises des acteurs « naturels », l'homme n'est pas inactif : il agit parfois inconsciemment, sans réfléchir aux conséquences, mais il cherche de plus en plus à contrôler les éléments. La réalité et l'importance des déplacements et des échanges de sable ont été longtemps sous-estimées, voire ignorées, ce qui a engendré des mauvaises pratiques, provoquant ou aggravant une pénurie de sable et la disparition de la plage et de la dune. Tout cet aspect sera analysé dans la troisième partie, mais il faut souligner ici que toute bonne gestion des dunes littorales nécessite une bonne connaissance de leur fonctionnement, en association avec les plages, mais aussi avec les ressources sableuses en mer. Les recherches se sont intensifiées ces dernières années pour essayer de quantifier les transferts de sable dans le système côtier et d'évaluer le bilan sédimentaire à l'intérieur d'un compartiment qu'on appelle la « cellule sédimentaire\* ». L'autre thème majeur des recherches, étroitement lié au bilan sédimentaire, concerne la mobilité du trait de côte\*, ses indicateurs et les techniques et modalités de suivi.

Tous ceux qui se sont promenés sur le terrain à travers le monde ont pu constater que les dunes littorales sont extraordinairement variées dans leur morphologie, leur couverture végétale, leur degré de mobilité. Cela fait partie de leur attrait. Pour apprécier l'ampleur de cette diversité, il suffit de parcourir les façades littorales françaises, métropolitaines et ultramarines, qui offrent toute la palette des dunes littorales existant à travers le monde. On essaiera ci-après d'en proposer une typologie raisonnée.

Ce chapitre 1 est un préalable indispensable pour comprendre les conséquences des usages que l'homme a fait et veut faire de la dune (chapitre 2). Longtemps ignorée, voire considérée comme un espace malsain, la dune a brusquement pris une nouvelle valeur quand le tourisme balnéaire s'est développé à partir du XIX<sup>e</sup> siècle, et cela a continué jusque dans les années 1970-1980. Cet espace délaissé est devenu un espace convoité aisément constructible, recherché pour sa proximité avec la mer. Il fallait bâtir le plus près possible de la plage, donc sur la dune. Mais en sacrifiant la dune, nous n'avons pas vu qu'on menaçait aussi la plage. Les temps ont changé, le rôle de la dune est désormais mieux compris et de nouvelles pratiques sont à rechercher (chapitre 3).

## La naissance

Tout commence sur la plage, là où la mer a accumulé du sable. Dès qu'un souffle de vent apparaît, selon la taille du sable et son humidité, des grains peuvent rouler et se déplacer. Si le vent est plus puissant, des grains vont décoller du sol, être projetés de quelques centimètres, voire de quelques décimètres, et retomber plus loin : c'est la saltation\* qui crée des rides de sable de taille centimétrique. Pour un sable sec de taille moyenne (250 microns), un vent de 5 à 6 m/s suffit pour provoquer ces sauts de puce. Si le vent forçait, les grains vont rester plus longtemps en suspension dans l'air et se déplacer de plusieurs mètres, créant non pas des rides centimétriques mais des croissants plurimétriques (figure 1.1). En cas de gros coups de vent, un vent de sable se forme, soulevant suffisamment les grains pour aveugler un individu de taille normale et capable de déplacer des volumes énormes de sable en quelques heures (le temps d'un cycle journalier de marée) en créant des bourrelets d'accumulation en haut de plage (figure 1.2). Grâce à leur orientation, leur profil et leur taille, les rides et les croissants de sable éoliens (qu'il ne faut pas confondre avec les formes voisines créées dans l'eau par les courants et les vagues) sont pour un observateur averti les meilleurs indicateurs de la direction et de la vitesse du vent pendant sa dernière période d'activité (figure 1.3). Ce sont des enregistrements extrêmement précieux permettant de reconstituer la dernière séquence venteuse sur les hauts de plage et dans les couloirs transversaux des dunes côtières : le vent rebondit d'un mur à l'autre du couloir faisant se juxtaposer secteurs d'accumulation et secteur d'érosion mécanique (ou « corrasion »). Tout cela tient de la mécanique des fluides, mais une observation fine du terrain peut donner des résultats fiables et complémentaires à des enregistrements aérométriques sophistiqués, généralement de courte durée et délicats à réaliser en cas de gros coup de vent. Il faut souligner la très grande discontinuité de l'action du vent sur une plage de sable : l'essentiel du déplacement du sable se déroule sur de courtes périodes séparées par de longues phases de répit.



**Figure 1.1.** Rides et croissants de plage.

© Y. Battiau-Queney/EUCC-France.



**Figure 1.2.** Bourrelet d'accumulation en haut de plage.  
© Y. Battiau-Queney/EUCC-France.



**Figure 1.3.** Rides formées par le vent.  
© L. Gouguet/ONF.

À ce stade, il n'y a pas encore de dune. Celle-ci naît lorsque le sable soufflé par le vent est piégé au sol par des laisses de mer\*, des paquets d'algues, des bois flottés ou une touffe de végétation. Les modalités pratiques sont variées. Il faut insister sur le fait que le vent est un aspirateur sélectif : il va soulever les grains les plus légers et laisser au sol les particules plus grossières. Un bel exemple de tri éolien caractérise les plages de sable coquillier de la côte normande

à l'ouest de Cabourg ou celles du Fort-Vert à l'est de Calais. Il se crée un pavage de particules grossières (coquilles surtout) tandis que le sable plus fin forme des monticules qui sont des dunes embryonnaires naissantes vite colonisées par des plantes pionnières (figure 1.4).



**Figure 1.4.** Le vent a trié les sédiments.  
© Y. Battiau-Queney/EUCC-France.

Avec un sable plus homogène, les premières dunes élémentaires se forment sur la plage, au-dessus de la laisse de mer. Dans ce dernier cas, la dune naît et grossit avec la plante qui lui sert de support. Ce peut être un pied de *Cakile maritima* ou des touffes d'*Elytrigia juncea* (figure 1.5). Par coalescence, ces dunes élémentaires vont donner une banquette\*, puis une véritable avant-dune\*. Cependant, l'espérance de vie d'une dune embryonnaire est très aléatoire : elle peut être détruite par une grande marée ou/et une tempête quelques jours après sa naissance ; mais elle peut aussi perdurer plusieurs semaines, voire plusieurs mois, et se consolider en avant-dune d'abord naissante, puis bien établie. La séquence dune embryonnaire, banquette et avant-dune n'a rien de linéaire. Comme tout ce qui se passe sur la plage, l'évolution de la dune associée est à la merci de phénomènes prévisibles pour les uns (cycle de la marée) et aléatoires pour les autres (événements tempétueux). C'est pour cela qu'il est très difficile de modéliser une telle séquence. On peut seulement imaginer des scénarios d'évolution selon l'occurrence et la fréquence des tempêtes.

Retenons de ce qui précède que le haut de plage (au-dessus des lasses de mer) est un espace essentiel à la formation des dunes et que toute intervention peut retarder voire empêcher leur naissance. Il est impératif de sensibiliser usagers et gestionnaires des plages à la fragilité de ce domaine particulièrement convoité.

## Les phénomènes naturels en jeu

Yann Deniaud

Les cordons dunaires côtiers sont des accumulations sédimentaires qui résultent d'un processus de transport et de sélection des matériaux sous les actions combinées de phénomènes hydrodynamiques maritimes, puis éoliens. Leurs



**Figure 1.5.** A. Touffes d'*Elytrigia juncea*. B. Le *Cakile maritima* piège le sable.  
© Y. Battiau-Queney/EUCC-France.

évolutions sont en relation directe avec la nature, la morphologie et l'évolution des plages qui les bordent et avec lesquelles ils constituent un système morphodynamique en continuelle adaptation.

Le principe de formation est le suivant : la mer apporte du sable, qui est transporté par le vent et piégé par la végétation. Mais ce processus requiert des conditions particulières sur lesquelles nous allons revenir :

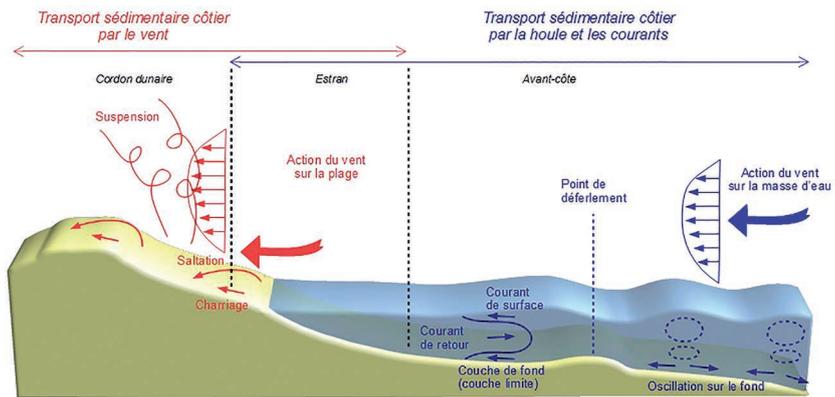
- l'action de la mer ;
- l'action du vent ;
- l'action de la végétation.

## Le rôle de la mer dans le transport des sédiments à la côte

Les profils des plages et des petits fonds dépendent de nombreux paramètres, et notamment des caractéristiques des houles\*, de la granulométrie des sédiments\*, de la force et de la direction des vents, de la morphologie générale des fonds et de la topographie.

Les sédiments apportés par les fleuves ou issus de l'érosion des côtes rocheuses et de la production biologique (fragments coquilliers) sont redistribués le long des rivages sous l'effet des processus hydrodynamiques. Les houles et les courants opèrent un tri granulométrique entre la côte et le large. Les sédiments les plus fins sont entraînés à des profondeurs d'autant plus grandes que leur vitesse de chute dans la colonne d'eau est faible et que les houles et les courants sont forts.

Au large des zones de déferlements des vagues, lorsque les mouvements orbitaux de la houle sont supérieurs au seuil critique de mise en mouvement, ils génèrent des déplacements alternatifs et un brassage des sédiments sur place (figure 1.6). Ces mouvements sont sensibles à des profondeurs proportionnelles à la hauteur et à la période des vagues et inversement proportionnelle à la granulométrie des particules sédimentaires.



**Figure 1.6.** Déplacement des sédiments par la houle et le vent.

Source : R. Perrot/ONF d'après Deniaud/Cerema.

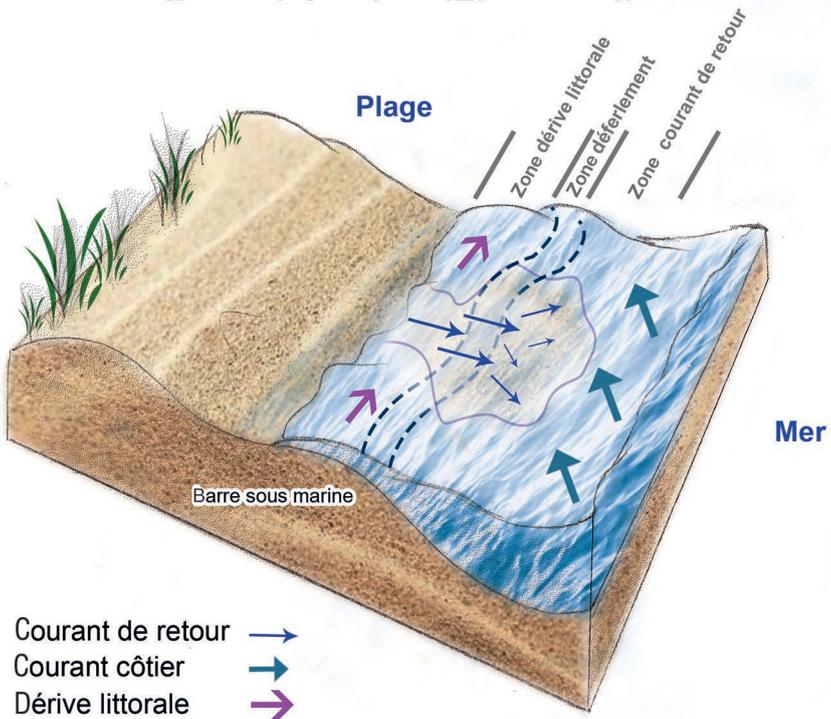
Au large, la houle a peu d'effet sur le transport de sédiments : ceux qui sont mis en mouvement (car n'étant pas situés trop profondément) n'arrivent pas à la côte.

Le déplacement des matériaux perpendiculairement au rivage dépend de l'importance et de la répartition des courants dans la colonne d'eau.

Suivant les cas, les sédiments brassés par la houle à proximité du fond peuvent subir un transport net vers la côte par charriage\* et saltation dans la couche limite de fond, tandis que les particules remises en suspension sont susceptibles d'être évacuées vers le large sous l'effet des courants de compensation ou de retour se développant en milieu de colonne d'eau.

Dans la zone de déferlement et dans les petits fonds, les lames déferlantes génèrent des apports d'eau à la côte contrebalancés par des courants de retour sur le fond ou concentrés en des points particuliers et réguliers du rivage sous la forme de courants très rapides (« *rip-current* » ayant des vitesses de plusieurs mètres par seconde) (figure 1.7). Le point

de déferlement constitue un point de convergence sédimentaire entre les phénomènes au large et au niveau de la côte. À son niveau, peuvent se former des barres sous-marines dont l'importance dépendra notamment du type de déferlement, de la pente des fonds et de la hauteur relative de la houle au point de déferlement.



**Figure 1.7.** Les courants de retour (*rip-current*).  
 Source : R. Perrot/ ONF d'après Deniaud/Cerema.

Lorsque la houle est oblique au rivage, un courant de dérive littorale\* se développe parallèlement au rivage entre le point de déferlement et la côte. Il entraîne les matériaux en suspension ou par charriage, suivant leurs caractéristiques granulométriques. L'intensité de ce courant est proportionnelle aux vagues incidentes. Il atteint son maximum à proximité des barres\* sous-marines et décroît vers la côte où un transport sédimentaire en dent de scie est généré par la montée des vagues sur l'estran\* et leur retrait suivant la ligne de plus grande pente.

Au cours du temps, les variations de direction et d'intensité des houles transforment les profils des plages et la forme des rivages, en modifiant les conditions d'actions des houles sur le fond et les mouvements sédimentaires associés.

Au cours des tempêtes, les actions des houles et des courants se cumulent et peuvent provoquer des mouvements sédimentaires de grande ampleur vers le large, notamment si les matériaux sont fins et peu cohésifs. Les profils topographiques des plages tendent alors à devenir concaves en se raidissant à la côte (la plage s'abaisse). En périodes de faibles conditions hydrodynamiques, les mouvements sédimentaires favorisent l'accumulation des matériaux à la côte et l'engraissement\* progressif des plages dont le profil devient convexe (la plage se relève).