

À l'interface entre terre et mer : la gestion du trait de côte



Ressources, territoires, habitats et logement
Énergie et climat
Développement durable
Prévention des risques
Infrastructures, transports et mer

**Présent
pour
l'avenir**



Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer,
en charge des Technologies vertes et des Négociations sur le climat



Le trait de côte est la limite des plus hautes eaux. Il se déplace et modifie les paysages.

À l'interface entre terre et mer :
la gestion du trait de côte

Sommaire

Éditorial — 5

Le littoral, une réalité complexe — 6

La gestion du trait de côte, une approche responsable et durable — 10

Les stratégies de protection du littoral, les enseignements de l'expérience — 14

La mise en œuvre technique des stratégies, l'art de choisir les bons outils d'aide à la décision — 19

Une stratégie nationale de gestion du trait de côte — 28

Liens utiles — 29

L'érosion des côtes est un phénomène naturel que l'on observe partout dans le monde. En France, près d'un quart du littoral s'érode. Ce phénomène peut avoir un impact important sur les activités humaines, en matière de développement économique, d'urbanisation du littoral, de tourisme et de protection de la biodiversité.

Tout l'enjeu pour les collectivités locales du littoral consiste donc à délimiter aussi durablement que possible le trait de côte (ou ligne de rivage), c'est-à-dire l'endroit où s'arrêtent les plus hautes eaux, hors conditions exceptionnelles. Loin d'être un trait fixe, il est une réalité dynamique, un lieu où se mélangent et s'affrontent les éléments. Il est une limite entre la mer et la terre et doit intégrer de nombreux paramètres, parfois contradictoires. D'où la difficulté de le définir !

Un comité interministériel à l'aménagement du territoire a demandé la réalisation d'un guide national sur la gestion durable du trait de côte pour diffuser les connaissances et les stratégies de gestion des rivages soumis à l'érosion.



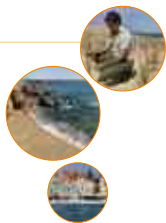
C'est chose faite avec la publication du livre *La gestion du trait de côte*. Ce guide, élaboré de manière collective avec des partenaires publics et privés et largement illustré avec des photographies, des schémas et des exemples, comporte nombre de préconisations pour une gestion durable du trait de côte. Il permet de comprendre le fonctionnement des milieux littoraux ; il apporte des éclairages sur la conduite d'un projet de gestion intégrée du trait de côte ; il présente les stratégies possibles de gestion du littoral ; enfin, il suggère des méthodes d'études et des techniques à mettre en œuvre pour des aménagements de défense contre la mer.

La gestion du trait de côte est le premier ouvrage du genre. Sans précédent, il innove dans cet exercice complexe afin d'aider les communes et les services de l'État à favoriser une approche durable de la gestion du trait de côte.

Je souhaite que cette action, au cœur du Grenelle de la Mer, favorise la préservation de notre littoral.

A stylized, handwritten signature in dark ink, consisting of a large 'J' and 'L' followed by a long, sweeping horizontal line.

Jean-Louis Borloo,
*ministre d'État,
ministre de l'Écologie, de l'Énergie,
du Développement durable et de la Mer*



Le littoral, une réalité complexe

Le littoral est une bande à l'intérieur de laquelle les contacts terre-mer se déplacent. Les caractéristiques physiques de cet espace géographique changent sous l'influence combinée des eaux marines (niveau de la mer, houle, marées et courants), du climat global et des évolutions naturelles (structure géologique) et anthropiques.

Cette réalité est complexe à appréhender. Seule une approche systémique permet

d'aborder la dynamique de ce milieu, le rôle des interactions et l'organisation de l'espace. Comprendre le littoral, c'est donc comprendre à la fois ses caractéristiques morphologiques (relations entre formes et processus) et les facteurs qui entraînent les processus d'érosion dans l'espace et dans le temps. En effet, les rythmes d'évolution de cet espace doivent être abordés selon trois échelles de temps : la dynamique ordinaire, les phénomènes épisodiques et les variations climatiques.

Le littoral, chiffres et enjeux

- 883 communes littorales et lacustres dont 785 en bord de mer ou d'océan.
- 5 500 km de côtes métropolitaines.
- Plus de 6,1 millions de résidents dans les communes littorales métropolitaines.
- 24 % du littoral métropolitain recule du fait de l'érosion côtière alors que 44 % est stable.
- Nombreuses activités : nature, tourisme, plaisance, pêche...
- Tourisme littoral : 50 % de l'économie maritime, près de 9 milliards d'euros de valeur ajoutée et 237 000 emplois.

Sources : Observatoire du littoral, 2006 ; Eurosion, 2004 ; ministère du Développement durable, 2009.

Formes et caractéristiques géologiques du littoral



Érosion d'une falaise sur la côte basque, à Guéthary, dans les Pyrénées-Atlantiques (64).

Le littoral est un espace dont les formes, les caractéristiques géologiques et l'évolution sont variées.

Les rivages

On distingue les rivages à côtes rocheuses des rivages à côtes meubles.

Parmi les **côtes rocheuses**, les falaises, dont la taille peut être très variable, sont les plus spectaculaires. Mais toutes les côtes rocheuses ne sont pas des falaises puisque certaines s'inclinent doucement vers la mer. Et toutes les falaises ne sont pas des côtes rocheuses, certaines sont taillées dans des matériaux meubles comme les falaises dunaires. Enfin,

certaines falaises dites mortes échappent aux actions marines.

Quoi qu'il en soit, l'érosion des falaises est continue : la préparation du massif rocheux s'effectue sur des pas de temps longs alors que l'effondrement ou le glissement se fait par à-coups.

Les rivages à **côtes meubles** (plages, dunes, estuaires, deltas, lagunes et récifs coralliens) proviennent de la sédimentation marine ou de l'activité d'organismes vivants tels que les algues ou les invertébrés. Contrairement aux côtes rocheuses, qui ne peuvent que reculer, elles subissent alternativement et parfois de façon très rapide des phases d'accrétion (progression de la ligne de rivage par accumulation de sédiments) et d'érosion.

Les plages sont des zones d'accumulation de sédiments qui vont des sables fins aux blocs, les grèves étant des zones d'accumulation de galets. Les plages sableuses sont parfois accompagnées de dunes. Les dunes nécessitent un vent suffisant, une plage large et régulière, un stock sableux, une pente douce et une végétation qui joue un rôle de brise-vent et de piège à sédiments.

Les estuaires, les deltas et les lagunes

En raison du contact eau douce-eau salée et de la rencontre de l'écoulement du fleuve et des courants des marées, les estuaires et les embouchures fluviales ont une dynamique hydrologique et sédimentaire très particulière. Ce sont des lieux d'échange d'énergie et de matière entre les milieux marins et terrestres. Cette situation est très favorable à la vie animale et végétale.

Lorsque des zones d'accumulation d'alluvions se forment dans une embouchure,

conduisant à la séparation du fleuve en plusieurs bras, cette partie est nommée delta. Cette configuration du littoral est très sensible aux bouleversements hydrodynamiques et aux transports sédimentaires.

Les lagunes sont des bassins d'eau saumâtre isolés de la mer par des îles barrières dites lido, qui communiquent avec la mer par des passes (graus) ou des passages sous-marins.

Les récifs coralliens

Les **récifs coralliens** des eaux chaudes intertropicales sont des constructions marines résultant de la symbiose entre un animal microscopique, le polype, et une algue unicellulaire qui vit dans ses tissus, la zooxanthelle. Les récifs coralliens présentent des formes variées selon la chronologie de leur formation.

Il existe trois principaux types de récifs : le récif frangeant, le récif barrière et l'atoll.

Les facteurs d'évolution du trait de côte

La mobilité de la côte provient des processus marins (houles, marées, courants...), climatologiques (vent, gel...) et anthropiques qui agissent sur les matériaux et déplacent les sédiments (sable, galets...). Les sédiments peuvent se déplacer soit par :

- charriage : les matériaux sont roulés ou glissent ;
- saltation : le transport s'effectue par sauts successifs ;

- suspension : les sédiments sont dispersés dans l'eau ou l'air sous l'effet de la turbulence.

Les courants locaux liés à la houle près de la côte : la houle est à l'origine de courants longitudinaux (dérive littorale) et transversaux susceptibles de transporter des sédiments et de modeler le paysage littoral.

Les courants de marée : ces courants sont prépondérants au large mais, à l'approche de la côte, ils sont dominés par les courants de houle.

Les processus d'érosion continentaux : la mobilité du littoral résulte du rapport de force entre le type de roches (formations plus ou moins meubles) et le contexte bioclimatique qui induit des processus pouvant libérer des particules puis les mobiliser. La production de débris mobilisables est complexe et variée.

Les processus peuvent être d'ordre mécanique (induits par des variations de température ou par la variation des teneurs en eau de la roche) ou d'ordre physico-chimique (altérations des roches).

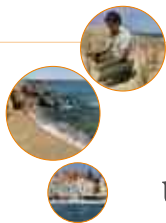
On distingue divers modes de déplacement des sédiments : les mouvements individuels (chutes de pierres, écroulements...), les mouvements de masse (glissements de terrain et éboulements) et le ruissellement.

Les **précipitations**, dont le phénomène est renforcé sur les côtes, contribuent fortement, par écoulement ou infiltration, à faire évoluer les formes littorales.

En outre, les régions littorales se caractérisent par la fréquence et la violence du **vent**. Au-delà de son influence sur la houle, les courants de surface ou les transports d'embruns, le vent transporte également les **sables**.

Le réchauffement climatique : aujourd'hui, des interrogations sur l'ampleur exacte de l'élévation du niveau de la mer et sur le rythme qu'elle pourrait avoir dans les prochaines décennies demeurent. Néanmoins, tous les travaux s'accordent à dire qu'en relation avec le réchauffement actuel des températures atmosphériques, le niveau moyen de la mer s'élève. Cette élévation est plus rapide depuis 1990 que durant les cinquante dernières années. Le phénomène n'est pas homogène sur le territoire et il se poursuivra encore pendant plusieurs siècles, quelle que soit l'évolution mondiale d'émissions de gaz à effet de serre. L'élévation du niveau moyen des mers devrait atteindre, à l'échéance de 2100, la fourchette de 0,2 à 0,6 mètre, sous réserve de l'évolution des régions polaires, dont la fonte des glaces pourrait générer des valeurs beaucoup plus fortes.





La gestion du trait de côte, une approche responsable et durable

Les zones côtières sont des lieux de pression démographique, économique et écologique et l'érosion des côtes peut constituer un risque pour les populations et les biens. Historiquement, différentes

approches de gestion du littoral se sont succédées, qui ont montré leurs limites. La gestion intégrée de la zone côtière s'impose aujourd'hui comme une solution responsable et durable.

Le regard historique

Deux approches sont apparues successivement dans la gestion de l'érosion côtière.

La première témoignait d'une volonté de **maîtriser la nature** en fixant le trait de côte par la construction d'ouvrages de défense contre la mer : une architecture de digues, perrés, brise-lames... a ainsi émergé en bord de mer. Cette approche a montré ses limites au cours des tempêtes de la fin du XX^e siècle. L'action de ces ouvrages, souvent coûteux, modifie les dynamiques de fonctionnement du milieu et aggrave très souvent à terme l'érosion côtière. En France, on trouve des ouvrages côtiers sur près de 20 % du littoral. Malgré ces défenses, près du quart du linéaire côtier s'érode.

Depuis les années 1990, l'**approche environnementale** propose de gérer non plus les effets mais les causes de l'érosion. De nouveaux modes d'intervention sont proposés

comme le rechargement ou le drainage de plage, l'accompagnement de la mobilité des dunes...

Récemment, une troisième approche, complémentaire à la précédente, est apparue : **la gestion intégrée des zones côtières**. Cette dernière considère que les politiques en faveur de la protection du littoral doivent répondre tout autant aux enjeux de protection des espaces urbains ou industriels, des ports et des lieux touristiques, qu'à ceux des espaces à haute valeur patrimoniale, en intégrant leur évolution et les probables impacts du changement climatique. La prise en compte globale des paramètres humains, économiques, urbanistiques et environnementaux devient ainsi un gage de réussite des politiques publiques en faveur du littoral.

La gestion intégrée des zones côtières se différencie par ailleurs des précédentes

approches par le fait qu'elle propose des modes de gouvernance et de gestion de l'érosion qui combinent davantage

les expériences passées de défense systématique contre la mer et les enjeux environnementaux.



Réparation d'une clôture protégeant le cordon dunaire à Erdeven, dans le Morbihan (56).

La gestion du trait de côte, une conduite de projet au service des hommes, de l'économie et de la nature

Les expériences françaises de gestion du trait de côte ont permis de tester des outils d'aide à la décision pour la conduite de projet, jugés aujourd'hui les plus efficaces pour répondre à un risque d'érosion ou de submersion du littoral. Ces outils sont détaillés dans le livre *La gestion du trait de côte*.

Les principes en matière de gouvernance

L'expression des motivations, des enjeux, du contexte, des attentes et des objectifs est un préalable important. L'étude ou la réalisation

d'un aménagement s'insère en effet dans un environnement complexe ; il est impératif que les parties prenantes (État, collectivités locales, associations, aménageurs...) soient présentes tout au long du projet.

La gestion intégrée des zones côtières (GIZC) doit être mise en œuvre dans le cadre d'un projet global : organisation d'une concertation entre les acteurs pour identifier les enjeux dominants, identification d'un périmètre pertinent, définition des objectifs et des priorités, réflexion sur le choix de la structure la plus adaptée pour porter le projet, financements, information autour du projet.

L'analyse des enjeux et des stratégies possibles de gestion du trait de côte nécessite la caractérisation de l'aléa érosion et l'évaluation de la vulnérabilité des secteurs concernés. Des mesures de réduction de la vulnérabilité peuvent être envisagées (surveillance de sites, signalisation du danger, interdiction d'accès, aménagement de constructions existantes, mesures d'urbanisme...).

L'information et la participation du public doivent constituer une des activités principales du maître d'ouvrage : étude d'impact obligatoire pour les ouvrages côtiers d'une emprise supérieure à 2 000 m², droit d'information des citoyens sur les risques majeurs auxquels ils sont confrontés et sur les mesures de sauvegarde qui les concernent, possibilité pour chaque citoyen d'émettre des appréciations et des contre-propositions aux projets.

Les responsabilités doivent être clarifiées :

- les ouvrages maritimes sont soumis à autorisation selon leur type et leurs incidences potentielles sur l'environnement ;
- en matière de maîtrise d'ouvrage de la défense contre la mer, la charge financière incombe au propriétaire riverain ou aux collectivités territoriales dans le cadre d'une déclaration d'intérêt général ;

- en matière de sécurité et d'intervention sur l'urbanisme, le maire est responsable de l'urbanisme de sa commune et de la sécurité de ses concitoyens face aux risques naturels, dont le risque de submersion ou d'éboulement.

Les principes en matière d'études

Pour faire face au risque résiduel, l'étude systématique des options de gestion du trait de côte est recommandée.

L'analyse économique en tant qu'aide à la décision est une démarche nécessaire.

L'élaboration des schémas de gestion du trait de côte, qui visent à orienter et planifier la gestion dans l'espace et dans le temps, est une autre composante de la démarche.

L'étude systématique du comportement morphodynamique des sites concernés est la condition technique indispensable à respecter.

L'identification des réserves de sédiments disponibles permet la planification et l'utilisation en tant que de besoin pour des aménagements.



Agglomération du bassin d'Arcachon, en Gironde (33).

L'Observatoire de la côte aquitaine : une collaboration réussie autour d'un projet commun

Le littoral sableux aquitain s'étend sur 230 km, limités au nord par l'embouchure de la Gironde et au sud par l'embouchure de l'Adour. Il est soumis à une forte pression démographique. L'État, la région, le BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières), l'Ifremer et l'ONF (Office national des forêts) se sont associés pour mettre en œuvre, sur l'ensemble du linéaire côtier d'Aquitaine, la première expérience française d'étude de la mobilité et de l'érosion du littoral. Deux programmes d'analyse et de suivi ont été inscrits au contrat de plan État-région.

L'Observatoire de la côte aquitaine doit permettre de rendre plus accessible à l'ensemble des décideurs les données et analyses d'évolution du trait de côte.

Premiers enseignements

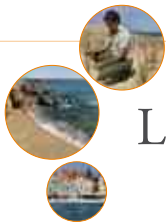
Les zones d'érosion les plus importantes laissent apparaître des reculs pouvant atteindre, sur 150 ans, entre 100 et 150 mètres.

La gestion des territoires littoraux devra s'accommoder sur le court terme de phases aléatoires de répit et d'érosion. Les changements climatiques attendus ne feront qu'accentuer ces tendances variationnelles.

La côte aquitaine est globalement peu équipée en ouvrages de défense (10 % de son linéaire) et conserve un aspect général de côte sauvage.

Le bilan montre que les ouvrages de défense sont satisfaisants quand ils sont conçus dans le cadre d'un ensemble sédimentologique cohérent.

Les défenses longitudinales sont incompatibles avec la préservation de plages balnéaires. On sait que le déficit sédimentaire est d'origine naturelle, plus ou moins aggravé par les actions humaines. On peut constater que l'accélération de l'érosion côtière (marine et géologique) est parfois provoquée par des altérations d'origine humaine (digues et ouvrages de protection inappropriés, nettoyage excessif des plages, prélèvements de matériaux sableux, accentuation de l'imperméabilisation des sols, fréquentation touristique massive non maîtrisée...).



Les stratégies de protection du littoral, les enseignements de l'expérience

Face au risque résiduel d'érosion ou de submersion marine sur le territoire concerné, quatre stratégies de gestion du trait de côte ont été identifiées grâce aux expériences menées par les collectivités locales françaises. Ces stratégies peuvent se combiner sur un même territoire.

Suivre l'évolution naturelle là où les enjeux ne justifient pas une action

Il s'agit de considérer les fluctuations de la côte comme un phénomène naturel avec lequel il faut composer plutôt que tenter de s'opposer.

Intervenir de façon limitée en accompagnant les processus naturels

Cette approche vise à une modeste intervention laissant la nature libre d'évoluer. Un contrôle souple des dunes, par exemple, s'appuiera sur la réduction de l'érosion par le vent par des couvertures de branchages, des rideaux brise-vents ou des plantations.

Le sable, retenu au plus près de la plage, permettra de ré-alimenter la plage en phase d'érosion marine.

Ce contrôle souple, rustique et peu coûteux, est bien adapté et a fait ses preuves sur les côtes non urbanisées.

Cette solution a été mise en œuvre en Gironde par l'Office national des forêts (ONF).

L'ONF gère 400 km de dunes de la côte atlantique avec pour objectif de concilier au mieux la protection de l'arrière-pays, la conservation des écosystèmes et l'accueil raisonné du public. Pour lutter contre l'érosion éolienne, l'ONF a fait une étude morphologique pour étudier les mouvements de la dune et anticiper son évolution. Cette étude a conduit à l'utilisation de couvertures de branchages, de rideaux brise-vents, de plantations...

Lancée vers la fin des années 1990, cette intervention a permis une évolution moins rapide de la dune.

Organiser le repli des constructions derrière une nouvelle ligne de défense naturelle ou aménagée

Lorsque des installations humaines, trop proches du rivage, sont soumises à un risque lié à l'érosion marine, le repli stratégique vers les terres doit être envisagé.

Le Conservatoire du littoral : au service d'une côte sauvage

Le Conservatoire de l'espace littoral et des rivages lacustres est un établissement public créé en 1975. Il n'envisage pas la construction d'ouvrages de protection lourds sur ses terrains. Dans la perspective de l'augmentation du niveau de la mer, il accompagne, par des opérations de gestion appropriées, les modifications de milieux susceptibles d'être régulièrement submergés.

Le Conservatoire du littoral s'est interrogé sur l'impact du changement climatique sur son patrimoine et sur la stratégie à adopter à l'horizon 2100. Une étude, réalisée en 2004 sous la conduite des professeurs R. Paskoff et F. Verger et de l'expert C. Clus-Auby, permet de penser qu'en 2100 l'établissement pourrait avoir perdu 1 514 hectares, soit 1 % de son patrimoine, et que les terrains submergés pourraient représenter 20 % de son patrimoine.



Plantations sur les dunes du cap Ferret, en Gironde (33), pour lutter contre l'érosion marine et éolienne.

Cela se traduit par un déplacement des infrastructures et une restauration du système littoral. En outre, lorsque des habitations sont menacées, une procédure d'expropriation pour risque naturel majeur menaçant gravement les vies humaines peut être engagée.

À titre d'exemple, un repli des populations a été opéré à **Criel-sur-Mer**. Les falaises de craie à silex très poreuse de Criel-sur-Mer, en Seine-Maritime, s'élèvent à plus de 100 mètres d'altitude. La fréquentation en pied de falaise et les habitations au sommet sont menacées par le recul du littoral : un recul estimé à 11 cm par an entre 1830 et 1966 et 19 cm de 1966 à 1995. À Criel-sur-Mer, ce recul a atteint 10 mètres entre 1995 et 1998.

L'érosion est liée à la saturation en eau de la craie, aux fractures de la roche, à la

pluie, au gel et au vent, aux courants qui entraînent éboulis et galets, aux aménagements littoraux qui interrompent le régime de transit des galets et à l'extraction industrielle des galets sur les plages, aujourd'hui arrêtée.

Les riverains, menacés par l'effondrement de la falaise, ont demandé que des mesures soient prises. En 1996, il a été décidé de s'orienter vers une procédure d'expropriation pour risque naturel majeur menaçant gravement les vies humaines.

Dans le dossier soumis à l'enquête publique, le coût des travaux de protection de la falaise est apparu supérieur à celui d'une expropriation, la solution d'un repli stratégique a donc été adoptée. Les terrains acquis ont été confiés en gestion au Conservatoire du littoral et le coût de l'opération s'est élevé à 1,1 million d'euros.



Criel-sur-Mer, en Seine-Maritime (76).



Le lido de Sète, dans l'Hérault (34).

Autre exemple, le réaménagement concerté du **lido de Sète à Marseillan**. Une charte pour la protection et l'aménagement du lido a été signée en 2003. Dans cette charte, les communes de Sète et de Marseillan s'engagent sur un projet dont les trois objectifs sont :

- apporter une réponse durable à l'érosion du trait de côte par le recul de la route ;
- mettre en valeur le lido, espace remarquable et unique ;
- mieux gérer la fréquentation touristique.

Une procédure de concertation a été organisée en 2005 sous la responsabilité de la communauté d'agglomérations du bassin de Thau, maître d'ouvrage de l'opération.

Trois réunions publiques et trois expositions avec registre de recueil de l'avis du public ont été organisées. L'étude d'impact et les

dossiers d'études étaient mis à la disposition du public dans les deux mairies. Un site internet a été dédié au projet.

Suite à cette procédure, il a été décidé de mettre en œuvre une démarche de recul stratégique et de restauration du système littoral : recul de la route, restauration de la plage et rechargement massif en sable...

Maintenir le trait de côte

Le maintien du trait de côte par des méthodes douces telles que des opérations de rechargement de plage, des systèmes de drainage et de stabilisation des falaises est parfois envisagé lorsque des enjeux touristiques ou immobiliers entrent en considération.

Châtelailon-Plage, en Charente-Maritime, est un exemple de rechargement de plage. Des ouvrages lourds (digues, enrochements et épis) érigés pour protéger la station avaient aggravé les processus d'érosion de la plage. Cette dernière avait quasiment disparu de la station balnéaire qui n'était plus fréquentée que par environ 4 000 visiteurs par an.

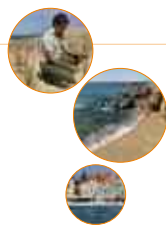
En 1989, la municipalité décide d'engager une vaste opération de rechargement de la plage en sable. Au total, 500 000 m³ ont

été dragués des fonds marins proches et répartis sur 1 800 mètres de long. Cette opération de 5 millions d'euros, financée par la commune, le conseil général, l'État et les fonds européens, a permis de redynamiser l'économie locale avec une fréquentation touristique de 44 000 visiteurs en 2000. Le rechargement en sable nécessite un entretien régulier (ici de l'ordre de 50 000 euros annuels) ; en effet, le sable, mobile, tend à repartir en mer à une vitesse incertaine liée à la fréquence des tempêtes.



*Restauration de la plage
de Biscarosse, dans les Landes (40)
après la tempête de janvier 2009.*

La mise en œuvre technique des stratégies, l'art de choisir les bons outils d'aide à la décision



La mise en œuvre de toute solution de gestion du trait de côte doit être accompagnée par des études permettant d'évaluer la pertinence d'un aménagement et son impact sur l'environnement. Le recueil des données

in situ est une phase importante pour apprécier la dynamique d'un site. Les informations recueillies, souvent insuffisantes, doivent être complétées par un travail de modélisation physique ou numérique.

Les études

Les évaluations économiques des projets d'aménagement

Ces évaluations sont nécessaires. Une composante d'évaluation économique consiste à identifier les fonctions et les services rendus par les écosystèmes littoraux et évaluer les effets liés à l'érosion, qu'elles soient marchandes ou non, positives ou négatives. Ces données doivent être intégrées aux dépenses liées à l'aménagement afin d'avoir une estimation du taux de rentabilité économique de l'aménagement.

Les études préliminaires

Les études préliminaires ont pour finalité de fournir une synthèse régionale sur la connaissance du secteur et la détection des zones vulnérables, de proposer un

diagnostic à une échelle locale et d'indiquer la faisabilité technique et économique des solutions envisagées.

Une visite de terrain permet un examen du site et de mieux cerner les attentes vis-à-vis de l'étude et des solutions de protection.

La collecte des données, qui doit être menée dans un premier temps à l'échelle régionale, doit porter sur :

- l'hydrométéorologie ;
- les caractéristiques des sédiments ;
- les aménagements influençant la dynamique sédimentaire ;
- la morphologie des fonds sous-marins, le transport sédimentaire, le transport éolien...

Ces informations sont accessibles via des bases de données générales ou spécifiques, les sources d'information étant très diverses.

Partant de ce diagnostic sommaire, une ébauche de mesures et d'aménagements à réaliser est élaborée. La dernière phase de l'étude préliminaire consiste à bâtir le programme général des études détaillées (objectifs, données à acquérir, moyens à mettre en œuvre).

L'étude technique

L'étude sur documents ou expertise, dite étude sur plan, est un préalable incontournable. Elle doit porter sur la description des phénomènes au niveau régional pour donner une vue d'ensemble de l'environnement naturel et du contexte du projet. Ensuite, l'analyse détaillée des mécanismes hydro-sédimentaires conduira au diagnostic des

dysfonctionnements et permettra l'ébauche de solutions. Si le sujet est complexe, elle permettra de localiser les secteurs critiques et d'identifier les manques en matière de connaissance.

Alors que les méthodes traditionnelles de gestion du littoral consistaient le plus souvent à implanter des ouvrages massifs, priorité étant donnée aux programmes d'investissement au détriment des programmes d'entretien, le recours à des techniques réversibles, voire expérimentales, modifie complètement le rôle du suivi en le rendant partie intégrante de la solution. Il est donc indispensable d'intégrer la définition du suivi dans la présentation de la solution à l'issue de l'étude technique.

Les outils de suivi

Les approches géographique et géomorphologique du littoral

Les approches physiques du littoral se basent sur trois principales sources d'information :

- l'inventaire des données disponibles. À titre d'exemple, le projet Euroérosion avait pour objectif de réaliser une base de données sur les 22 pays côtiers de l'Union européenne, sur l'érosion des côtes et sa gestion. De nombreuses informations sont ainsi géoréférencées : limites terrestres, limites maritimes, trait de côte, présence ou non d'ouvrages de défense côtière, hydrodynamique,

hydrographie, infrastructures, zones naturelles... ;

- les méthodes d'analyse géographique, de suivi et de mesures (photo-interprétation, topographie, transport éolien...). À titre d'exemple, un suivi photographique dans le cadre du schéma de gestion de Cap l'Orient (56) a été mis en place pour observer l'évolution du trait de côte selon la méthode développée par l'Observatoire photographique du paysage : prises de vue selon le même angle à échéance régulière ;
- les outils de suivi décrits dans des ouvrages spécialisés.



Novembre 2004



Février 2005



Novembre 2005

Les approches numérique et physique du littoral

Quel que soit le type de modèle, la simulation repose sur une schématisation des conditions réelles au niveau des mécanismes, de la géométrie des fonds, de la variabilité des paramètres, des facteurs (houle, courants...) et de la chronologie des événements.

Ces approches permettent d'anticiper certains phénomènes naturels au cours du temps et ainsi d'adapter les techniques pour une gestion durable.

La modélisation numérique

Très sommairement, la modélisation numérique repose sur la mise en équations des processus impliqués puis sur la résolution de ces équations.

Anse de Kerguelen dans le Morbihan (56).

Novembre 2004 : à la suite de la tempête d'octobre 2004, amaigrissement de la plage et effondrement du mur.

Février 2005 : réengraissement progressif.

Novembre 2005 : travaux pour enlever les vestiges du mur et recharger la plage avec du sable de Kaolin.

La simulation des courants est maintenant parfaitement accessible à la modélisation numérique. La simulation de la houle a fait de grandes avancées ces dernières années. Des progrès récents ont été réalisés en matière de dynamique sédimentaire grâce aux efforts de recherche et à l'essor de la puissance de calcul. En revanche, le transport de sédiments sous l'action de la houle reste difficile à modéliser.

La modélisation physique

L'origine du modèle réduit est très ancienne. Déjà vers l'an 1500, Léonard de Vinci l'utilisait pour la caractérisation de différents types d'écoulement. La technique, basée sur les règles de similitude, est parfaitement rodée et précise pour les écoulements hydrauliques à surface libre, moyennant certaines conditions.

L'utilisation de matériaux mobiles pour simuler sur maquette le mouvement des sédiments en nature est plus récente, le premier modèle de ce genre fut réalisé par le français Louis Fargue, en 1875.

Si les règles de similitude des écoulements sont partagées, il n'en va pas de même concernant les règles de transport de sédiments et différentes écoles se sont développées.

Modélisation numérique ou modélisation physique, chaque méthode a ses avantages

et ses inconvénients, le choix sera fonction du degré de précision et de rapidité requis, de l'état de l'art de chaque type de modèle et du poids à accorder, selon les caractéristiques de l'étude, aux différents avantages et inconvénients inhérents aux deux techniques.

De fait, le modèle numérique s'avère bien adapté aux études d'avant-projet et à celles où les processus physiques en jeu sont simples et bien cernés. A contrario, le modèle physique sera d'autant plus approprié que les processus à simuler sont complexes et relativement méconnus.

Les techniques de défense contre la mer et leurs limites _____

Les méthodes souples

Elles consistent à composer avec le milieu naturel.

Le rechargement de plage

Il a pour objectif de compenser le déséquilibre du littoral résultant d'une érosion naturelle ou d'une action humaine. Sa finalité peut être touristique, en permettant d'élargir la plage, mais aussi sécuritaire, en créant une zone intermédiaire qui joue un rôle protecteur en cas de tempête. Cette méthode demande une planification et un suivi à long terme. Le rechargement de plage n'a pas pour but de stopper le phénomène d'érosion, mais il permet de le limiter et d'agir sur ses effets.

La gestion souple des dunes

Les dunes sont des accumulations sableuses littorales. Ces espaces, mobiles par nature, sont fragilisés par des pressions multiples.

Les actions de stabilisation ne doivent pas fixer les dunes mais assurer une gestion souple. Le principe de base du contrôle de la mobilité des dunes est la modération de l'érosion éolienne par réduction de la vitesse du vent.

Le contrôle de la mobilité des dunes (par plantations végétales, rideaux brise-vent, canalisation de la fréquentation...) est une mesure de protection durable qui augmente la capacité naturelle de résistance de la plage. La dune protège contre les attaques des vagues et préserve le caractère naturel du littoral.

La reconstitution des dunes

La reconstitution naturelle d'une dune est un phénomène très long. Dans la plupart des cas, les dunes disparues nécessitent d'être reconstituées avec du sable fin. Les reconstitutions dunaires ont généralement des résultats très positifs.



Canalisation de la fréquentation pour l'accès à la plage de La Pointe aux Oies, sur la commune de Wimereux dans le Pas-de-Calais (62).

Les systèmes de drainage de plage

Le système de drainage de plage est une technique de protection récente. Il est constitué de drains horizontaux enterrés à un niveau choisi en fonction des conditions du site, de l'ordre du mètre sous la surface, et placés parallèlement au trait de côte. Ces drains sont connectés à une station de pompage qui recueille et évacue l'eau vers le bas estran. Ce système permet d'abaisser le niveau de la nappe d'eau sous la surface de l'estran dans la zone d'infiltration. Des dépôts naturels de sable vont se former, agrandissant la plage émergée.

Ce système n'est pas adapté pour les plages présentant d'importants mouvements de l'estran, il peut être endommagé en cas de tempête. Le système ne produisant pas de sable, l'intérêt serait d'y associer un rechargement de plage.

La technique a été expérimentée en France sur les plages des Sables-d'Olonne en Vendée (85), de Villers-sur-Mer dans le Calvados (14) et de Saint-Raphaël dans le Var (83).

Le « by-passing » ou le rétablissement du transit littoral

Le « by-passing » est le transfert artificiel de sédiments leur permettant de franchir un obstacle tel qu'un ouvrage. La méthode mécanique consiste en la manipulation des sédiments par bulldozers et camions. La méthode hydraulique prévoit le transport du sable au moyen d'une pompe, éventuellement orientée par une grue mobile. Les coûts sont relativement importants.

Une bonne compréhension de la dynamique sédimentaire du site est primordiale avant de mettre en place un « by-passing ».



Digue à Boulogne-sur-Mer, dans le Pas-de-Calais (62).

Les méthodes rigides

Ces méthodes consistent à mettre en place des structures solides dont l'action est de maintenir le trait de côte.

Les ouvrages longitudinaux

Ces ouvrages sont disposés le long du trait de côte, le plus souvent en pied de dune ou de falaise, pour contrer l'érosion côtière. Le matériau de construction le plus courant est la pierre maçonnée ou l'enrochement. Les perrés et les digues peuvent être assimilés à des murs dans le sens où ces techniques fonctionnent à la manière d'une barrière face à l'action des vagues. Leur emploi massif sur le littoral tient à leur efficacité immédiate dans des cas où, en l'absence de vision prospective, on a attendu le dernier moment pour intervenir.

La mise en œuvre de ces techniques entraîne dans la majorité des cas une perte de sable au pied de l'ouvrage par la réflexion des vagues, qui nécessitera à moyen ou long terme une intervention de confortement ou d'entretien.

Il existe d'autres inconvénients :

- inefficacité quand l'érosion est due à un transport de sédiments parallèle au rivage ;
- abaissement du niveau de la plage avec une augmentation de l'érosion à proximité du haut de plage (déplacement du problème) ;
- risque de rupture brutale du mur lors de tempêtes ;
- suppression des échanges de sable entre plage et dune, échanges qui facilitent la stabilité d'ensemble du système ;
- points durs qui figent la côte ;

- irréversibilité des ouvrages ;
- difficultés de prévoir les impacts par manque de données ;
- accès moins facile aux plages.

Les ouvrages transversaux

Ces ouvrages dénommés épis, sont pleins ou ajourés et positionnés perpendiculairement au trait de côte. Ils utilisent divers matériaux, les plus courants sont les enrochements ou les pierres maçonnées même si des épis en bois sont également utilisés. Les techniques les plus récentes utilisent les géotextiles comme enveloppe pour composer des ouvrages de défense.

Les ouvrages sont noyés, émergés ou émergents. Ils forment un barrage et sont destinés à retenir les sédiments transportés par la dérive littorale.

Les épis présentent l'avantage de ralentir l'érosion d'une côte sableuse ou d'être une protection contre l'érosion des falaises par piégeage des sédiments qui préservent contre l'attaque des vagues. Les épis peuvent être localement efficaces pour stopper le déplacement des chenaux de marée. Ils réduisent l'érosion côtière et la quantité de sable à recharger localement.

Mais ils présentent également des inconvénients :

- inefficacité si l'érosion est dominée par le transport dans le profil ;
- protection uniquement locale ;
- ouvrages peu attractifs ;
- aspects environnementaux néfastes (limitation des cheminements naturels, baisse de la qualité des eaux, impact visuel...) ;
- coûts importants lors de construction en eau relativement profonde.

Les brise-lames

Les brise-lames sont des ouvrages massifs de piégeage de sédiments. Ils se distinguent des épis par leur orientation parallèle au rivage et par le fait qu'ils sont détachés de la côte.

Les brise-lames permettent d'atténuer l'énergie de la houle et de réduire le transport sédimentaire. Ils protègent les côtes sableuses par accumulation de sédiments.

Ils présentent en revanche certains inconvénients :

- augmentation de l'érosion en aval ;
- dérive en cas de transport littoral significatif ;
- protection uniquement locale ;
- ouvrages pouvant être endommagés et donc nécessitant un entretien important ;
- coûts importants lors de construction en eau relativement profonde.

Les structures en géotextiles

Ces structures, réalisées à partir de bandes de géotextile en fibre de polyester tissé cousues entre elles et injectées hydrauliquement de sable, permettent de composer avec les conditions naturelles de manière plus souple que ne le font des ouvrages minéraux. Ces structures sont continues, souples et perméables et s'adaptent aux tassements éventuels.

Elles présentent l'avantage d'être de construction simple, de permettre une grande variété d'utilisation en ménageant la sécurité des usagers, d'utiliser éventuellement les matériaux du site et d'être réversibles.

Néanmoins, le retour d'expérience est encore limité, la stabilité est faible sur les fonds en pente en cas de forte houle et une

surveillance très régulière est impérative pour ajuster le fonctionnement et pallier les défauts.

Les méthodes combinées

Ces méthodes sont de plus en plus fréquemment utilisées. Elles combinent méthodes souples et méthodes rigides.

Par exemple, deux types d'action peuvent être envisagées pour la stabilisation des falaises : la protection du pied de falaise contre les actions marines et la stabilisation de la falaise contre les actions continentales.

La protection du pied de falaise contre l'action des vagues peut être assurée par des ouvrages tels que digues, murs de défense ou cordons d'enrochements. Ces dispositifs présentent néanmoins l'inconvénient de stopper les apports dus au recul des falaises, aggravant ainsi le déficit sédimentaire en aval dans le sens de la dérive littorale.

Le reprofilage de la falaise par des terrassements suppose une bonne connaissance de la structure géologique de la falaise et des conditions d'infiltration de l'eau.

Le drainage de la falaise par pompage des eaux de ruissellement et d'infiltration peut contribuer à la stabilisation des falaises sujettes au glissement des couches supérieures constituées de matériaux meubles.

La technique d'ancrage par la mise en place de tirants, de boulons ou de barres permet d'augmenter la stabilité de la falaise même si elle n'empêche pas l'attaque des vagues au pied de la falaise.

La protection contre l'érosion de surface par la préservation de la couverture végétale de la falaise, principalement en partie sommitale, ou par la mise en place de matériaux protecteurs (fibre, jute...) permettent de freiner la vitesse du ruissellement des eaux pluviales et de favoriser l'accumulation de matériaux fins.



Pose de géotextiles pour limiter l'érosion à Quiberon, dans le Morbihan (56).

Vers une gestion dynamique

Le littoral est en constante évolution à toutes les échelles spatiales et temporelles. La gestion du trait de côte pour la protection contre l'érosion ou les submersions marines doit prendre en compte cette variabilité. La solution retenue aura une durée de vie limitée qui dépendra de ses caractéristiques propres et des évolutions de l'environnement à l'échelle globale (changement climatique) ou à l'échelle locale (aménagements, fréquentation...).

La gestion dynamique du trait de côte doit s'inscrire dans une démarche continue entre observations et actions.

Tout projet de gestion dynamique de l'érosion présente au moins un des trois critères suivant :

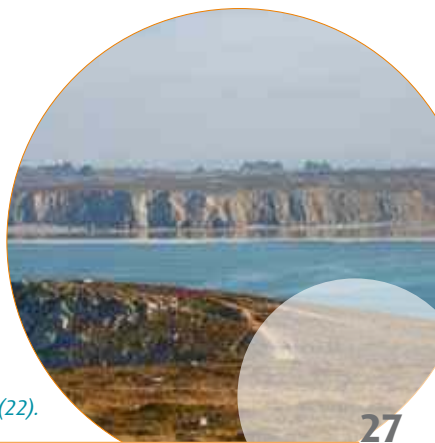
- il met en œuvre une démarche itérative d'expérimentation et d'ajustement ;
- il prévoit un suivi fin des impacts sur le fonctionnement naturel du site ;
- il organise un suivi pour la surveillance des ouvrages ou des travaux pour planifier les interventions ultérieures.

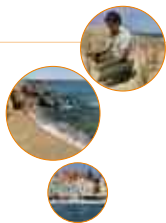
Pour gérer de façon dynamique un littoral, il convient de renoncer à l'idée de réaliser un aménagement définitif mais au contraire d'intégrer un cycle alternant des phases d'observation, de prise de décision et d'action.

Comment s'y prendre ?

- Déterminer les paramètres à mesurer et la fréquence du suivi.
- Choisir la méthode de suivi en prenant en compte la précision et la fréquence recherchée, la nature du site et le budget.
- Analyser et exploiter les données collectées.
- Utiliser des formats standards et des bases de données pour diffuser gratuitement les résultats moyennant un retour critique.
- Prévoir un suivi sur le long terme car les phénomènes littoraux n'évoluent pas régulièrement. Une durée raisonnable pour l'estimation de l'érosion est généralement supérieure à dix ans.
- Inscrire les financements pour les travaux et le suivi dans la durée.

Cette démarche, alternant évaluation et réalisation, permet de présenter aux partenaires financiers et aux usagers des bilans réguliers et leur garantit une bonne réactivité aux changements des aléas ou des enjeux qui pourraient intervenir.





Une stratégie nationale de gestion du trait de côte



La passe de l'Hermitage, à l'île de La Réunion (974).

La politique de gestion du trait de côte a profondément évolué au cours des dernières années, passant d'une vision contrainte à une démarche plus environnementale, privilégiant l'anticipation, des interventions de défense contre la mer plus douces et une meilleure connaissance des systèmes naturels.

Cette démarche est fortement encouragée dans le cadre des conclusions du Grenelle de la Mer. Dans la perspective d'améliorer la connaissance du trait de côte, le Grenelle propose la mise en place d'un outil de suivi de l'évolution du trait de côte à l'échelle nationale, qui permettra de coordonner et de rendre cohérents entre eux les différents outils existants.

Par ailleurs, la définition d'une stratégie nationale de gestion du trait de côte est proposée. Un éclairage particulier devra être porté sur la situation en outre-mer. Le livre *La gestion du trait de côte* doit permettre d'alimenter ce travail d'orientations stratégiques qui devra associer tous les acteurs concernés : État, collectivités locales, propriétaires riverains, associations de protection de l'environnement...

Enfin, le Grenelle de la Mer recommande d'approfondir une option jusqu'à présent peu mise en œuvre en France, c'est-à-dire l'organisation du recul stratégique des activités implantées en bordure de rivage.

Liens utiles

- www.ifen.fr
- www.prim.net
- www.coastalwight.gov.uk
- www.ipcc.ch
- www.eurosion.org
- www.defra.gov.uk
- www.debatpublic.fr
- www.cetmef.equipement.gouv.fr
- www.ladocumentationfrancaise.fr
- www.interreg-messina.org
- www.cg50.fr
- www.geog.sussex.ac.uk
- www.languedoc-roussillon.pref.gouv.fr
- www.shom.fr
- www.ifremer.fr
- www.previmer.org
- www.bosco.tm.fr
- www.veritechinc.net
- www.dhigroup.com
- www.telemacsystem.com
- www.dhisoftware.com
- www.deltares.nl/
- www.nck-web.org
- <http://littoral.aquitaine.fr>
- <http://conservatoire-du-littoral.fr>



Plage de Lacanau, en Gironde (33).

Notes



Édition novembre 2009

Conception graphique et réalisation : MEEDDM/Aina Collin.

Photos/couverture : F. Simien (littoral camarguais aux Saintes-Maries-de-la-Mer) ;
MEEDDM/L. Mignaux (dunes végétalisées à Lège-Cap Ferret, presqu'île de Quiberon, Côte d'Opale à Wimereux).

Photos/intérieur : p.2 (côte landaise), 5, 7, 9, 11, 12, 15, 18, 23, 24, 26, 27 : MEEDDM/L. Mignaux ; p.4 : MEEDDM/T. Degen (Saint-Denis d'Oléron) ;
p.16 : S. Costa/Université de Caen ; p.17 : A. Ceccaroli/Conservatoire du littoral ; p.21 : E. Le Cornec/Géos AEL ; p.28 : L. Gardes ;
p.31 : MEEDDM/P. Marais (falaises de Bonifacio).

Retrouvez l'étude complète dans le livre
La gestion du trait de côte.

Après une description des phénomènes côtiers fondée sur les connaissances scientifiques les plus récentes, ce livre propose d'accompagner les démarches de réflexion, de décision et d'action en matière de gestion du trait de côte, puis fait un tour d'horizon des solutions et des possibilités techniques pouvant être mises en œuvre.

Vous pouvez commander ce livre en ligne sur www.quae.com ou par correspondance à :

Éditions Quae, c/o Inra, RD 10, 78026 Versailles cedex, France
Tél. : +33 1 30 83 34 06 – Fax : +33 1 30 83 34 49
serviceclients@quae.fr

