



Document proposé par :



2023

Guide méthodologique de gestion des risques littoraux en Finistère

Sturlevr metodologel evit merañ an aod e Penn-ar-Bed

Volet 3 : techniques de gestion des risques littoraux - présentation et retours d'expérience

ÉDITORIAL

Le littoral du Finistère est un pôle d'attraction pour une grande partie de la population qui y voit un lieu de repos et de loisirs. Ce souhait de « vivre en bord de mer » est largement comblé par les paysages grandioses et la nature généreuse. Néanmoins, au plaisir de vivre à proximité de l'eau, se conjugue la rudesse des éléments : tempêtes, submersions et évolutions du trait de côte qui tendent à réduire inexorablement les espaces disponibles pour les activités balnéaires.

Le phénomène s'accroîtra encore avec les conséquences du changement climatique dont un des corollaires est la montée du niveau marin.

Pendant de longues années, les protections en « dur » ont été le moyen de lutter contre la submersion marine et le recul du trait de côte. Le sentiment de sécurité que peut créer ces ouvrages est immédiat. Cependant l'expérience a montré que ces protections pouvaient également engendrer des effets de reculs importants sur les extrémités de ces ouvrages et limiter la capacité du trait de côte à se régénérer.

De plus, les coûts d'investissements à la construction et d'entretien de ces ouvrages peuvent peser lourdement sur les finances des collectivités.

Différentes expérimentations ont été menées, dès les années 2000, dans le cadre de la stratégie nationale de gestion du trait de côte, pour ne plus « lutter contre » mais « vivre avec ». Elles ont permis de nourrir les termes de la loi dite « Climat et Résilience », promulguée le 21 août 2021. Cette loi a pour ambition d'inciter les territoires littoraux à adapter leur politique d'aménagement à l'érosion côtière et d'intégrer l'accélération de celle-ci pour les décennies prochaines.

Afin d'accompagner les collectivités dans ce travail, les services de l'État du département coopèrent avec le partenariat Litto'Risques (Conseil départemental du Finistère, UBO et CEREMA) qui met à disposition, ses compétences et un accompagnement personnalisé, pour faire aboutir les démarches de réflexion sur la bande côtière, l'observation et les actions d'amélioration du fonctionnement des dynamiques littorales.

Initié par les services de l'État, mais fruit de cette coopération, ce guide, a pour but de mettre à disposition la connaissance acquise depuis de longues années sur les mesures de protection qui peuvent être réalisées sur le trait de côte. Il s'attache à recenser les techniques existantes, à classer celles-ci en fonction du but poursuivi et en décrit les effets. Par des exemples concrets, il détermine aussi si l'objectif initial de création a vraiment été tenu et comment les autorités en charge de ces ouvrages ont fait évoluer le dispositif au cours du temps.

Ce guide est destiné en première intention, aux agents des services de l'État qui ont en charge les politiques publiques de gestion intégrée du trait de côte et les instructions d'autorisations administratives. Néanmoins, les collectivités locales et bureaux d'études y trouveront également un panel intéressant de méthodes et pourront ainsi étendre leur réflexion à d'autres choix de gestion.

Alain ESPINASSE

Préfet du Finistère



ÉDITORIAL

Depuis de nombreuses années, les rapports du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) alertent la population et les décideurs sur le changement climatique et ses répercussions. Parmi ces conséquences, la montée du niveau marin, qui pourrait atteindre un mètre en 2100, va constituer un enjeu majeur de politique publique pour les collectivités littorales.

Les effets du changement climatique risquent non seulement d'accélérer l'érosion des côtes sableuses et des falaises meubles mais risquent également d'accroître la survenue d'évènements de submersions marines extrêmes.

Afin de permettre aux collectivités littorales finistériennes d'anticiper, dès aujourd'hui et sur le long terme, cette problématique, le Conseil départemental du Finistère a souhaité développer un appui des collectivités à la gestion durable des problématiques d'érosion et de submersions côtières. Cet appui s'exerce grâce au partenariat Litto'Risques qui associe le Département, l'Université de Bretagne Occidentale (UBO) et le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema).

L'ambition du partenariat Litto'Risques est de fournir aux décideurs locaux des éléments de méthode pour leur permettre de gérer durablement les risques littoraux. L'accompagnement de proximité qu'assure le partenariat à toutes les collectivités qui en font la demande est une première réponse.

En complément, l'édition d'un guide est apparue nécessaire afin de rassembler dans un ouvrage les connaissances essentielles à la compréhension des dynamiques littorales et de proposer une méthodologie efficiente pour élaborer et mettre en œuvre des solutions durables des risques littoraux.

Organisé selon un triptyque comprendre - planifier - agir, le guide méthodologique de gestion des risques littoraux est organisé en trois volets.

Un volet 1 qui apporte aux élus et gestionnaires de sites littoraux les connaissances relatives à l'évolution des littoraux ainsi qu'à la caractérisation et la gestion de ces risques.

Le volet 2 s'attache, quant à lui, à proposer une méthode pour caractériser les risques littoraux et développer une stratégie locale de gestion des risques littoraux.

Enfin le volet 3, présentera et comparera les différentes techniques de gestion des risques littoraux.

Ainsi, à l'aide des trois volets de ce guide, illustrés par des exemples finistériens, les élus et les gestionnaires littoraux disposent d'un outil précieux pour planifier et mettre en œuvre une gestion durable des risques littoraux et l'aménagement d'une frange littorale préservée et sûre.

Maël DE CALAN

Président du Conseil départemental du Finistère



PRÉSENTATION DU PARTENARIAT LITTO'RISQUES

Le guide méthodologique de gestion des risques littoraux en Finistère constitue le fruit d'un travail collectif du partenariat Litto'Risques qui regroupe le Conseil départemental du Finistère, l'Université de Bretagne Occidentale, et le Cerema.

Créé en 2019, à l'initiative du Conseil départemental, ce partenariat vise à accompagner les collectivités littorales finistériennes en apportant des appuis méthodologiques, scientifiques et techniques sur la gestion des risques littoraux d'érosion et de submersion.

Cet accompagnement se décline en trois missions principales :

- **l'observation du littoral finistérien** par l'animation d'un observatoire départemental intitulé « OSIRISC-Litto'Risques en Finistère ». Cet observatoire s'appuie sur la démarche OSIRISC d'approche globale de la vulnérabilité des territoires côtiers. Cette approche, fondée sur l'amélioration de la connaissance des risques côtiers (qui croisent aléas et enjeux), intègre également, à l'échelle d'un territoire, les choix de gestion publique et les représentations sociales du risque. Le suivi dans le temps de ces quatre composantes permet de proposer aux collectivités littorales un itinéraire de réduction de leur vulnérabilité aux risques côtiers ;
- **l'accompagnement technique des collectivités finistériennes** dans la réalisation de diagnostics de territoires ou d'études permettant de définir une stratégie de gestion durable du trait de côte ;
- **la sensibilisation des Finistériens** sur les enjeux départementaux liés aux risques côtiers.

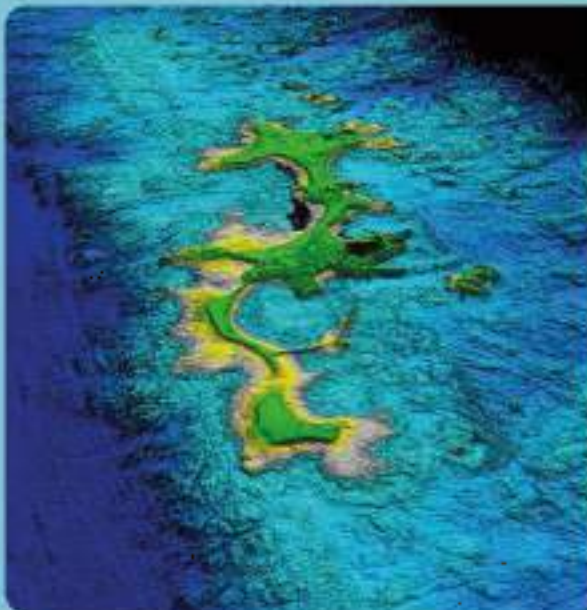
Solliciter le partenariat :

Toute collectivité peut être accompagnée par le partenariat en contactant le Conseil départemental du Finistère (vincent.ducros@finistere.fr / 02.98.76.24.36). Après analyse de votre demande, le partenariat évalue l'appui qu'il peut vous apporter et vous fait part de sa proposition sous 15 jours.

Toutefois, le partenariat Litto'Risques n'a pas vocation à entreprendre des missions d'assistance à maîtrise d'ouvrage auprès des collectivités qui entrent dans le champ concurrentiel.



Participants à un atelier terrain organisé par le partenariat Litto'Risques
Plage de Boutrouilles | Kerlouan



Observation

- **Observation locale des risques littoraux** : définition des protocoles, prêt de matériel, appui aux levés, exploitation des données.
- **Formation aux techniques de suivi du trait de côte et à l'exploitation des données** : DGPS, photogrammétrie, analyse des résultats.
- **Réduction de la vulnérabilité d'un territoire face aux risques littoraux** : bilan via 4 composantes (aléas, enjeux, gestion, représentations), proposition d'un itinéraire de réduction de la vulnérabilité.

Accompagnement des collectivités

- **Appui technique et méthodologique dans la gestion des risques littoraux** : cahiers des charges, suivi d'études, expertise ponctuelle.
- **Apports de connaissances** : formations (élus & techniciens), ateliers, publications...
- **Animation du réseau finistérien des gestionnaires des risques littoraux** : entraide, partage d'expérience, voyages d'études.



Sensibilisation aux risques littoraux

- **Développement d'outils mutualisés** : guides, fiches techniques, films pédagogiques.
- **Appui à la mise en œuvre de suivis du trait de côte participatifs** : choix des sites, information sur les outils disponibles, retours d'expérience.
- **Participation à des conférences & événements publics** : interventions pédagogiques sur l'origine des risques littoraux, les modalités de gestion des risques.

AVANT-PROPOS

Le guide méthodologique de gestion des risques littoraux en Finistère, réalisé par le partenariat Litto'Risques, est destiné aux élus et gestionnaires des territoires littoraux qui souhaitent définir et mettre en œuvre une stratégie de gestion durable de leur « trait de côte ». Le terme « trait de côte » faisant référence à la bande côtière soumise aux évolutions de la ligne de rivage susceptible de soumettre des enjeux à l'érosion littorale et à la submersion marine.

Il comporte trois volets :

- le volet 1 présente le littoral finistérien, de sa mise en place préalable et des types de côte présents aux principes généraux et processus commandant son fonctionnement actuel ;
- le volet 2 porte sur les modes possibles de gestion des risques littoraux et propose une méthodologie permettant la définition de stratégies à court, moyen ou longs termes, de gestion durable et d'adaptation aux changements à venir. Il s'appuie largement sur les principes de fonctionnement des littoraux décrits dans le premier volet ;
- le volet 3, objet de la présente édition, est une commande spécifique de la Direction Départementale des Territoires et de la Mer du Finistère qui vient compléter utilement les deux premiers. Il est axé sur les solutions techniques de gestion des évolutions des formes littorales qui se traduisent par des dynamiques régressives du trait de côte, et exposent, dans nombre de cas, à l'érosion et la submersion, des enjeux implantés dans la bande côtière. Ce volet tente ainsi de répondre aux interrogations d'élus et gestionnaires du littoral confrontés à la nécessité de définir les moyens permettant de gérer localement le trait de côte et de choisir entre plusieurs options de solutions techniques. Il s'agit d'apporter des arguments de discussion et de tenter d'éclairer les choix en rassemblant les connaissances issues de l'utilisation de techniques courantes, mises en œuvre de longue date sur les rivages, tout en considérant également les possibilités offertes par les techniques plus récemment expérimentées.



Le volet 3 du guide est composé de trois parties :

- la première partie recense, à l'échelle du département du Finistère, les **principales solutions techniques couramment employées**. Ces solutions sont classifiées en diverses catégories et nomenclatures qui ont été définies selon :
 - le type de côte sur lequel elles peuvent être implantées ainsi que leur position sur la côte,
 - les objectifs qu'on leur assigne,
 - les autorisations et démarches administratives nécessaires préalablement à leur mise en œuvre sur le littoral ;
- la deuxième partie est constituée d'**exemples de solutions mises en œuvre dans le Finistère** et parfois dans d'autres départements. Ces solutions techniques sont présentées par types, dimensions, méthodes de construction, matériaux, date ou époque de réalisation..., ce qui permet de les comparer. Ces exemples présentent les retours d'expérience de leur utilisation locale : d'une part, pour chacune d'elles, les effets recherchés initialement par le maître d'ouvrage et les résultats positifs et/ou négatifs obtenus sont synthétisés ; d'autre part, leurs effets sur la (ou les) cellule(s) hydrosédimentaire(s) concernée(s), le milieu ou encore les secteurs connexes sont identifiés lorsque l'information est disponible. Enfin, le cas échéant, les coûts d'investissements et de leur entretien, voire de leur reconstruction sont proposés ;
- la troisième partie s'intéresse aux **solutions techniques nouvellement introduites**. Un descriptif des principes théoriques ou pratiques sur lesquels ces techniques sont fondées est présenté pour chacune d'entre elles. Les expérimentations réalisées, le cas échéant, font l'objet d'une analyse détaillée. Enfin, leur classification selon les trois critères décrits précédemment pour les solutions techniques usuelles est proposée.



ABRÉVIATIONS

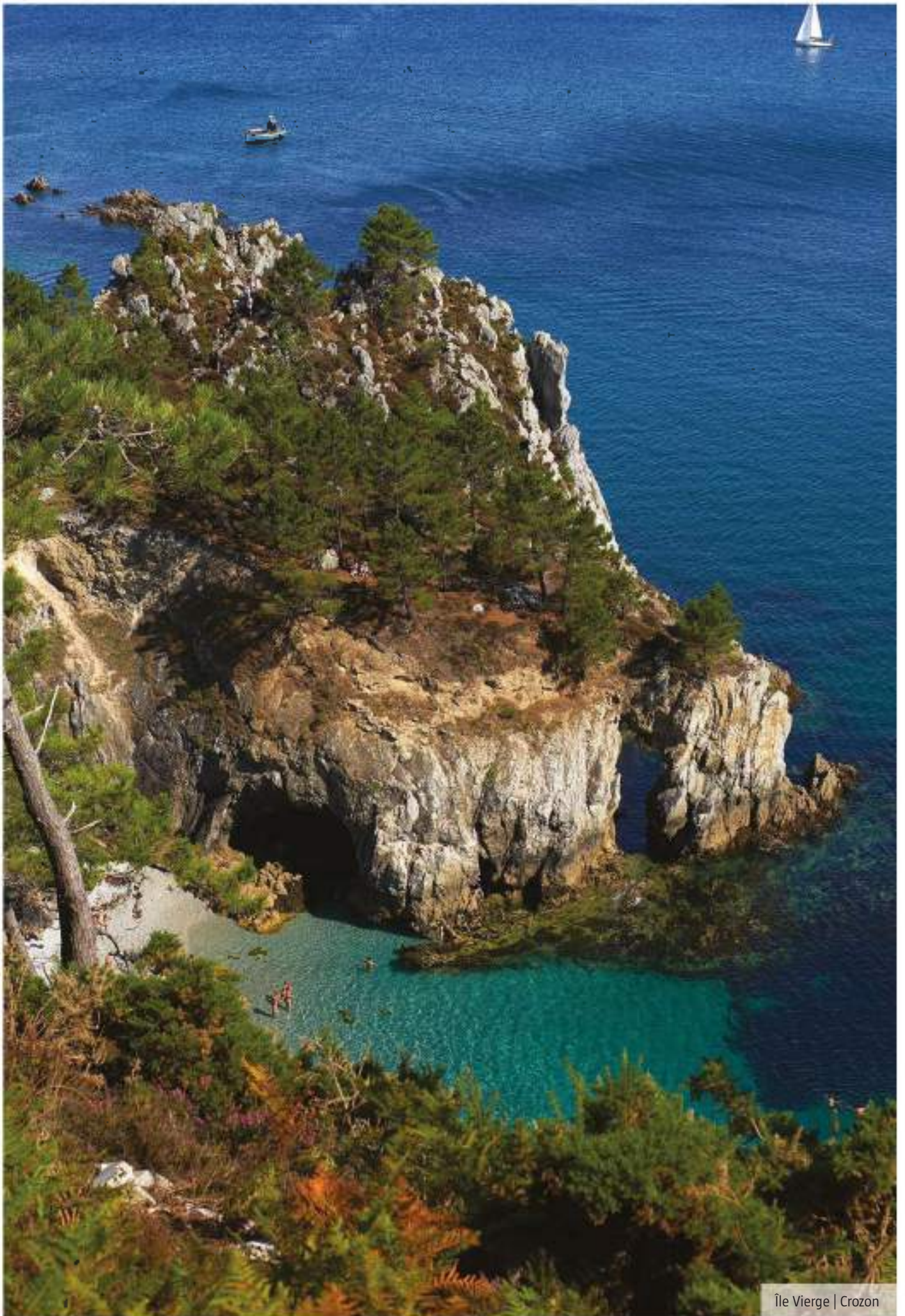
AMI	Appel à manifestation d'intérêt
CD29	Conseil départemental du Finistère
Cerema	Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
DDTM	Direction départementale des territoires et de la mer
DREAL	Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement
ENS	Espace naturel sensible
EPCI	Établissement public de coopération intercommunale
EPRI	Évaluation préliminaire des risques d'inondation
Gemapi	Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GR	Grande randonnée
PAPI	Programme d'actions de prévention des inondations
PGRI	Plan de gestion des risques d'inondation
PLU	Plan local d'urbanisme
PLU(i)	Plan local d'urbanisme intercommunal
PPRL	Plan de prévention des risques littoraux
Shom	Service hydrographique et océanographique de la Marine
SLGRI	Stratégie locale de gestion du risque d'inondation
SNGRI	Stratégie nationale de gestion du risque d'inondation
TRI	Territoires à risques importants d'inondation
UBO	Université de Bretagne Occidentale



Digue du port | Penmarc'h

SOMMAIRE

1 Techniques de gestion des risques littoraux	12
1.1. Introduction.....	14
1.2. Contexte de la gestion du littoral.....	16
1.3. Les différents types de côtes.....	18
1.4. Objectifs, positionnement sur le littoral et réglementations préalables.....	20
1.5. Procédures réglementaires.....	28
1.6. Bilan des solutions techniques employées pour la gestion des évolutions du littoral dans le Finistère.....	32
1.7. Engager une stratégie de gestion à long terme des risques littoraux.....	42
2 Techniques courantes de gestion des risques littoraux	47
Fiche 1 - Ouvrages longitudinaux de haut de plage.....	56
Fiche 2 - Ouvrages transversaux.....	76
Fiche 3 - Ouvrages longitudinaux de bas de plage et d'avant-plage.....	94
Fiche 4 - Ouvrages de soutènement.....	102
Fiche 5 - Ouvrages de stabilisation des falaises.....	110
Fiche 6 - Drainage de versants de falaise.....	116
Fiche 7 - Reprofilage de falaises.....	118
Fiche 8 - Confortement dunaire.....	124
Fiche 9 - Rechargement sédimentaire.....	134
Fiche 10 - Pieux hydrauliques.....	146
Fiche 11 - Drainage de plage.....	156
Fiche 12 - Canalisation de la fréquentation.....	162
Fiche 13 - Brise-vent, piégeage et maintien des sédiments.....	172
3 Techniques expérimentales ou innovantes de gestion des risques littoraux	178
Fiche 14 - Dignes amovibles contre les submersions marines.....	180
Fiche 15 - Dispositifs expérimentaux atténuateurs de houles et de courants.....	184
Fiche 16 - Dispositifs de protection et de régénération dunaire.....	190
Fiche 17 - Agrégat naturel issu de processus électrochimiques.....	196
Fiche 18 - Dépose d'ouvrages : désenrochement.....	200
Glossaire	204



Île Vierge | Crozon



Techniques de gestion des risques littoraux



1.1. Introduction

1.2. Contexte de la gestion du littoral

1.3. Les différents types de côtes

1.4. Objectifs, positionnement sur le littoral et réglementations préalables

1.5. Procédures réglementaires

1.6. Bilan des solutions techniques employées pour la gestion des évolutions du littoral dans le Finistère

1.7. Engager une stratégie de gestion à long terme des risques littoraux



1.1. Introduction

La « gestion des risques littoraux » est entendue ici comme l'ensemble des techniques, ouvrages et aménagements, entrepris sur le littoral (c'est-à-dire, sur le trait de côte, mais aussi sur la zone intertidale, l'avant-plage ou encore l'arrière-côte) dans l'objectif de contraindre plus ou moins fortement ses évolutions naturelles, généralement lorsque celles-ci gênent ou menacent les installations anthropiques voire des vies humaines. La gestion s'applique à réduire, contraindre ou arrêter l'érosion du trait de côte et à empêcher ou diminuer les effets d'une submersion marine. Elle concerne conjointement les problèmes posés par l'accrétion du rivage produite par la sédimentation d'origine marine et éolienne jugée excessive et donc préjudiciable pour les activités anthropiques. La gestion des risques littoraux cherche donc à intervenir principalement sur la force des agents naturels qui font évoluer le littoral : les vagues, les houles, les courants (liés aux vagues ou à la marée), les vents, ou d'autres facteurs telles que les précipitations et les ruissellements (cas des falaises, par exemple), dont les effets combinés conduisent généralement aux évolutions positives ou négatives du trait de côte. Elle peut aussi s'appliquer à atténuer ou arrêter les conséquences d'actions et d'aménagements anthropiques indésirables pour les évolutions du trait de côte.

Les modes de gestion possibles du trait de côte sont généralement classés en quatre catégories applicables à moyen ou long termes (cf. paragraphe 1.2). Ces modes de gestion conduisent à penser les évolutions ponctuelles (dans l'espace et le temps) du littoral ou du seul trait de côte à travers leur fonctionnement global au sein des cellules hydrosédimentaires (cf. volet 1 du guide) et en tenant compte de leurs tendances évolutives à différentes échelles de temps (échelles des temps géologiques, historique, pluri-décennal, saisonnière et événementielle) qui déterminent les évolutions des littoraux. En ce sens, ces modes de gestion tentent d'éviter une gestion de l'évolution du trait de côte qui reste encore trop souvent pensée à court ou très court termes, notamment en réaction à des événements météo-marins occasionnant des impacts et des dommages sur les territoires littoraux.

Selon la stratégie dans laquelle le gestionnaire souhaite s'engager et les enjeux à préserver (cf. figure 1), la nécessité de « maintenir la position du trait de côte », s'appuie sur une solution technique (ouvrages, aménagements...) destinée à juguler temporairement ou à plus long terme l'aléa côtier source de risques sur les enjeux exposés. Néanmoins, l'intervention sur le trait de côte (ou le littoral au sens large), quelle que soit son ampleur, engendre nécessairement des conséquences (Paskoff, 1998 ; Pinot, 1998) que l'on souhaite les plus faibles possibles sur le secteur que l'on aménage, sur les littoraux voisins ainsi que sur les enjeux que l'on veut protéger. Or, le panel des solutions techniques n'a cessé de se diversifier au cours des dernières décennies, au fur et à mesure que les conséquences négatives ou positives des premières techniques employées se sont manifestées, et au fur et à mesure des progrès de la connaissance et de la compréhension des dynamiques littorales. Désormais, entre les techniques d'opposition aux processus naturels, les techniques d'accompagnement de ces mêmes processus voire l'absence d'intervention, selon les types de côte, leur exposition et les enjeux concernés, l'éventail des possibilités est très large.

Certaines de ces solutions techniques sont éprouvées de longue date dans diverses conditions. Leurs effets immédiats, à court, moyen et parfois long termes sont généralement connus, mais peuvent être difficiles à apprécier localement. D'autres techniques, désormais offertes aux choix du gestionnaire, sont plus récemment implantées et constituent, pour le moment, des expérimentations pour lesquelles il n'est pas encore possible de disposer d'un bilan de leurs effets. Cet éventail de techniques, d'ouvrages et d'aménagements est souvent une source de questionnements lorsqu'il s'agit de décider de la solution technique la plus adaptée.

L'objectif de ce volet 3 n'est pas d'identifier la ou les « bonnes » et « mauvaises » techniques et ouvrages. Il n'y a, en effet, pas de solution universelle, ni de situation unique sur le littoral. On rappellera simplement que les évolutions du trait de côte constituent la réponse adaptative du littoral aux forces naturelles auxquelles il est soumis et que cette adaptation, lorsqu'elle reste possible, constitue la meilleure solution de gestion du littoral. Enfin, toute intervention sur le littoral et le trait de côte, par essence naturellement mobiles, implique des conséquences sur le fonctionnement du littoral et fera évoluer le trait de côte environnant le site d'intervention. Les ouvrages portuaires, dont la fonction première est de permettre l'accostage et le débarquement des navires, ne sont pas pris en considération dans ce volet, bien que leur implantation puisse interférer avec les dynamiques naturelles du littoral et que leurs conséquences sur les transits sédimentaires littoraux soient comparables à celles produites par l'implantation d'ouvrages de gestion des risques littoraux.



Figure 1 : ouvrages portuaires protégeant le littoral urbanisé de Camaret-sur-Mer.



1.2. Contexte de la gestion du littoral

En France, il est recommandé de concevoir la gestion des évolutions du littoral dans le cadre d'une Stratégie Locale de Gestion du Trait de Côte (SLGTC), déclinaison locale de la Stratégie Nationale de Gestion Intégrée du Trait de Côte (SNGITC). D'ailleurs, ces deux dispositifs ont été renforcés par la loi dite « Climat et résilience » (2021) qui propose le contenu potentiel des stratégies et leur méthode d'élaboration respective. Le trait de côte et le littoral étant naturellement dynamiques, la SNGITC préconise d'éviter la « défense systématique contre la mer » et de développer des systèmes d'adaptation raisonnés pour la protection et la recomposition spatiale du littoral en évitant l'artificialisation du trait de côte. Selon les sites et les contextes locaux, plusieurs stratégies sont envisageables :

- une évolution naturelle surveillée du trait de côte lorsque seuls des enjeux de type espaces naturels sont concernés. Des suivis réguliers du littoral et du trait de côte sont alors programmés et opérés pour connaître précisément leurs évolutions ;
- l'accompagnement des processus naturels lorsque les enjeux le justifient : il s'agit de ralentir l'évolution naturelle du trait de côte tout en jouant sur les effets des facteurs forçants (vent, houle, vagues) dans le but de protéger au mieux les enjeux menacés ;
- l'opposition aux processus naturels quand les enjeux collectifs et la sécurité le nécessitent. Il s'agit alors de s'opposer directement aux forces naturelles en fixant, sur le long terme, le trait de côte par le biais d'ouvrages longitudinaux, ou de contraindre les dynamiques sédimentaires avec des ouvrages transversaux. Ces ouvrages ont pour conséquence de modifier l'évolution naturelle du trait de côte localement et à l'échelle de la cellule sédimentaire ;
- la recomposition spatiale, lorsque les enjeux et la sensibilité des populations le permettent : les secteurs de côte ne sont pas protégés mais les enjeux exposés sont déplacés en dehors des aires exposées aux aléas d'érosion et/ou de submersion.

La SLGTC intègre la possibilité de recourir aux solutions techniques de protection sur le trait de côte lorsque les enjeux le justifient. Elle réserve ainsi les opérations de protection artificialisant fortement le trait de côte aux zones à forts enjeux en évaluant les alternatives et en les concevant de façon à préserver la possibilité à plus long terme, d'un déplacement des activités et des biens. Elle incite conjointement à l'expérimentation et à l'innovation en privilégiant des méthodes et des techniques de gestion accompagnant les processus naturels (cf. figure 2). Cependant, lors d'événements météo-marins de forte magnitude, la réalisation de travaux d'urgence de défense contre l'érosion ou la submersion, qui ne rentrent plus dans le cadre de ces stratégies et des réflexions préalables, peut être autorisée et réalisée, au cas par cas, en cas de péril grave et imminent. Si dans une vision programmatique de la gestion des évolutions du littoral, les choix des solutions techniques à apporter peuvent faire l'objet de discussions et de prise de recul, dans le cas de procédures d'urgence, les délais de concertation sont généralement raccourcis et la prise en compte des conséquences des choix peut conduire à des désagréments importants, générant de nouveaux problèmes.



Figure 2 : pieux hydrauliques implantés sur la plage de Cleut-Rouz à Fouesnant en 2019.



Pointe de Porz Men | Ouessant

1.3. Les différents types de côtes

Trois principaux types de côtes sont distingués : les côtes d'accumulation, les côtes d'ablation et les côtes anthropisées (les côtes construites, tels les récifs coralliens, sont exclues du propos). La dynamique de chacun de ces types de côte est fondamentalement commandée par les processus naturels marins, continentaux, gravitaires, atmosphériques ainsi que, de manière plus ou moins marquée selon les cas, par les interventions anthropiques. Les dynamiques à court (voire très court), moyen et long termes du trait de côte différencient ces types de côte. Il importe de les considérer à ce titre pour adapter les solutions techniques applicables spécifiquement à leur gestion.

Les côtes d'accumulation

Les côtes d'accumulation résultent de l'accumulation progressive, le long de la ligne de rivage actuelle, au cours de la transgression holocène, de sédiments d'origine continentale et marine entre l'avant-plage sédimentaire, la plage et la dune (cf. figure 3). Paradoxalement, ces côtes d'accumulation peuvent, dans le contexte géomorphologique actuel, être en constante érosion. Néanmoins, les évolutions du trait de côte alternent entre des phases de retrait vers le continent (érosion) et d'avancée vers la mer (engraissement) à diverses échelles de temps. Avancée et retrait traduisent d'abord l'adaptation morphologique des stocks sédimentaires aux conditions énergétiques déterminées par les processus météo-océaniques. La tendance évolutive de ce type de côte et la projection de sa possible position future s'apprécient donc sur la connaissance rétrospective, à long terme, de ses évolutions. Toute érosion ou accrétion à court terme ne s'interprète pas nécessairement comme une tendance définitive de l'évolution du littoral.



Figure 3 : côte d'accumulation (dune et plage) à Tréguennec, plage de sable et dune vive.

Les côtes d'ablation

Ce type de côte regroupe les côtes où l'érosion marine et l'érosion continentale prédominent (cf. figure 4). L'accumulation des produits de leur érosion ne peut y être qu'éphémère. Ce sont les côtes à falaises, à falaises meubles et à plateformes d'érosion littorale dont la tendance évolutive à moyen et long termes est uniquement au recul, même si, à court terme, des phases d'inactivité peuvent intervenir. La dynamique du trait de côte et les projections de son positionnement futur s'apprécient donc en tenant compte rétrospectivement de sa régression à long terme et des évolutions brutales à court et très court termes qui s'y produisent.



Figure 4 : côte d'ablation à Plouzané (pointe du Minou), falaises rocheuses et plateforme d'érosion littorale à leur base.

Les côtes anthropisées

Ce sont les côtes fixées par l'édification d'ouvrages principalement positionnés sur le trait de côte (cf. figure 5). Il est possible d'en distinguer deux types. Le premier type de côte est constitué d'ouvrages de protection contre la mer (perrés de diverses natures, brise-lame, épis) qui s'opposent au recul du trait de côte et/ou à la submersion marine. Le second type regroupe les aménagements anthropiques propres à l'utilisation du rivage pour les activités portuaires, balnéaires, aquacoles ou encore halieutiques (quai, digue, jetée, cale). Sur ce type de côte, la ligne de rivage n'évolue plus que de manière brutale par la destruction d'une partie (rupture, brèche) ou de l'entièreté des ouvrages. Cependant les accumulations littorales ou les formes d'ablation sur lesquelles ils sont implantés continuent d'évoluer ce qui justifie certaines interventions en vue de gérer l'évolution de ces côtes anthropisées.



Figure 5 : côte anthropisée à Ploudalmézeau.



Plage de Cleut-Rouz | Fouesnant

1.4. Objectifs, positionnement sur le littoral et réglementations préalables

Le panel des solutions techniques est large (cf. figure 6). Elles correspondent, en effet, à un type de côte défini et elles visent à limiter les effets d'un ou de plusieurs processus responsables de l'évolution du trait de côte tout en étant adaptées aux enjeux à préserver. Différentes techniques utilisant divers matériaux sont alors employées. La classification de ces solutions techniques à disposition des décideurs devant gérer les évolutions du trait de côte n'est pour autant pas simple. Aussi, le parti pris de ce volet étant d'offrir une aide potentielle à la décision, trois critères ont été retenus pour les cataloguer :

- a** | l'effet (ou les effets) des techniques sur les processus naturels (cf. figure 7) : celles d'opposition aux processus naturels, celles d'accompagnement des processus naturels, et enfin un groupe de techniques intermédiaires. Les solutions techniques de gestion sont organisées en fonction, d'une part, du type de côte sur lequel elles peuvent être implantées (d'accumulation, d'ablation et anthropisée) et, d'autre part, selon leur position sur la côte (avant-plage, estran, trait de côte, dune et zone arrière littorale) ;
- b** | les objectifs visés par l'implantation de ces solutions techniques. Sur cette base, le deuxième tableau (cf. figure 8) propose une classification en fonction de leur appartenance aux différentes catégories ci-avant définies, et de leur objectif vis-à-vis du fonctionnement du littoral ;
- c** | les démarches réglementaires et les dispositions administratives qu'exige au préalable leur implantation selon leur positionnement sur le littoral (partie strictement continentale, trait de côte, zone intertidale ou avant-plage). Le troisième tableau (cf. figure 9) résume ainsi les démarches réglementaires et les dispositions administratives nécessaires à la mise en place des techniques de gestion.

Catégorie	Type	Définition	Matériaux couramment utilisés / procédé de mise en œuvre
Ouvrages longitudinaux d'avant-plage ou de bas de plage dont le but est d'atténuer la houle et les courants de retour perpendiculaires à la ligne de rivage	Brise-lame	Ouvrage orienté parallèlement au rivage, mais non attaché à celui-ci. Il peut être émergent (le plus souvent) ou semi-immergé. Il est conçu pour diminuer l'énergie de la houle incidente en créant un déferlement en amont du trait de côte, et diminue l'agitation du plan d'eau à la côte. En bloquant les transits de sable vers le large, le brise-lames favorise l'engraissement de la plage.	Maçonnerie Béton Blocs d'enrochements
	Récif artificiel	Structure immergée dans le but de créer, protéger ou restaurer un écosystème (repeuplement benthique ou halieutique) et/ou de protection par rapport à l'énergie marine (réduction des houles, des courants, etc.).	Structures en béton Blocs d'enrochements
Ouvrages transversaux par rapport à la dérive littorale, construits sur l'estran et dont l'objectif est de réduire, voire d'interrompre, le transit sédimentaire	Épi	Ouvrage placé sur le rivage, de manière transversale par rapport au trait de côte. Il joue le rôle de barrière plus ou moins perméable, capable de piéger une partie des sédiments en transit.	Béton Blocs d'enrochements Maçonné Bois Palplanches Tube de géotextile
Ouvrages longitudinaux de haut de plage placés parallèlement au trait de côte et constituant une barrière entre la mer et la terre pour protéger le trait de côte de l'action des vagues et fixer le trait de côte	Perré	Ouvrage incliné, constitué d'un revêtement (en enrochements ou maçonné ou bétonné) et recouvrant un talus autostable.	Blocs d'enrochements Maçonnerie Béton
	Boudin de géotextile	Géoconteneur en tubes de géotextile rempli de sédiment et placés au pied d'un cordon littoral dans le but de le renforcer en limitant l'action des vagues sur le trait de côte et donc le départ des sédiments.	Géotextile
	Alignement de conteneurs souples en tissus de polypropylène de grande contenance (big bags ou flexible intermediate bulk container)	Géoconteneur en sacs en géotextile remplis de sédiments et alignés au pied du cordon littoral, empilés ou non, dans le but de protéger le trait de côte en formant une barrière de protection contre les vagues.	Géotextile
Ouvrages de soutènement situés le long du trait de côte, verticaux à sub-verticaux et destinés à maintenir le trait de côte en retenant les terres en arrière	Mur	Ouvrage qui comprend les murs (murs poids ou en béton armé) et soutènements plans (rideaux de palplanches...), et sert au maintien direct du trait de côte en s'opposant à la poussée des terres ; il permet ainsi de lutter contre l'érosion des terres.	Pierres sèches Maçonné Gabions remplis de pierres ou de galets Palplanches Fascines Béton

Catégorie	Type	Définition	Matériaux couramment utilisés / procédé de mise en œuvre
<i>Dispositifs de stabilisation des falaises meubles et rocheuses ou limitant les chutes de blocs depuis la paroi</i>	<i>Ancrage et boulonnage</i>	<i>Ces techniques améliorent la stabilité de falaises ou limitent la chute de blocs pour des masses rocheuses localisées et de volumes relativement limités.</i>	<i>Procédé consistant en l'ancrage ou de boulonnage des éléments instables dans la roche saine en arrière par mise en place de boulons et de tirants. Stabilisent les masses rocheuses sur la longueur des ancrages.</i>
	<i>Géogrille</i>		<i>Procédé permettant la stabilisation superficielle du versant littoral par une grille polymère renforcée fixée par des ancrages courts. Elle évite des travaux lourds. Elle s'applique essentiellement aux escarpements meubles (hors pentes fortes) de hauteur assez limitée et limite les chutes de blocs et l'érosion superficielle des sols.</i>
	<i>Filet métallique</i>		<i>Des filets ou grillages de métal plaqués à la paroi par ancrages courts, permettent d'emballoter les éléments instables afin d'empêcher des éboulements. Seules les instabilités rocheuses de volume assez restreint sont traitées.</i>
	<i>Béton projeté</i>		<i>Procédé consistant à projeter du béton sur la paroi en voie de déstabilisation de manière à solidariser les blocs entre eux et à limiter voire arrêter toute action de météorisation et désagrégation mécanique.</i>
	<i>Végétalisation</i>		<i>Sur falaise en milieu peu exposé aux vagues et projections de paquets de mer, une végétation adaptée peut stabiliser le versant.</i>
<i>Purge ou reprofilage de versants rocheux et meubles</i>	<i>Modification de la topographie</i>	<i>Travaux de terrassement, purge des éléments de paroi désolidarisés, création de gradins consistant à modifier la géométrie initiale de la falaise voire du versant littoral en réduisant sa pente générale pour acquérir un profil d'équilibre propre à réduire ou supprimer les chutes gravitaires, l'ébouilisation, les éboulements ou glissements.</i>	<i>Modification de la géométrie du versant littoral.</i>

Catégorie	Type	Définition	Matériaux couramment utilisés / procédé de mise en œuvre
<i>Drainage de versants rocheux</i>	<i>Élimination ou réduction des écoulements superficiels et infiltrations. Le drainage consiste à éliminer les ruissellements et infiltrations superficielles au droit de la falaise ou à permettre un rabattement de la nappe.</i>	<i>Système de rigoles drainantes consistant en la création de fossés en sommet de falaise et/ou dans la pente de la falaise pour recueillir et évacuer les eaux de ruissellement avant infiltration. Méthode adaptée aux phénomènes de volumes assez limités, d'instabilités rocheuses ou glissements favorisés par écoulements superficiels.</i>	<i>Bitume Béton Film plastique</i>
<i>Apports de sédiment en vue de combler des pertes sur l'estran</i>	<i>Apports externes de sédiments</i>	<i>Alimentation artificielle d'une plage en sable ou galets de manière à compenser son déficit sédimentaire. Cette technique consiste à prélever du sable d'une zone source et à alimenter la plage, en une fois ou graduellement. Elle permet généralement d'élargir l'estran et d'élever le niveau topographique de la plage.</i>	<i>Apports de sédiments par camions ou bateau.</i>
	<i>By-pass ou pontage sédimentaire</i>	<i>Alimentation artificielle d'une plage en sable ou galets d'un secteur d'une plage à un autre via un pompage ou des rotations de camions ou de bateaux.</i>	<i>Apports de sédiments via un procédé hydraulique, mécanique ou maritime</i>
<i>Confortement dunaire</i>	<i>Confortement dunaire</i>	<i>Alimentation artificielle d'une dune ou d'un cordon dunaire en sable de manière à compenser son érosion. Cette technique consiste à prélever du sable d'une zone source et à alimenter la dune en une fois ou graduellement. Elle permet généralement d'élargir la dune ou le cordon dunaire et d'élever son niveau topographique au-dessus des niveaux de submersion.</i>	<i>Apports de sédiments par camions ou bateau (puis régilage (étalement) mécanique partiel ou total).</i>
<i>Confortement dunaire</i>	<i>Reprofilage de dune</i>	<i>Opération consistant à remodeler le profil exposé de la dune de manière à réactiver une déflation éolienne efficiente. Généralement associé à un remodelage du profil de la plage dans la continuité du profil de la dune pour favoriser l'envol du sable vers la dune.</i>	<i>Écrêtement des versants dunaires vifs trop abrupts qui favorisent l'érosion éolienne par effet Venturi (création d'une dépression dunaire là où la vitesse d'écoulement augmente, ou là où la section d'écoulement se rétrécit), l'éboulisation et les avalanches sableuses gravitaires, adaptation de la pente du front dunaire à la déflation éolienne.</i>
	<i>Abattage des arbres en sommet de dune</i>	<i>En cas de végétation arborée, l'abattage peut améliorer la stabilité tant pour les dunes que pour les falaises.</i>	<i>Abattre ou conserver des arbres relève du cas par cas, selon le contexte local.</i>

Catégorie	Type	Définition	Matériaux couramment utilisés / procédé de mise en œuvre
Drainage de plage	Le système de drainage des plages permet d'abaisser le toit de la nappe aquifère et l'eau apportée par les vagues (ou jet-de-rive) et donc de créer une zone non saturée sous la surface de l'estran, près du trait de côte.	Une ou plusieurs canalisations filtrantes sont installées en profondeur (de l'ordre du mètre sous la surface) parallèlement au trait de côte, elles récoltent ainsi l'eau et la transfèrent par gravité vers un puits. A partir de là, une station de pompage renvoie l'eau vers la mer ou si possible vers des installations de recyclage.	Tubes collecteurs en plastique PVC et station de pompage.
Canalisation de la fréquentation	Clôtures filaires	Organisation du cheminement à travers les dunes et les sommets de falaises et l'accès aux plages, sans atteinte à la végétation dunaire ou de versant littoral.	Piquets-soutiens pour mono ou bi-fil métallique délimitant l'espace autorisé au cheminement.
	Barrières de ganivelles, palissades en bois		Barrière de ganivelles en châtaigner empêchant les intrusions sur les espaces protégés.
	Renforcement des zones de cheminement (stabilisation des sols)		Platelages ou caillebotis en bois Tapis de caoutchouc, en fibres végétales et structures en nid d'abeille. Tapis de géotextile Débris végétaux
Piégeage et maintien des sédiments dunaires issus des envols éoliens	Rideaux de ganivelles	Dispositif destiné à piéger les sédiments de la déflation éolienne pour renforcer l'accumulation dunaire.	Rideaux brise-vent en lattes de châtaigner ou filets de géotextile ou PVC maintenus par des piquets de bois. La porosité, la hauteur, le nombre de rangées, l'orientation sont contrôlées selon les conditions d'exposition locales.
	Filets		
	Plantation, végétalisation	Dispositif permettant de i) fixer le sable en place et favoriser le développement dunaire par piégeage du sable en conservant les caractéristiques naturelles de la dune et ii) offrir un substrat favorable à la reprise d'une végétation naturelle.	Semis direct dans les dunes Plantations
	Couverture de débris végétaux	Paillages ou couvertures de branchages	Débris végétaux
	Maintien, préservation des lisses de mer	Dispositions visant à raisonner ou interdire les ramassages des lisses de mer propices au développement de dunes embryonnaires.	Limitation ou arrêt du nettoyage des plages.

Figure 6 : panel des solutions techniques de gestion des risques littoraux. Classification par grandes catégories, types de techniques, définition et matériaux utilisables ou procédé de mise en œuvre.

Technique de gestion	Avant-plage	Côte d'accumulation				Côte d'ablation		Côte anthropisée	Zone arrière-littorale
		Plage	Trait de côte	Cordon sable, graviers, galets	Dunes	Falaise meuble	Falaise rocheuse		
Techniques d'opposition aux processus naturels	Ouvrages longitudinaux	X	X	X		X	X	X Digue rétro-littorale	
	Ouvrages transversaux / épis	X		X					
	Soutènement	X	X			X	X		
	Ouvrages de stabilisation des falaises					X	X		
Digues amovibles contre les submersions marines							X		
Confortement dunaire					X				
Rechargement sédimentaire		X		X	X				
Reprofilage de versant				X	X		X		
Dispositifs atténuateur de houle et des courants		X							
Dispositifs de protection et régénération dunaire					X				
Drainage de versant							X		
Canalisation du public (clôtures)			X	X	X				
Pieux hydrauliques		X							
Brise-vent (ganivelles, filets)			X		X		X		
Plantation			X		X		X		
Couverture de débris végétaux			X		X		X		

Figure 7 : classification de solutions techniques, depuis l'opposition aux processus naturels jusqu'à l'accompagnement des processus naturels. Organisation en fonction du type de côte sur lequel elles peuvent être implantées et selon leur position sur la côte.

Technique de gestion	Diminution de l'énergie des vagues / houles	Maintien du trait de côte / lutte contre le recul du trait de côte	Protection contre la submersion marine	Diminution des effets de la dérive littorale	Diminution du flux sédimentaire cross-shore	Lutte contre la déflation éolienne / favoriser le captage de sédiment	Canalisation de la fréquentation / lutte contre le piétinement	Éviter le ruissellement et l'infiltration des eaux continentales dans les versants	
<i>Ouvrages longitudinaux</i>	X	X	X		X				
<i>Ouvrages transversaux / épis</i>				X	X				
<i>Soutènement</i>		X	X						
<i>Ouvrages de stabilisation des falaises</i>		X							
<i>Digues amovibles contre les submersions marines</i>			X						
<i>Confortement dunaire</i>		X	X						
<i>Rechargement sédimentaire</i>	X	X		X					
<i>Reprofilage de versant</i>		X							
<i>Dispositifs atténuateur de houle et des courants</i>	X				X				
<i>Dispositifs de protection et régénération dunaire</i>		X				X			
<i>Drainage</i>	X							X	
<i>Canalisation du public (clôtures)</i>							X		
<i>Pieux hydrauliques</i>		X			X				
	Techniques d'opposition aux processus naturels				Techniques d'accompagnement des processus naturels				

Figure 8 : classification des solutions techniques en fonction des objectifs de gestion recherchés.



Régénération dunaire | Littoral Atlantique



Plage de Trez-Bellec | Telgruc-sur-Mer

1.5. Procédures réglementaires

La mise en œuvre d'une technique de gestion des risques littoraux doit respecter les procédures réglementaires qui peuvent être liées aux lois ayant trait à l'urbanisme, la biodiversité, l'eau, la propriété foncière... (cf. figure 9). La prise en compte des procédures réglementaires doit être réalisée le plus en amont possible du projet d'installation d'un ouvrage côtier afin de prendre en considération l'ensemble des prescriptions à respecter. Il est également important d'anticiper les délais d'instruction dans le planning général du projet. La complexité des procédures est liée aux impacts potentiels des différentes solutions au regard du contexte local. A cet égard, il peut être précisé qu'un nombre limité de procédures ne signifie pas pour autant que les autorisations seront plus simples à obtenir.

Certaines réglementations peuvent conduire à réaliser une étude préalable d'incidence ou une évaluation environnementale du projet. Il est donc recommandé d'associer, le plus tôt possible, les services de l'État (DDTM¹, DREAL²) chargés de l'instruction du dossier. Ces derniers seront à même de préciser les procédures à respecter en fonction de la nature du projet (la pose de ganivelles n'impliquera pas les mêmes procédures réglementaires que celle d'un enrochement).

La liste et le tableau ci-dessous présentent les principales procédures réglementaires et administratives (c'est-à-dire, l'organisation interne permettant de mener à bien les procédures réglementaires) liées à la mise en œuvre d'une technique de gestion des risques littoraux :

¹ Direction des Territoires et de la Mer (DDTM)

² Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL)

- **procédure liée au Code de l'urbanisme** : les espaces terrestres et marins, les sites et paysages remarquables ou caractéristiques du patrimoine naturel et culturel du littoral ainsi que les milieux nécessaires au maintien des équilibres biologiques sont protégés au titre de l'article L. 121-23 du Code de l'urbanisme. Les espaces remarquables et caractéristiques du littoral peuvent être soit des espaces qui constituent un site ou un paysage remarquable ou caractéristique du patrimoine naturel et culturel du littoral, soit des espaces nécessaires au maintien des équilibres biologiques ou encore ceux qui présentent un intérêt écologique ;
- **procédure liée aux espaces naturels protégés** : la désignation des espaces naturels protégés est une composante majeure dans la stratégie de protection et de gestion du patrimoine naturel. Ainsi, des sites littoraux peuvent être classés comme espaces naturels protégés. Des réglementations particulières s'appliquent sur ces espaces ;
- **procédure liée à la protection de la biodiversité** : le littoral abrite une faune et une flore particulière dont certaines espèces peuvent être protégées. La protection de la flore et de la faune sur certains sites côtiers nécessite la mise en œuvre de prescriptions particulières vis-à-vis de l'aménagement envisagé ou lors de la phase de travaux ;
- **procédure liée à l'occupation du Domaine Public Maritime (DPM)** : le domaine public maritime est constitué du DPM naturel et du DPM artificiel. Le DPM naturel est constitué du sol et du sous-sol de la mer, compris entre la limite haute du rivage, c'est-à-dire celle des plus hautes mers en l'absence de perturbations météorologiques exceptionnelles, et la limite, côté large, de la mer territoriale (12 milles). Le DPM artificiel est lui composé des équipements et installations portuaires, ainsi que des ouvrages et installations relatifs à la sécurité et la facilité de la navigation maritime.
Les ouvrages publics (digues, épis, perrés et d'autres ouvrages de défense contre la mer) nécessitent un titre d'occupation ou d'utilisation du DPM avec un transfert de gestion (un transfert de gestion permet à une personne publique, communes ou groupements, de devenir gestionnaire du DPM considéré, sans en devenir propriétaire) ainsi qu'une autorisation préfectorale de circulation sur le DPM pendant les travaux. Les opérations de confortement dunaire ou de rechargement sédimentaire nécessitent une Autorisation d'Occupation Temporaire (AOT) de l'espace public ;
- **procédure liée à la loi sur l'eau** : toute personne physique (particulier) ou morale (collectivité, société...) publique comme privée souhaitant réaliser un projet (installation, ouvrage, travaux ou activité) qui va engendrer un impact (phase travaux, exploitation, conditions exceptionnelles) sur le milieu aquatique (eaux superficielles ou souterraines, zones humides...) doit respecter les prescriptions de la loi sur l'eau. En fonction du montant du projet, du type d'ouvrages, de la nature des travaux, le projet sera soumis ou non à autorisation ;

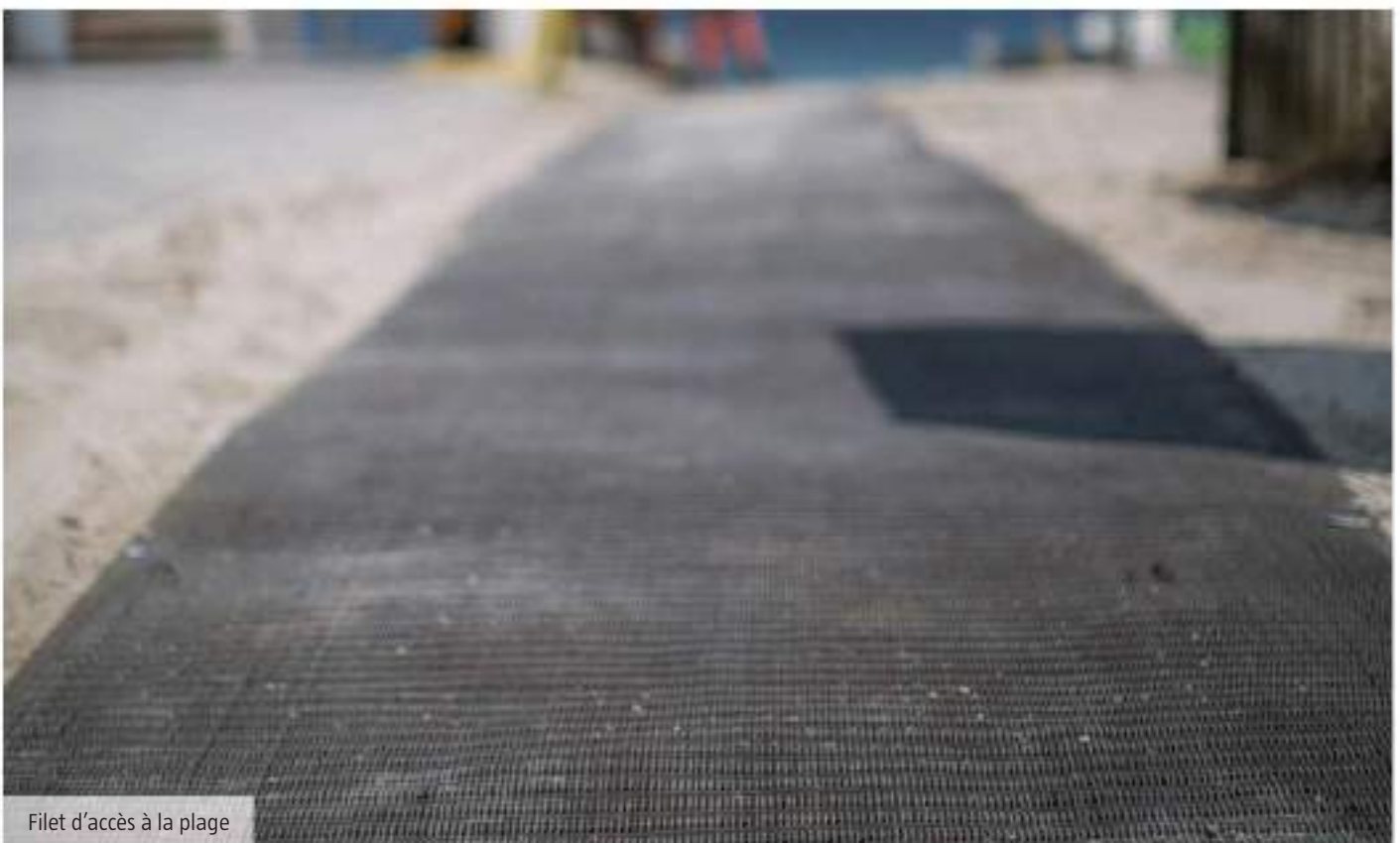


- **procédure d'étude d'impact** : lorsqu'un projet est en cours d'élaboration, l'intégration de l'environnement dès la phase amont des réflexions est essentielle. Cette approche sert à éclairer tout à la fois le porteur de projet et l'administration sur les suites à donner au projet au regard des enjeux environnementaux et ceux relatifs à la santé humaine du territoire concerné, ainsi qu'à informer et garantir la participation du public. Elle permet d'envisager les effets potentiels ou avérés sur l'environnement du projet et assure une analyse et une justification des choix retenus au regard des enjeux qui ont été identifiés. L'étude d'impact permet l'évaluation environnementale d'un projet et décrit les incidences de celui-ci à partir de l'état actuel du site et des enjeux présents. Elle propose des mesures visant à éviter, réduire ou compenser les effets négatifs notables du projet sur l'environnement ou la santé.

Les projets soumis à évaluation environnementale sont définis dans le Code de l'environnement dans le tableau annexé à l'article R.122-2 ;

- **procédure liée au Code du patrimoine (sites classés et inscrits)** : les sites classés ou inscrits sont définis dans le code de l'environnement articles L341-1 et suivants et R341-1 et suivants. Il s'agit de monuments naturels et des sites dont la conservation ou la préservation présente, au point de vue artistique, historique, scientifique, légendaire ou pittoresque, un intérêt général. Le périmètre de ces sites constitue une servitude d'utilité publique annexée au plan local d'urbanisme (PLU). La réalisation de travaux dans le périmètre nécessite soit une autorisation (site classé) soit une déclaration (site inscrit) au titre du Code de l'environnement. Ces autorisations ou déclarations sont examinées par l'architecte des bâtiments de France ;
- **procédure liée au Code minier** : les matériaux contenus dans les fonds marins du domaine public maritime [granulats siliceux et substances calcaires (maërl et sables coquilliers)], considérés comme produits de mines, sont régis par le code minier. Ils sont soumis à la loi 76-646 du 16 juillet 1976 (modifiée par la loi 97-1051) et à son décret d'application 80-470 du 18 juin 1980 (modifié). Les extractions de matériaux sont subordonnées à l'obtention conjointe de trois actes administratifs :
 - un titre minier, en application du décret 95-427 du 19 avril 1995 (modifié),
 - une autorisation d'occupation temporaire du domaine public maritime, dite « autorisation domaniale », en application du décret 80-470 du 18 juin 1980 (modifié),
 - une autorisation d'ouverture de travaux en application des décrets 80-470 du 18 juin 1980 (modifié) et 95-696 du 9 mai 1995.

A cet effet, trois instructions sont menées : une instruction minière pour l'obtention du titre minier, une instruction domaniale pour l'obtention de l'autorisation domaniale, puis ensuite, une instruction travaux miniers pour l'obtention de l'autorisation d'ouverture de travaux.



Filet d'accès à la plage

Lieu d'implantation	Techniques	Procédures administratives					
		Code de l'urbanisme (espaces remarquables du littoral...)	Espaces naturels protégés (parcs naturels marins, aires marines protégées, réseau Natura 2000, réserves naturelles, sites inscrits)	Biotope - Faune / Flore protégée (ZNIEFF, espèces protégées...)	Domaine public maritime	Loi sur l'eau	Code minier
Continent	Digue rétro-littorale	X	X	X		X	
	Drainage de versant	X	X	X			
	Reprofilage de versants ¹	X	X	X			
	Canalisation de la fréquentation	X	X	X	X		
Trait de côte	Ouvrage longitudinal de haut de plage	X	X	X	X		
	Digues	X	X	X	X	X	
	Soutènements	X	X	X	X	X	
	Canalisation de la fréquentation	X	X	X	X		
	Piégeage et maintien des sédiments	X	X	X	X		
	Ouvrages transversaux	X	X	X	X	X	
Plage	Soutènements	X	X	X	X	X	
	Drainage de plage	X	X	X	X	X	
	Rechargement sédimentaire ²		X	X	X		X
Avant-plage	Ouvrages longitudinaux sur l'avant-plage		X	X	X		
	Prélèvement de sédiments pour rechargement/confortement		X	X	X		X

Figure 9 : classification des solutions techniques selon les autorisations et démarches réglementaires requises préalablement à leur implantation.

¹ pour les dunes, si celles-ci relèvent du DPM naturel

² si utilisation de sédiments en mer



1.6. Bilan des solutions techniques employées pour la gestion des évolutions du littoral dans le Finistère

La prédominance des perrés (murs et enrochements) positionnés sur le trait de côte

En 1998, le laboratoire GEOMER a inventorié les ouvrages côtiers mis en place dans le département du Finistère. De la même manière que le Service d'Administration des Référentiels marins (SAR, 2020), on entend par ouvrages littoraux, les aménagements et infrastructures entraînant l'artificialisation du littoral de manière pérenne. L'inventaire de ces ouvrages est complété par le recensement des techniques d'accompagnement des processus naturels qui tout en artificialisant aussi, d'une certaine manière, le littoral, restent des techniques aisément réversibles qui essaient de profiter des processus littoraux pour aider à la protection du trait de côte. L'arpentage systématique du littoral dans le but de quantifier le degré d'artificialisation du littoral finistérien a été réitéré 10 ans plus tard, en 2008, pour compléter et mettre à jour le degré d'artificialisation du trait de côte et d'en mesurer l'évolution (cf. figure 10).

	Longueur (en mètres)	Nombre	Part en longueur	Part en nombre
Mur	141 612,3	2950	7,8 %	33,4 %
Cordon d'enrochements	95 351,4	1316	5,3 %	14,9 %
Quai	54 717,2	676	3,0 %	7,7 %
Cale	26 772,0	1032	1,5 %	11,7 %
Jetée, digue portuaire	21 698,7	170	1,2 %	1,9 %
Remblais/déblais	18 190,3	231	1,0 %	2,6 %
Digue	17 495,3	127	1,0 %	1,4 %
Brise-vent	14 713,6	119	0,8 %	1,3 %
Fortification	5 328,3	99	0,3 %	1,1 %
Écluse/vanne	5 277,7	54	0,3 %	0,6 %
Pont/passerelle	5 250,6	170	0,3 %	1,9 %
Accès au littoral	5 199,5	734	0,3 %	8,3 %
Bâtiment	4 710,5	224	0,3 %	2,5 %
Escalier	3 429,2	654	0,2 %	7,4 %
Parc/vivier	2 128,3	44	0,1 %	0,5 %
Autre	1 995,8	39	0,1 %	0,4 %
Épi	1 970,6	56	0,1 %	0,6 %
Haie/talus	1 857,9	15	0,1 %	0,2 %
Voie submersible	1 830,0	15	0,1 %	0,2 %
Exutoire	1 067,9	77	0,1 %	0,9 %
Palplanche	351,2	11	0,0 %	0,1 %
Signalisation maritime	228,4	10	0,0 %	0,1 %
TOTAL	431 176,7	8823	23,9 %	100,0 %
Naturel	1 373 924,6	-	76,1 %	-
Littoral Finistère	1 805 101,4	8823	100,0 %	-

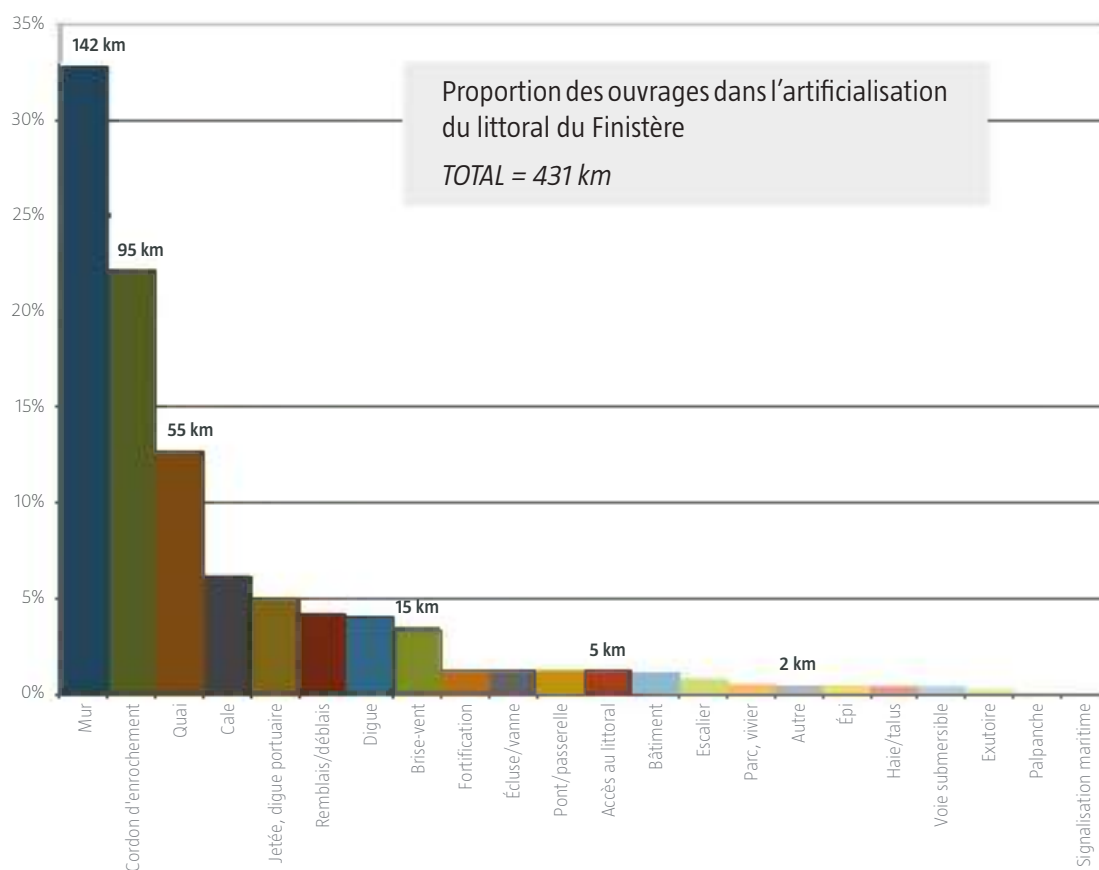


Figure 10 : l'artificialisation du trait de côte du Finistère en 2008.
(d'après Le Berre, Hénaff, David, 2009)

Le bilan montre qu'en 2008, le littoral finistérien est artificialisé sur 431 km par différentes structures allant des accès à la mer (escaliers, cales...) aux remblais et ouvrages portuaires, ainsi que par les diverses solutions techniques de protection du trait de côte (cf. figure 11). Au total environ un quart du linéaire côtier (23,9 %) entre ainsi dans la catégorie des côtes anthropiques. 16,05 % de cette artificialisation (256,8 km) sont constitués de protections contre l'érosion et/ou la submersion, dont la grande majorité (95,7 %) relève des techniques « dures ». Les murs, les cordons d'enrochements, les digues, des épis et des ouvrages en palplanches sont préférentiellement choisis. Parmi les 8 823 ouvrages recensés sur le littoral, ce sont ainsi 8 089 ouvrages « en durs », s'opposant donc aux processus naturels, qui occupent le trait de côte. En effet, les murs et les enrochements représentent 55 % du nombre de structures artificialisant le trait de côte et surtout 236,9 km de protection contre l'érosion et la submersion, auxquels s'additionnent quelques 17,5 km de digues de protection contre la submersion. Selon ce bilan, seuls 5,42 % sont constitués de techniques d'accompagnement de processus naturels. Cette part très faible doit cependant être nuancée : par exemple, certains de ces dispositifs de gestion des évolutions du littoral, lorsqu'ils sont efficaces, finissent par ne plus être visibles dans le paysage littoral (cas des rideaux de ganivelles totalement ensablés) ou ne sont installés que saisonnièrement pour éviter leur destruction pendant l'hiver. De même, les opérations de réensablement ou de reprofilage des massifs dunaires et des plages ne sont plus détectables après quelques mois d'exposition aux processus naturels. Ces solutions sont donc certainement minimisées dans ce bilan. Néanmoins ce bilan des solutions sélectionnées pour la gestion des évolutions du trait de côte témoigne d'un choix préférentiellement orienté vers les techniques de fixation « dures » du rivage depuis plusieurs décennies.

	Types	Longueur (en m) par type d'ouvrages	Proportion de linéaire de trait de côte affecté	Proportion du linéaire de protection du trait de côte	Nombre	Longueur moyenne (m)
Protections « dures »	Mur	141 612,3	7,85 %	48,88 %	2 950	48,00
	Cordon d'enrochements	95 351,4	5,28 %	32,92 %	1 316	72,46
	Digue	17 495,3	0,97 %	6,04 %	127	137,76
	Remblais/déblais	18 190,3	1,01 %	6,28 %	231	78,75
	Épi	1 970,6	0,11 %	0,68 %	56	35,19
	Palpanche	351,2	0,02 %	0,12 %	11	31,93
Protections « souples »	Brise-vent	14 713,6	0,82 %	5,08 %	119	123,64
Total des ouvrages de protection		289 684,7	16,05 %	100,00 %	4 810	60,23

Proportion du linéaire de protection du trait de côte

Trait de côte	Longueur (m)	Proportion
Finistérien (m)	1 805 101,4	-
Protégé par des solutions « dures »	256 780,8	88,64 %
Protégé par des solutions « souples »	14 713,6	5,42 %

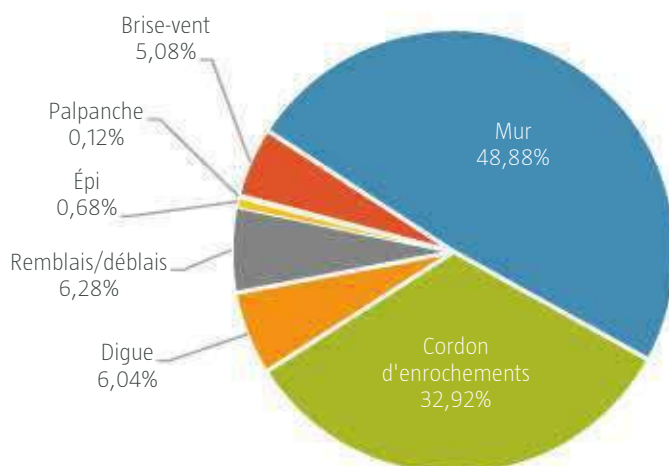


Figure 11 : bilan des solutions techniques employées dans la gestion des évolutions du trait de côte contre l'érosion et la submersion dans le Finistère. (d'après Le Berre, Hénaff, David, 2009)

Une modeste et récente introduction de nouvelles solutions techniques

Depuis 2008, un effort de standardisation et de précision des nomenclatures employées pour désigner les solutions techniques utilisées dans la gestion de l'érosion et de la submersion est intervenu, en particulier pour les ouvrages artificialisant le trait de côte¹. Elle conduit à modifier les dénominations employées jusqu'à présent. Les catégories sont modifiées dans le but de comparer le nombre d'ouvrages présents en 2008 avec le nombre d'ouvrages en 2020 (cf. figure 12).

Catégories de 2008	Catégories de 2020
<i>Mur</i>	<i>Soutènement</i>
<i>Cordon d'enrochements</i>	<i>Enrochements</i>
<i>Brise-vent</i>	<i>Brise-vent/Filet</i>
<i>Épi</i>	<i>Épi</i>

Figure 12 : modification des catégories et équivalences.

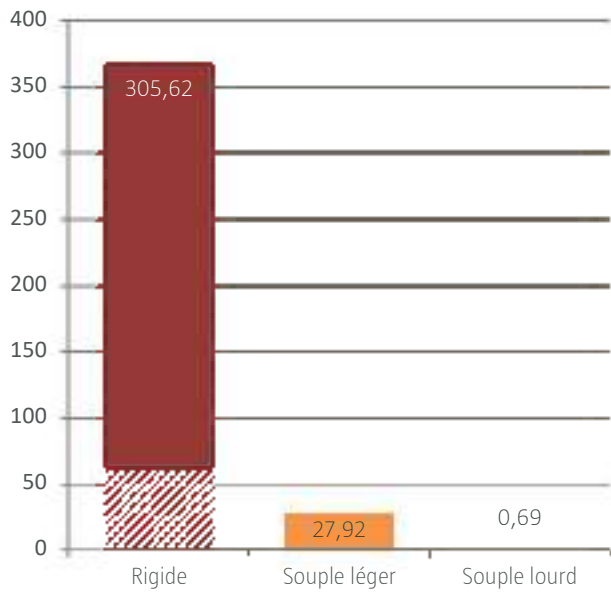
Les cartographies localisant les divers types d'ouvrages (cf. figures 13 et 14) sont issues d'un recensement des ouvrages finistériens réalisé par le partenariat Litt'oRisques en 2020. Ce recensement a été effectué par analyse de photographies aériennes verticales du territoire (Géoportail de l'IGN) et par prise de contact avec les gestionnaires. Au total, on observe également qu'entre 2008 et 2020, il existe une plus grande diversité d'ouvrages de gestion des risques littoraux. En effet, entre temps, des pieux hydrauliques et ses brise-lames ont été, par exemple, implantés. L'emploi de solutions techniques différentes reste néanmoins encore timide dans le Finistère et les gestionnaires font confiance à celles classiquement mises en œuvre sur le littoral.



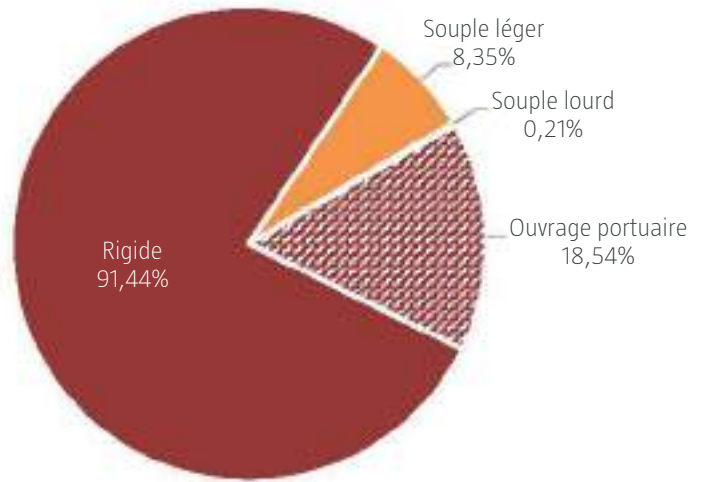
¹ <https://sar.milieumarinfrance.fr/Nos-rubriques/Referentiels-alpha-numeriques/Typologie-des-ouvrages-littoraux>



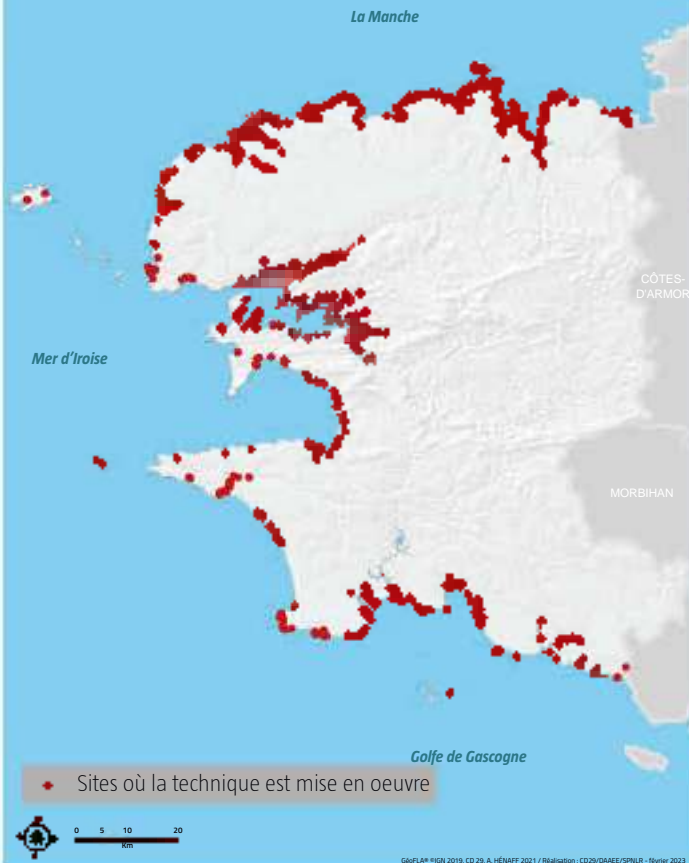
Longeurs cumulées (km)



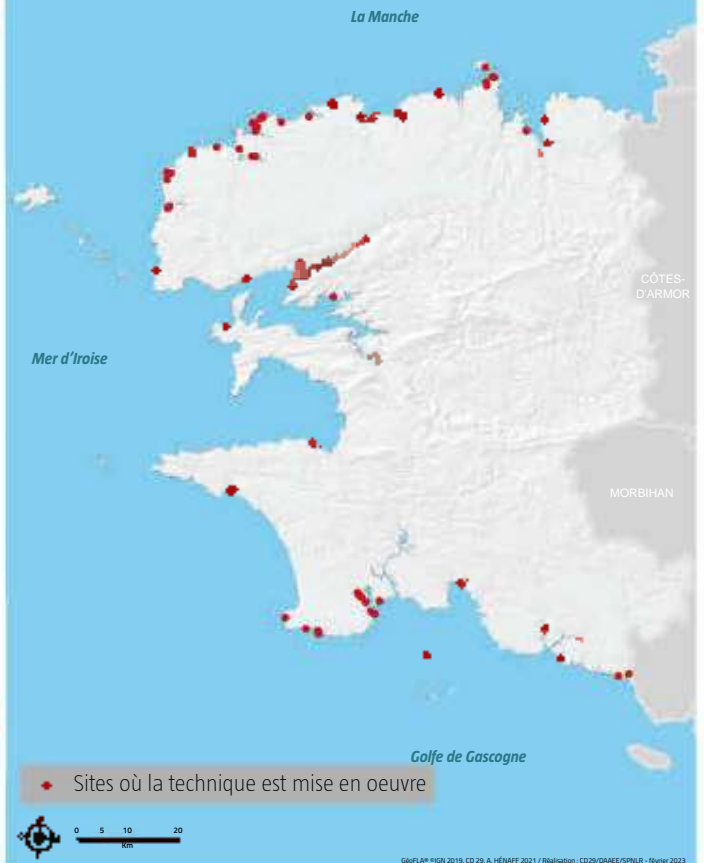
Proportions



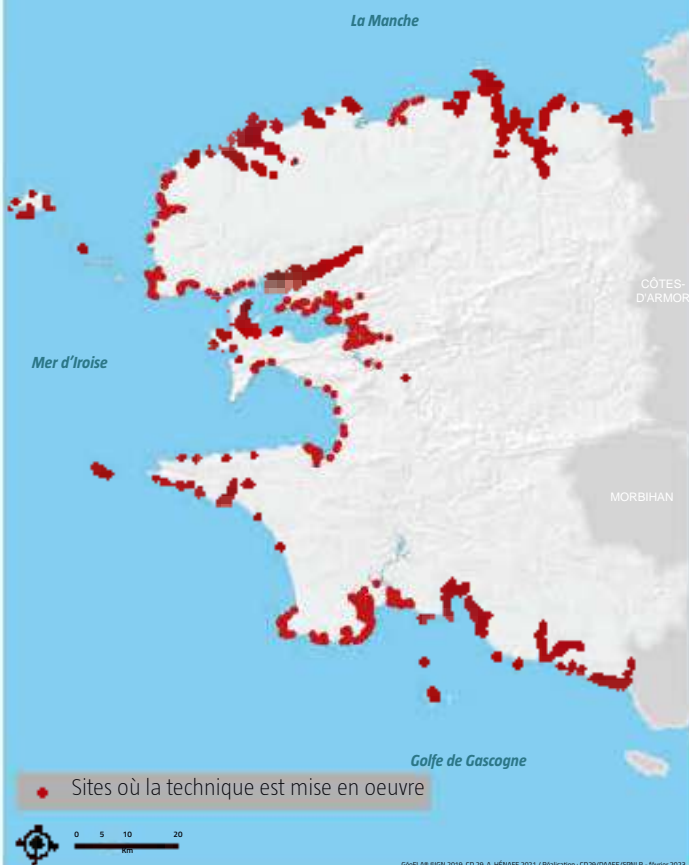
Enrochements | 97,41 km



Épis | 3,04 km



Soutènement | 126,64 km



Brise-lame | 0,75 km



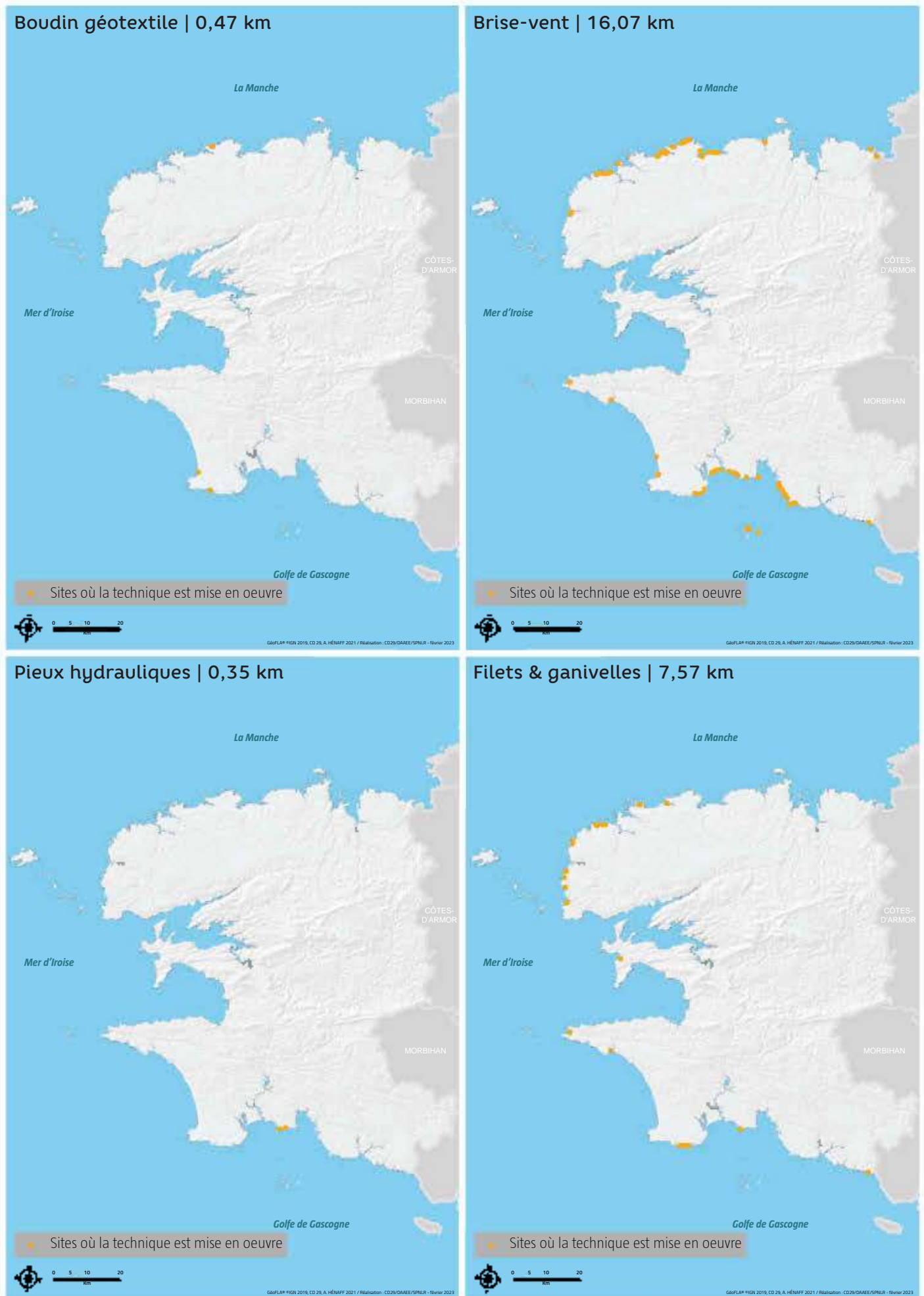


Figure 14 : localisation des solutions techniques d'après l'inventaire réalisé en 2020.
Solutions d'opposition aux processus naturels, page de gauche ; solutions d'accompagnement des processus naturels, page de droite.

Bibliographie

Chaumillon E, Duméry M. (2021). *La mer contre-attaque*. 160 p., Éditions Plume de carotte.

Hénaff A. (1998). *Les aménagements des littoraux de la Région Bretagne en vue de leur défense contre l'érosion depuis 1949*. Bulletin de l'Association de géographes français, 2004-3. Aménagement des littoraux et conséquences géomorphologiques / Les littoraux sableux et dunaires. pp. 346-359. doi : <https://doi.org/10.3406/bagf.2004.2397>

Hénaff A., Meur-Ferec C., Lageat Y. (2013). *Changement climatique et dynamique géomorphologique des côtes bretonnes. Leçons pour une gestion responsable de l'imbrication des échelles spatio-temporelles*. Cybergeo : Revue européenne de géographie / European journal of geography, UMR 8504 Géographie-cités, pp.654.

Lageat Y. (2004). *Géomorphologie et gestion des littoraux*. Bulletin de l'Association de géographes français, 2004-3. Aménagement des littoraux et conséquences géomorphologiques. Les littoraux sableux et dunaires. pp. 360-370. doi : <https://doi.org/10.3406/bagf.2004.2398>

Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer (2017). *Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte. Programme d'actions 2017-2019*, 23 p. https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/12004-1_Strat%C3%A9gie%20gestion%20trait%20de%20c%C3%B4te%202017_light.pdf

Miossec A. (2004). *Encadrement juridique, aménagement du littoral, gestion du littoral : les géographes et le droit*. Bulletin de l'Association de géographes français, 81e année, 2004-3 (septembre). Aménagement des littoraux et conséquences géomorphologiques / Les littoraux sableux et dunaires. pp. 288-297.

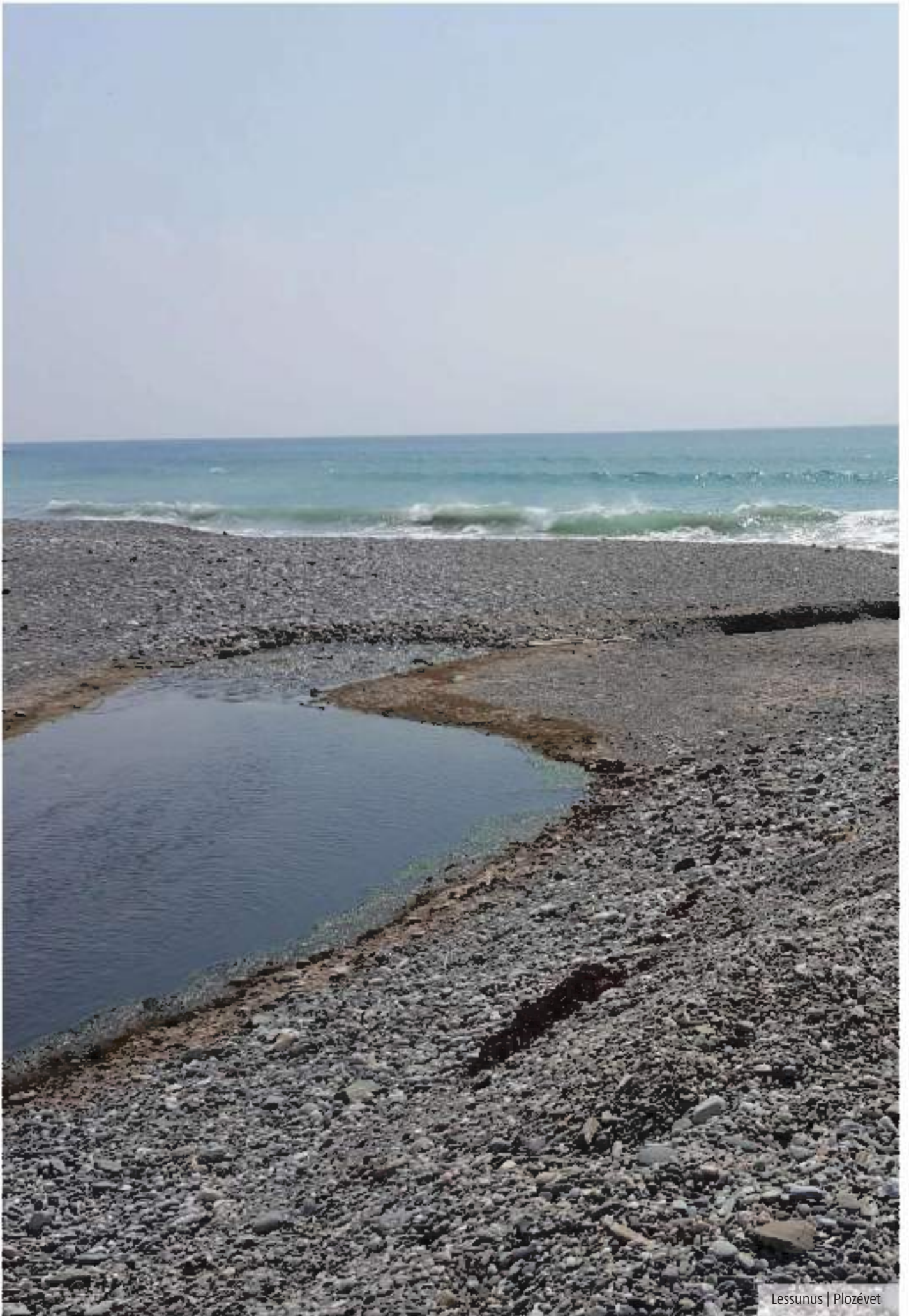
Miossec A. (dir.) (2012). *Dictionnaire de la mer et des côtes*. Rennes, Presses Universitaires de Rennes, 550 p.

Partenariat Litto'Risques (2022). *Guide méthodologique de gestion du trait de côte en Finistère – volet 1 : genèse, évolution et gestion du littoral*. 80 p.

Paskoff R. (1998). *Les littoraux : impacts des aménagements sur leur évolution*. Paris, Armand Colin, 1998, 260 p.

Pinot J.-P. (1998). *La gestion du littoral. Tome 1 : Littoraux tempérés, côtes rocheuses et sableuses ; tome 2, Littoraux tempérés, littoraux vaseux et embouchures*. 759 p., Institut Océanographique.

Yoni C., Hallégouët B. et Bodéré J.-C. (1994), *Ouvrages de protection et artificialisation de la ligne de rivage dans le pays Pagan (Finistère)*. Les Cahiers Nantais, n° 41-42, pp. 116-124.





Grève Blanche | Le Guilvinec

1.7. Engager une stratégie de gestion à long terme des risques littoraux

L'éventail de solutions techniques de gestion de l'érosion du « trait de côte » et de la submersion des territoires côtiers est large et varié. Cet éventail de solutions n'a d'ailleurs cessé de se diversifier au cours des dernières décennies, au fur et à mesure de l'enrichissement des connaissances du fonctionnement des littoraux. Il s'est conjointement étoffé lorsque des enjeux plus nombreux et plus coûteux se sont trouvés exposés aux dynamiques littorales d'érosion et de submersion, immédiatement sur la ligne de rivage ou au plus proche. Opter pour l'une, l'autre ou encore une combinaison de solutions n'est pas élémentaire, d'autant moins, d'ailleurs, que des vies humaines sont concernées.

La plupart des solutions techniques les plus classiques de fixation de la ligne de rivage, s'opposant aux dynamiques naturelles, ont été historiquement utilisées sur le trait de côte du Finistère. Elles le sont toujours pour répondre aux problèmes posés aux installations anthropiques par les évolutions de ces milieux, par essence dynamiques, à diverses échelles de temps. Les conséquences de leur mise en œuvre sont généralement reconnues parce que la longue durée de leur implantation a permis d'estimer une grande part de leurs effets positifs et négatifs immédiats et à long terme dans une diversité de situations. Leur mise en œuvre permet de garantir localement un certain degré de protection immédiat. Elle intègre nécessairement l'acceptation des impacts négatifs plus ou moins forts et inévitables au droit des ouvrages et sur les secteurs de côte voisins qui devront être, eux aussi, gérés à courte ou moyenne échéance.

Nombre de techniques novatrices, plus récemment proposées en tout cas, apparaissent aussi progressivement sur les rivages du Finistère. Elles ont en commun de tenter de s'affranchir des conséquences négatives générées par les solutions classiques de fixation des rivages en composant avec les processus naturels et en restant généralement « flexibles », c'est-à-dire pouvant être a priori adaptées ou retirées plus aisément en cas d'insuccès ou d'effet négatif trop important. Dans ce sens, elles tentent souvent de tirer parti des dynamiques naturelles plutôt que s'y opposer. Cependant, le recul manque fréquemment pour en tirer



Plage de Léhan | Treffiagat

des conclusions définitives. Pour un décideur, s'appuyer sur ces solutions expérimentales revêt parfois un caractère de « pari » difficilement soutenable lorsque de nombreux enjeux et des vies sont concernés. Dans les exemples pris pour illustrer leur utilisation dans le Finistère ou en France, un suivi permettant d'évaluer leur efficacité ou leurs conséquences sur le trait de côte fait défaut.

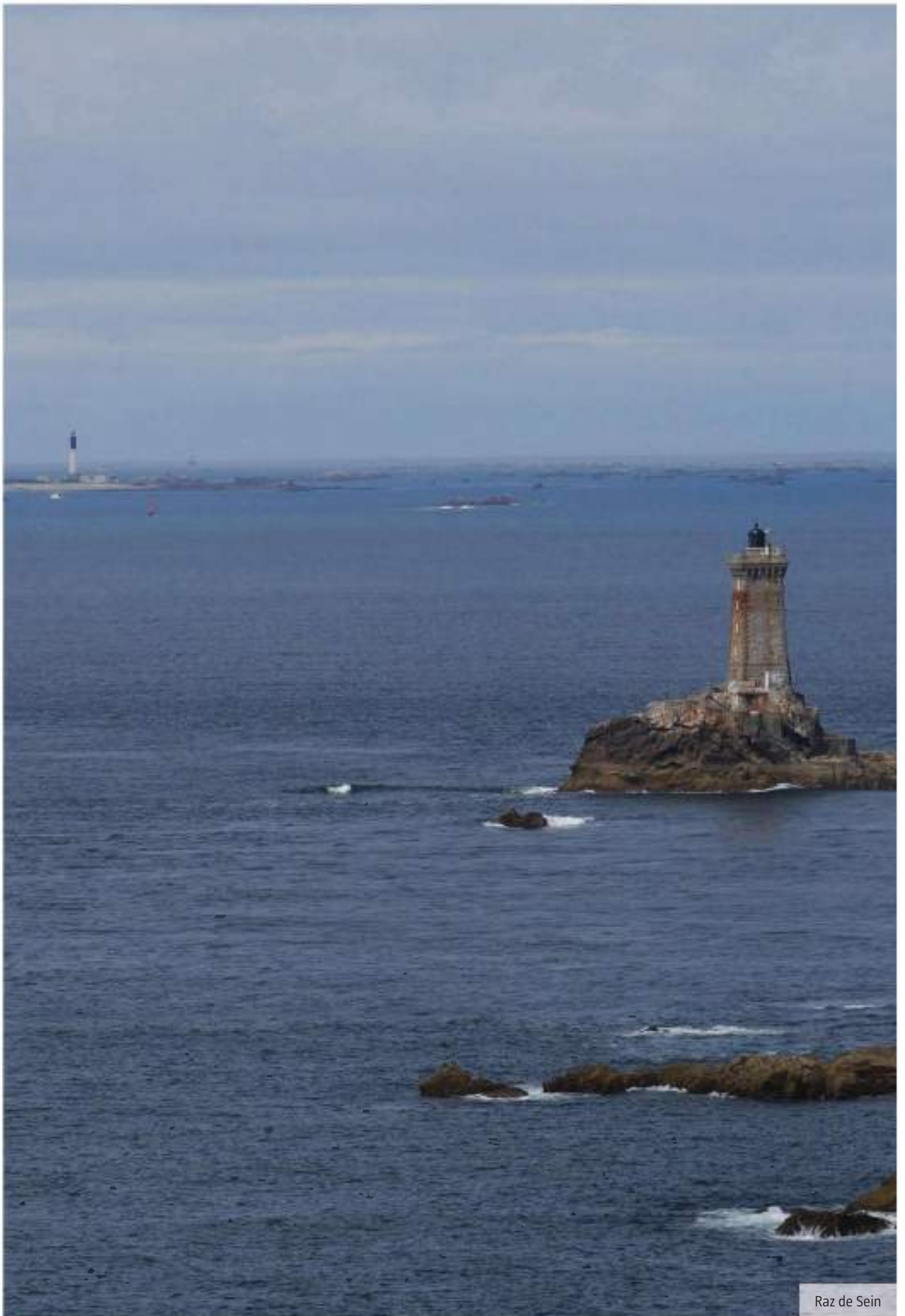
Conjointement, quelles que soient les options, les limites existent qui peuvent être à la fois techniques et financières : techniques, tout d'abord, lorsque la sévérité des phénomènes à l'origine de l'érosion et de la submersion est importante ; financières, ensuite, lorsque le bénéfice espéré de la protection reste moindre que l'engagement budgétaire à consentir. Ces deux limites techniques et financières sont à jauger : d'une part, au regard des conditions naturelles actuelles, donc pour leur utilité immédiate ; et d'autre part, pour les décennies à venir, au-delà donc d'un mandat électoral, puisque les perspectives d'élévation du niveau de la mer vont nécessairement modifier l'exposition des côtes à l'érosion et la submersion, à la fois en ampleur et en fréquence. Dans ce sens, même si ces deux caractères ne peuvent être précisément pré-évalués, la réflexion doit plus certainement être guidée, non plus uniquement par les forces et processus naturels dont on souhaite se protéger mais, prioritairement par ce qui rend nécessaire la protection, à savoir les vies humaines et les biens implantés sur des littoraux confrontés à l'érosion et à la submersion.

Les principes édictés par la stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte déclinée localement peuvent alors orienter et appuyer efficacement la décision. Trois options stratégiques se présentent :

- lorsque les enjeux collectifs et la sécurité des personnes concernées le nécessitent, la stratégie la plus adaptée visera à protéger les enjeux, a priori quel qu'en soit le coût. Cette option conduit à rechercher des solutions techniques permettant de s'opposer au mieux aux processus d'érosion et/ou de submersion, ce qui se traduit par des ouvrages massifs et généralement coûteux. Cependant, cette option ne sera pleinement efficace qu'à la condition d'être associée à une réflexion concomitante ainsi qu'à un échéancier de réduction programmée, à moyen ou long terme, des enjeux à protéger, et en premier lieu, ceux qui n'ont pas une nécessité impérative d'être implantés sur le littoral ;
- quand les enjeux limités permettent de le justifier, l'adoption de méthodes flexibles est alors à privilégier. Elles se justifieront aussi du point de vue financier. Elles consistent à préconiser des interventions limitées qui visent à accompagner les processus naturels et à rééquilibrer les bilans sédimentaires déficitaires. Ces méthodes doivent être, elles aussi associées à une réflexion de retrait progressif des enjeux et leur relocalisation hors des périmètres concernés par les processus d'érosion et de submersion marines immédiats et à venir, en programmant un calendrier des opérations ;
- dès lors que les enjeux ne le justifient plus, l'absence d'intervention est alors normalement recommandée. Cette position se justifie pleinement sur les espaces de nature notamment. L'érosion et la submersion des rivages sont alors acceptées comme des évolutions naturelles des milieux lorsqu'elles surviennent. Un suivi des évolutions naturelles du trait de côte est néanmoins recommandé. Dans le cas où quelques enjeux peuvent encore être concernés, ce suivi permet alors de programmer à temps et de mettre en œuvre leur délocalisation ainsi que de préparer les populations concernées.

Ces principes sont destinés à promouvoir une gestion durable des risques littoraux sur les territoires côtiers concernés par l'érosion et la submersion. Ils sont encadrés par des textes et des outils juridiques pour leur mise en œuvre (lois Barnier, Bachelot, PPR, Gemapi, loi Climat et Résilience...) ainsi que des guides méthodologiques et techniques. Ils suscitent néanmoins de fréquentes oppositions lors de leur application sur le terrain. Celles-ci sont guidées par la détermination des sociétés à vouloir résister à tout prix aux forces naturelles et à ne pas « céder » face à la mer. Cette détermination est très fréquemment renforcée par les pressions de riverains et la résistance des populations concernées sur des territoires qu'ils se sont appropriés. Celles-ci trouvent leur origine, entre autres, dans un défaut de mémoire collective des épisodes passés d'érosion et de submersion voire le déni ; mais aussi dans une confiance exagérée dans les techniques et dans la capacité des pouvoirs publics à pouvoir gérer ces processus d'érosion et de submersion actuel et à venir. Elles consistent, au final, à se diriger vers des solutions de confortement des sites menacés et de réparation systématique des dommages engendrés. Elles sont parallèlement renforcées par des logiques de rentabilité à court terme qui accentuent la densification des enjeux sur les territoires côtiers, en particulier sur et à proximité du trait de côte, en opposition totale alors avec la logique la plus souhaitable de réduction programmée des enjeux à protéger.

Définir une stratégie de gestion des risques littoraux à long terme qui intègre une réduction voire une disparition progressive des enjeux menacés permet d'ajuster la ou les réponses techniques de protection contre l'érosion et de la submersion marines dans l'immédiat mais aussi dans l'avenir. Si, à cet égard, la prise de conscience a été progressive, il faut néanmoins souligner que les mentalités évoluent et, désormais, et la protection « à tout prix » ne constitue plus toujours la démarche systématique dans laquelle s'engagent les communes et leurs groupements.



Raz de Sein

2

Techniques courantes de gestion des risques littoraux



Fiche 1 - Ouvrages longitudinaux de haut de plage

Fiche 2 - Ouvrages transversaux

Fiche 3 - Ouvrages longitudinaux de bas de plage et d'avant-plage

Fiche 4 - Ouvrages de soutènement

Fiche 5 - Ouvrages de stabilisation des falaises

Fiche 6 - Drainage de versants de falaise

Fiche 7 - Reprofilage de falaises

Fiche 8 - Confortement dunaire

Fiche 9 - Rechargement sédimentaire

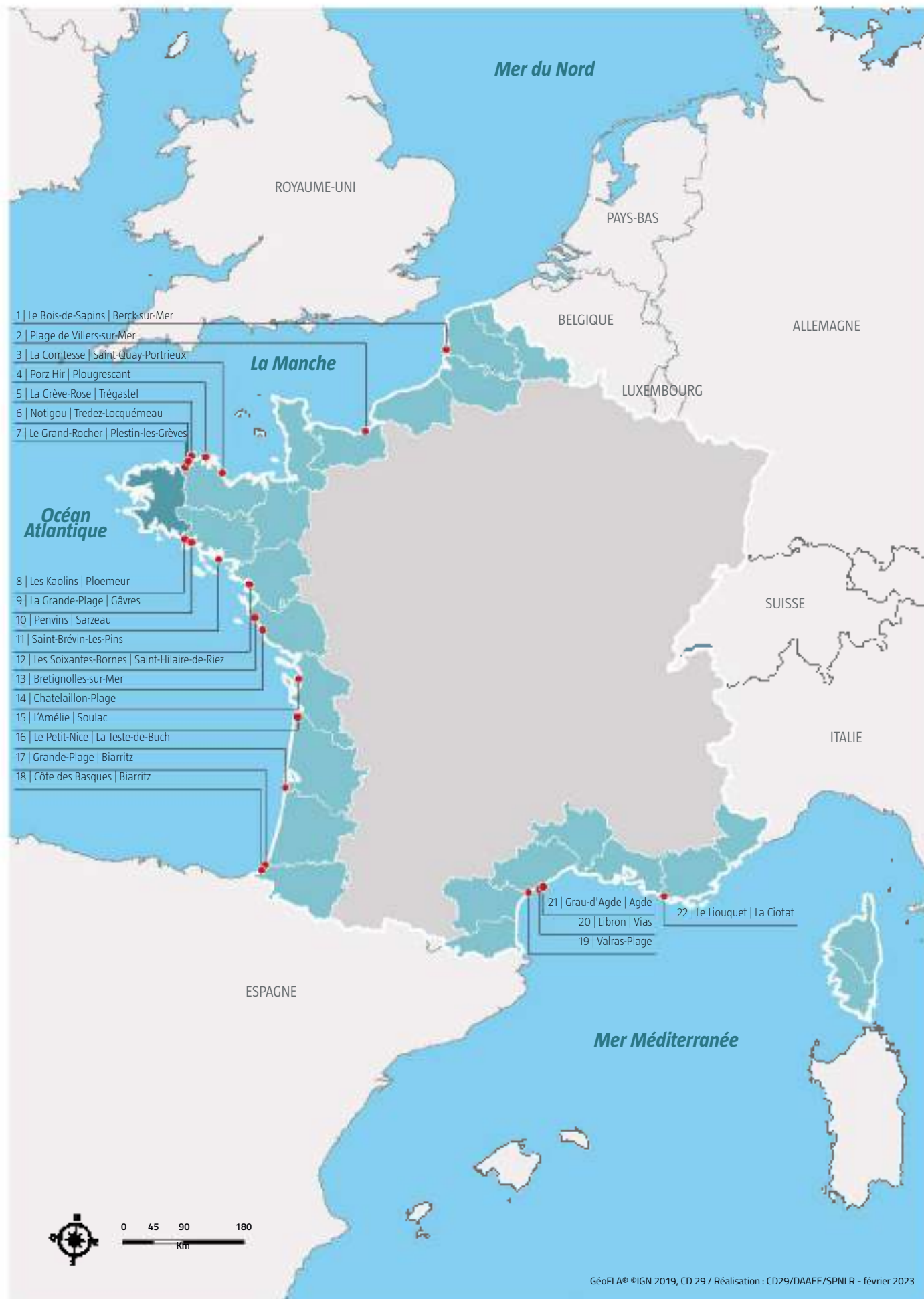
Fiche 10 - Pieux hydrauliques

Fiche 11 - Drainage de plage

Fiche 12 - Canalisation de la fréquentation

Fiche 13 - Brise-vent, piégeage et maintien des sédiments

Les cartes ci-dessous (cf. figure 16) localisent les sites qui sont mentionnés ou qui font l'objet d'une analyse détaillée dans le texte et dans les fiches synthétiques des solutions techniques, à la fois dans le Finistère et en France métropolitaine. Les cartes de la figure n°17 localisent, quant à elles, en France métropolitaine et dans le Finistère, les divers types de techniques mis en œuvre.



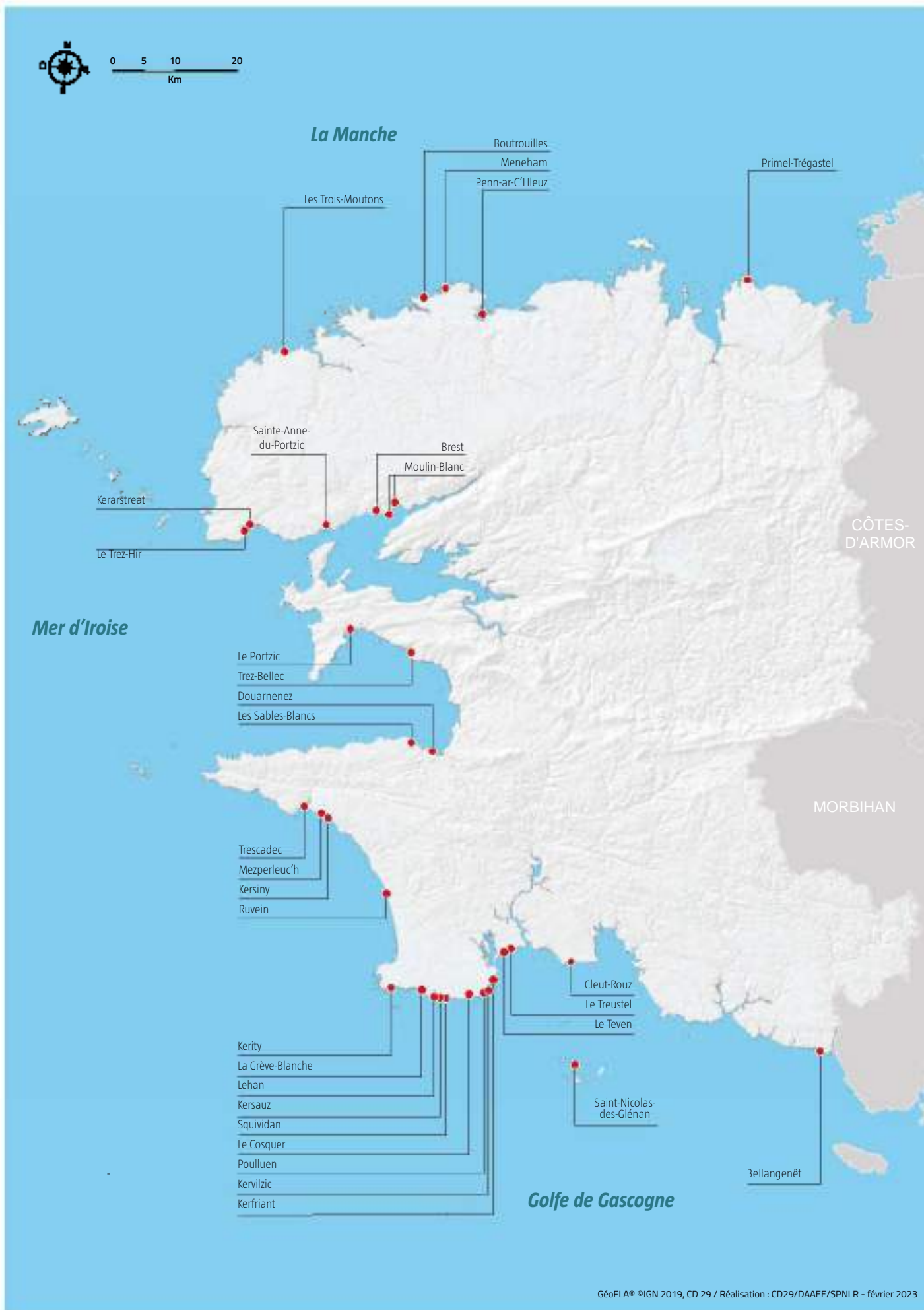
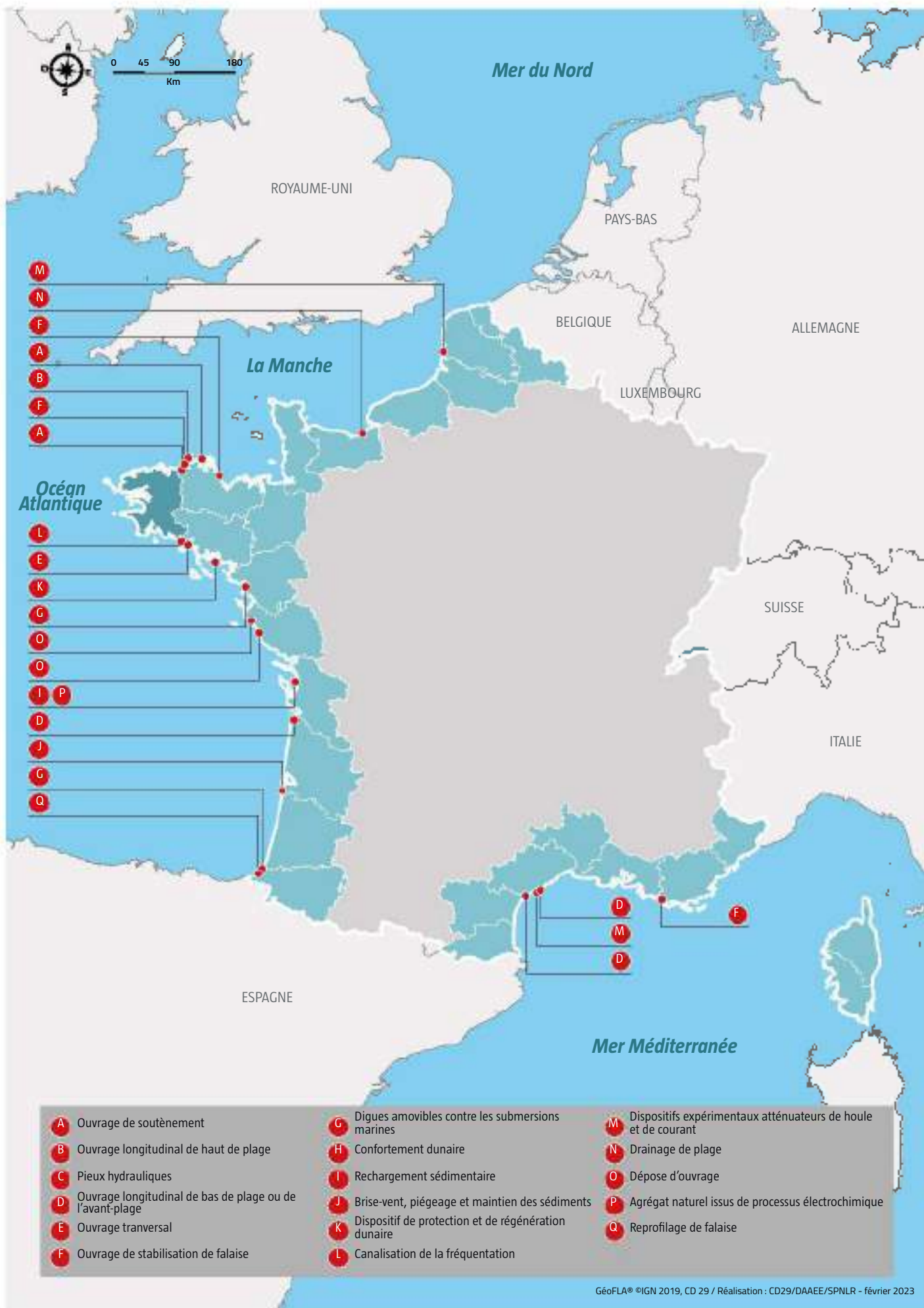


Figure 16 : localisation des sites en France métropolitaine et dans le Finistère respectivement.



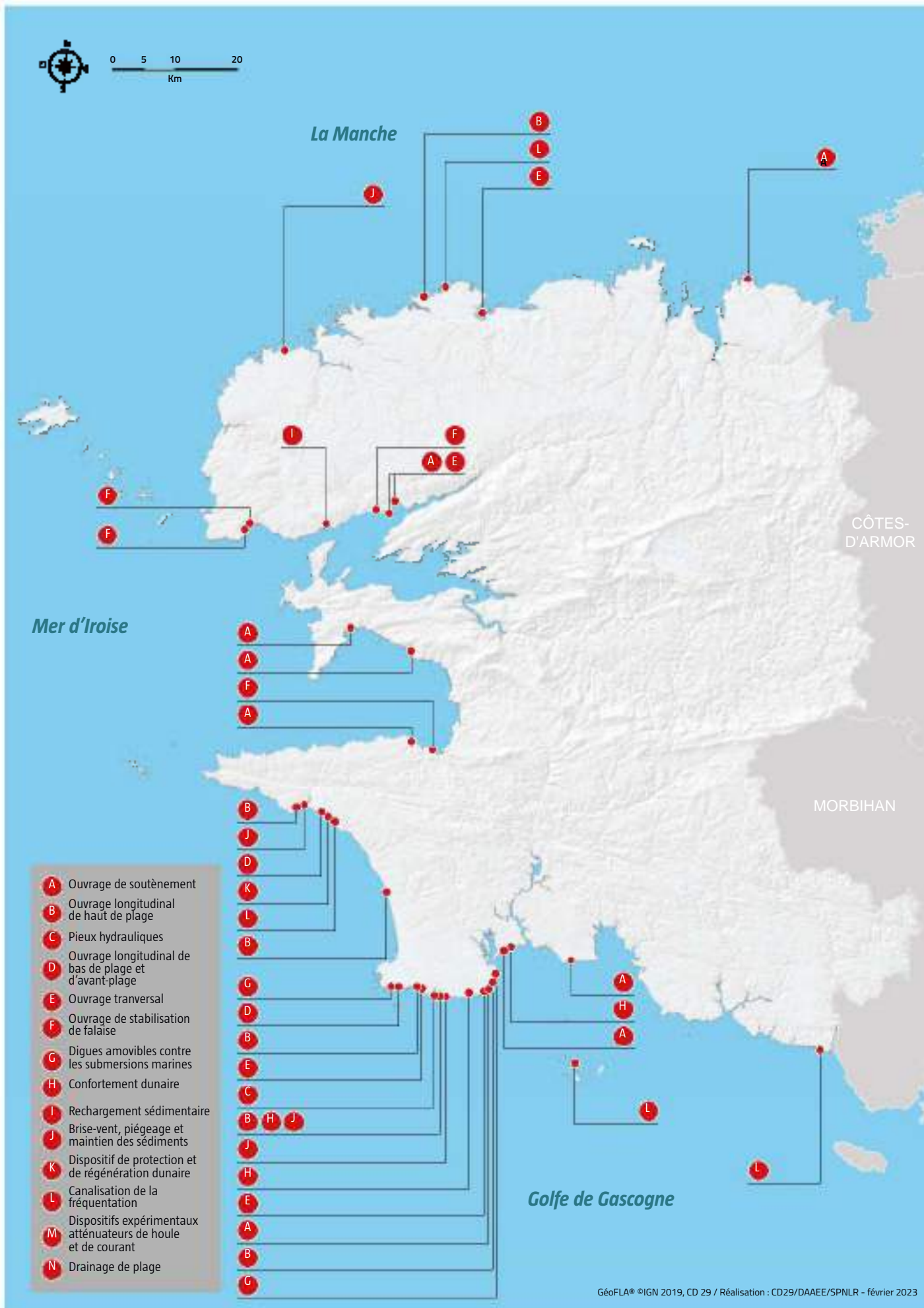


Figure 17 : localisation des solutions techniques mises en œuvre en France métropolitaine et dans le Finistère et mentionnées ou détaillées dans les fiches synthétiques.

Tableau récapitulatif des solutions techniques de gestion

Techniques	Objectifs	Avantages	Inconvénients
<i>Ouvrages longitudinaux de haut de plage</i>	<p>Fixer la position du trait de côte pour empêcher tout recul et l'invasion par la mer des espaces rétro-littoraux, soit par érosion progressive, soit par submersion marine lors des tempêtes.</p> <p>Absorption et réflexion de l'énergie des vagues pour empêcher l'érosion des sédiments du trait de côte (côte d'accumulation) ou le sapement du pied de falaise (côte d'ablation).</p>	<p>Fixation du trait de côte et protection des enjeux situés derrière.</p> <p>Atténuation voire interruption de l'impact des houles sur le trait de côte.</p> <p>Certains ouvrages sont simples et rapides à mettre en place et peuvent être utilisés en urgence pour un tempête ou une saison.</p>	<p>Amaigrissement voire disparition de la plage située en avant de l'ouvrage par réflexion de l'énergie des vagues.</p> <p>Interruption des échanges sédimentaires entre la plage et la dune.</p> <p>Risque de déstabilisation voire de déchaussement de l'ouvrage par affouillement et abaissement du niveau de la plage située devant l'ouvrage.</p> <p>« Effet de bout » : accentuation généralisée de l'érosion sur le trait de côte non protégés aux extrémités de l'ouvrage.</p>
<i>Ouvrages transversaux</i>	<p>Réduire voire interrompre le transit sédimentaire longitudinal (dérive littorale).</p> <p>Créer une accumulation de sédiment en amont de la dérive littorale dans le cas d'un ouvrage unique.</p> <p>Une batterie d'épis vise à stabiliser le trait de côte.</p>	<p>Efficacité dont la rapidité est dépendante de la dérive littorale du site.</p> <p>Stabilisation efficace du trait de côte dans le cadre d'une batterie d'épis.</p>	<p>Rétention sédimentaire en amont dérive mais une érosion en aval dérive de l'ouvrage.</p> <p>Intégration paysagère plus ou moins bonne car les épis déforment le trait de côte.</p> <p>Obstruction du passage piétonnier le long de la plage.</p> <p>Formation de courants dangereux pour les baigneurs.</p>
<i>Ouvrages longitudinaux de bas de plage et d'avant-plage</i>	<p>Provoquer le déferlement des vagues avant qu'elles n'atteignent le rivage pour atténuer leur énergie et donc limiter leur impact sur la côte.</p> <p>S'opposer aux courants perpendiculaires au trait de côte.</p>	<p>Protection efficace et rapide.</p> <p>Si des tombolos se forment, ils permettent de gagner en surface de plage : protection accrue du trait de côte et atout pour le tourisme.</p> <p>Substrat intéressant pour la faune et la flore marines.</p>	<p>La courantologie littorale est modifiée au droit et entre chaque ouvrage : courants dangereux pour les baigneurs.</p> <p>Déstabilisation de la cellule hydrosédimentaire initiale qui est divisée en plusieurs petites cellules.</p> <p>Intégration paysagère plutôt mauvaise : déformation du trait de côte et présence des ouvrages en bas de plage ou à l'avant-plage.</p>
<i>Soutènements</i>	<p>Soutenir les terres situées derrière l'ouvrage.</p> <p>Stopper l'érosion du trait de côte.</p> <p>Avec un couronnement au sommet de l'ouvrage ou une forme concave de celui-ci, éviter la projection de paquets de mer en arrière .</p>	<p>Fixation efficace et immédiate du trait de côte.</p> <p>Soutien des terres.</p> <p>Protection contre l'érosion du trait de côte.</p> <p>Parfois, protection contre les submersions marines.</p>	<p>Forte réflectivité des ouvrages</p> <p>Problème d'affouillement au pied des ouvrages.</p> <p>Risque d'effondrement avec la charge en eau et la mobilité du versant.</p> <p>Artificialisation du trait de côte.</p>
<i>Ouvrages de stabilisation des falaises</i>	<p>Stabiliser les blocs instables de versants rocheux.</p> <p>Retenir la chute de blocs.</p>	<p>Solution plutôt durable qui fixe le versant sur le moyen / long terme.</p> <p>Augmentation de la stabilité de la falaise.</p> <p>Protection des piétons, ouvrages et autres enjeux situés au pied de la falaise instable.</p>	<p>Mise en place lourde.</p> <p>Risque d'empirer la situation en fracturant davantage la roche.</p> <p>Perturbation du ruissellement interne de la falaise.</p> <p>Destruction de la faune et de la flore sur le versant.</p> <p>Besoin d'inspection régulière des ouvrages.</p>

Techniques	Objectifs	Avantages	Inconvénients
<i>Drainage de versant</i>	<i>Diminuer la teneur en eau des formations rocheuses. Évacuer les eaux continentales. Éviter la déstabilisation des falaises.</i>	<i>Facilité de mise en œuvre Impact visuel limité. Gestion des eaux d'infiltration et/ou des nappes dans le corps de la falaise.</i>	<i>Nécessité d'un entretien régulier des installations.</i>
<i>Reprofilage de versant</i>	<i>Retrait des blocs ou des zones instables d'un versant. Redonner un profil d'équilibre à un versant.</i>	<i>La falaise retrouve un profil d'équilibre plus stable. Ralentissement de l'érosion, l'affaissement et l'éboulement de la falaise.</i>	<i>Fort impact paysager. Destruction de la biodiversité. Très coûteux. Besoin de beaucoup d'espace en arrière du sommet de la falaise et/ou au pied de celle-ci.</i>
<i>Drainage de plage</i>	<i>Diminuer les départs de sable causé par la nappe de retrait ou la force de reflux des vagues. Augmenter le dépôt des sédiments transportés par les vagues. Constituer une réserve de sable en haut de plage qui sert de « stock tampon » pour protéger le trait de côte de l'assaut des vagues.</i>	<i>Efficacité avérée à court ou moyen terme. Système invisible qui a donc une très bonne intégration paysagère. L'engraissement de la plage forme une zone tampon qui aide à l'atténuation des vagues. Augmentation de la surface de la plage sèche.</i>	<i>Ne peut pas être mis en place partout mais seulement sur des sites avec une érosion lente et continue. Efficacité à nuancer pendant les tempêtes. De plus, des événements de forte érosion soudaine présentant des risques de désensablement de l'installation.</i>
<i>Confortement dunaire</i>	<i>Reconstituer la dune ou le cordon dunaire pour renforcer les stocks sableux mobilisables et lui rendre son rôle et son fonctionnement naturels de protection des zones situées derrière contre les risques côtiers.</i>	<i>Renforcer la dune naturelle pour protéger les espaces arrière-littoraux d'une submersion marine et/ou de l'érosion. Redonner un profil d'équilibre au cordon dunaire et ré-initier les processus naturels du fonctionnement dunaire par engraissement / érosion. Faible impact paysager : préservation de la dune et retour progressif à une forme naturelle du littoral.</i>	<i>Cette solution est non pérenne et nécessite des entretiens réguliers Nécessité de moyens lourds (camions, engins de chantiers...).</i>
<i>Rechargement sédimentaire</i>	<i>Compenser le déficit sédimentaire d'une plage en apportant des sédiments. Protéger le trait de côte de l'érosion en augmentant la largeur et l'altitude de la plage. Améliorer l'attractivité de la plage, et donc sa fréquentation, en augmentant la surface de la plage, notamment de la plage asséchée à basse mer en haut de l'estran en période estivale.</i>	<i>Pas de fixation du trait de côte et pas de dégradation paysagère : la plage garde un aspect naturel. Élévation de l'altitude de la plage : les vagues atteignent moins fréquemment et/ou avec une intensité plus faible le trait de côte. Une surface de déflation en haut d'estran peut être créée qui permet l'alimentation de la dune. Le trait de côte et les espaces arrière-littoraux sont mieux protégés des aléas côtiers. Extension de la plage : impacts paysagers et touristiques positifs.</i>	<i>Difficulté de trouver une source de sédiments compatible avec les sédiments de la zone à recharger. Les extractions des sédiments en mer peuvent avoir des impacts négatifs sur l'environnement alentour à cause de l'augmentation de la turbidité de l'eau. Le succès des opérations est dépendant des conditions météorologiques et marégraphiques de la période des opérations. Dans certains cas, un seul événement tempétueux peut emporter la totalité du rechargement. Lorsque le déficit sédimentaire est chronique : des rechargements d'entretien sont indispensables.</i>

Techniques	Objectifs	Avantages	Inconvénients
<i>Pieux hydrauliques</i>	<p>Favoriser la sédimentation en haut de plage, entre le dispositif et le linéaire en érosion et limiter le recul du rivage.</p> <p>Réduire l'énergie du jet de rive avant qu'il atteigne la ligne de rivage.</p> <p>Réduire l'énergie de la nappe de retrait lorsqu'elle redescend la pente de la plage, sauf au droit des pieux.</p> <p>Atténuer l'énergie des vagues incidentes et réfléchies sur les ouvrages lorsque les pieux sont disposés en avant d'une digue ou d'un perré.</p>	<p>Dispositif localement efficace en conditions d'énergie moyenne et faible des vagues en avant d'un trait de côte dunaire en érosion.</p> <p>Apparaît efficace pour atténuer l'énergie des vagues devant un ouvrage en dur (digue, perré).</p> <p>Esthétique discutable, parfois jugée plus satisfaisante que d'autres type de structures protection d'opposition aux processus naturels.</p>	<p>Absence de règles de construction bien déterminées et adaptables à chaque cas de figure.</p> <p>Fixité du dispositif en avant de la dune qui perd son intérêt lorsque le trait de côte et l'accumulation dunaire reculent.</p> <p>Stabilité des pieux fortement sensible à l'abaissement de l'altitude de la plage et à la thixotropie.</p> <p>Inenvisageable pour des accumulations intertidales de trop faible épaisseur sédimentaire.</p> <p>Comme toute structure rigide de protection, le dispositif peut engendrer un effet de bout en aval-dérive.</p> <p>Entretien et contrôle réguliers de la stabilité des pieux.</p> <p>Inefficace en période de forte agitation de la mer.</p> <p>Produit une paroi de réflexion des vagues susceptible d'aggraver l'érosion de la plage en avant du dispositif.</p> <p>Barrière à la circulation piétonne (ou des secours) entre le haut de la plage et la mer.</p> <p>Gestion difficile des pieux arrachés qui peuvent dériver en mer et provoquer des incidents.</p>
<i>Dispositifs atténuateur de houle et des courants</i>	<p>Atténuer l'énergie des houles et des courants avant qu'ils atteignent la plage.</p> <p>Augmenter la sédimentation au pied de l'ouvrage et entre celui-ci et la plage car l'énergie est plus basse.</p>	<p>Impact paysager faible à nul.</p> <p>Certaines structures forment des habitats pour la faune et la flore sous-marines.</p>	<p>Ensablement rapide de certaines structures.</p>
<i>Digues amovibles contre les submersions marines</i>	<p>Refouler les vagues submersives.</p> <p>Limiter les inondations par submersion marine.</p>	<p>Dispositifs légers, peu encombrants et facilement montables et démontables.</p> <p>Structure modulable (longueur, taille, forme, lieu d'implantation).</p>	<p>Nécessité de moyens humains mobilisables en cas d'alerte.</p>
<i>Dispositifs de protection et régénération dunaire</i>	<p>Augmenter la captation et l'accumulation des sédiments sur le haut de plage.</p> <p>Maintien des sédiments en limitant la déflation éolienne Favoriser la reprise de la végétation.</p>	<p>Protection efficace du pied de dune.</p> <p>Utilisation uniquement d'éléments naturels pour provoquer une régénération au pied de la falaise.</p>	<p>Applicable seulement sur les zones avec des échouages d'algues massifs car il est nécessaire de prélever de grandes quantités d'algues.</p> <p>Besoin de main d'œuvre pour remplir régulièrement les casiers d'algues.</p>

Techniques	Objectifs	Avantages	Inconvénients
<i>Agrégat naturel issu de processus électrochimiques</i>	<p>Améliorer la durabilité des ouvrages en durs (digues, épis, brise-lame, mur...) de gestion du trait de côte.</p> <p>Comblent les affouillements qui menacent des ouvrages.</p> <p>Retenir les sédiments sur le haut de plage.</p>	<p>Accroissement de la durée de vie des ouvrages.</p> <p>Impact écologique neutre.</p> <p>Facilité de mise en œuvre.</p> <p>Le matériau semble autonome de la structure en cas de dégradation.</p> <p>Pas besoin d'apports sédimentaires extérieurs.</p>	<p>Durée de la formation du matériau qui est assez longue.</p> <p>Pas adapté à toutes les situations : il y a besoin d'un lieu avec des sédiments car seulement dans la colonne d'eau ou en présence de vases très fines le procédé fonctionne mal.</p>
<i>Canalisation de la fréquentation</i>	<p>Canaliser les usagers sur des cheminements renforcés ou délimités par des clôtures.</p> <p>Eviter le piétinement de la végétation par les cheminements épars qui favorisent leur dégradation.</p>	<p>Pas de modification des dynamiques naturelles.</p> <p>Facilité et rapidité de mise en œuvre</p> <p>Faible coût.</p>	<p>Franchissement simple pour les structures de faible hauteur.</p>
<i>Brise-vent, piégeage et maintien des sédiments</i>	<p>Diminuer la vitesse de vent pour limiter l'érosion éolienne.</p> <p>Favoriser le piégeage des sédiments et donc la sédimentation.</p> <p>Maintien des sédiments sur la dune.</p>	<p>Facilité et rapidité de mise en œuvre (permet de faire appel à un chantier participatif).</p> <p>Faible coût.</p> <p>Matériaux biodégradables (fibres de coco).</p>	<p>Besoin d'un suivi régulier.</p> <p>Pose et dépose saisonnière localement nécessaire.</p> <p>Peu résistant aux événements météo-marins violents.</p>
<i>Dépose d'ouvrages</i>	<p>Rétablir les dynamiques hydrosédimentaires naturelles du site.</p> <p>Enlever les ouvrages inutiles à la protection du trait de côte contre les risques côtiers ou aggravant les phénomènes d'érosion.</p> <p>Retrouver un impact paysager nul.</p>	<p>Rétablissement des dynamiques hydrosédimentaires naturelles du site.</p> <p>Amélioration de l'aspect visuel du site.</p>	<p>Coût très élevé.</p> <p>Selon les cas, difficulté à retrouver l'état originel du site avant l'installation des ouvrages.</p>

Tableau récapitulatif des solutions techniques et de leurs avantages et inconvénients.



Fiche 1

Ouvrages longitudinaux de haut de plage

Plage de Cleut Rouz | Fouesnant



Lieux d'implantation possibles

Côtes d'accumulation



Falaises meubles



Falaises rocheuses



Côtes anthropisées



Description

Les ouvrages longitudinaux de haut de plage sont disposés parallèlement au trait de côte (cf. figure 18) et, généralement, à proximité immédiate de l'enjeu à protéger. Ils sont adossés au cordon littoral ou à la falaise à protéger. Ils sont l'une des techniques de protection les plus répandues sur le littoral : ces ouvrages garantissent, en

effet, dès leur implantation la protection des enjeux situés directement en arrière. Ils sont ainsi souvent utilisés en situation d'urgence.

Ces ouvrages sont conçus pour empêcher l'effet érosif des vagues sur le trait de côte, le pied de dune ou le pied de falaise. Ils fonctionnent par absorption et réflexion partielle de

l'énergie des vagues qui, au lieu de se dissiper sur le littoral en érosion, va se heurter à l'ouvrage.

Ils peuvent également être utilisés pour protéger des zones basses des submersions marines.

Objectifs

- Fixer la position du rivage pour empêcher le recul du trait de côte ou l'invasion par la mer des espaces rétro-littoraux, soit par érosion progressive, soit par submersion marine lors des tempêtes.
- Empêcher l'érosion des sédiments du trait de côte (côte d'accumulation) ou le sapement du pied de falaise (côte d'ablation) par séquestration des sédiments, absorption, réflexion et dissipation partielle de l'énergie des vagues.



Figure 18 : ouvrages longitudinaux : en haut, en enrochements, plage de Trescaderc, Audierne ; en bas : en big bags, plage de la Grève Rose, Trégastel.

Méthodes et conditions d'implantation

Différents types d'ouvrages existent :

- **perré en enrochements** (cf. figure 19) : ils sont composés de blocs de pierres ou de bétons non liés entre eux, généralement agencés et organisés (verticalement selon la taille des blocs), disposés sur une couche de filtre de transition, reposant elle-même sur un talus modelé selon la pente de l'enrochement. La structure possède une fondation en pied, ancrée dans le substrat rocheux ou disposée sur une semelle de fondation. La taille des blocs, leur nature (type de roche choisi – souvent en lien avec la disponibilité en matériaux des carrières avoisinantes dans le Finistère) et le nombre de couches est déterminé dans le cadre du dimensionnement de l'ouvrage ;



Figure 19 : perré en enrochements sur la plage de Léhan à Treffiagat.

- **perré maçonné ou bétonné** (cf. figure 20) : les perrés maçonnés sont les ouvrages longitudinaux de haut de plage les plus anciens. Ils sont souvent historiquement constitués de maçonneries plus grossières en retrait du premier rang de pierres jointoyées (parfois les pierres ne sont volontairement pas jointoyées). Les perrés constitués de pierres dures peuvent avoir une très longue durée de vie mais perdent leur efficacité à long terme s'ils sont insuffisamment ou mal entretenus (rejointoiement, colmatage) ;



Figure 20 : perré maçonné à Loctudy.

- **boudins géotextiles** (cf. figure 21) : les géotextiles sont des tissus en fibre synthétique qui ont la capacité de laisser passer l'eau. Les boudins se présentent sous forme de « tubes » qui sont remplis de matériaux sédimentaires, souvent avec le sable prélevé sur la plage grâce à une pompe de refoulement ou avec des sédiments apportés. Ils peuvent, dans certains cas, être recouverts par les sédiments de la plage. Ils servent à renforcer la base du cordon dunaire en l'isolant des actions directes des vagues en haut de plage et doivent y favoriser l'accumulation de sable. Lorsque cette situation est atteinte, ils ne s'opposent plus aux processus naturels ;



Figure 21 : ouvrage en boudin géotextile en pied de dune, la Grève-Blanche au Guilvinec.

- **big bags** (cf. figure 22) : les big bags sont des sacs de géotextile remplis de matériaux (sables, galets, terre) placés les uns à côté des autres le long du trait de côte. Ils peuvent également être empilés. Ils sont destinés à absorber l'énergie des vagues en haut de plage et à empêcher l'érosion du pied de dune ou du pied de falaise. Ces sacs sont plus fragiles que les enrochements et les gabions. Leur efficacité est relative en fonction des conditions hydrodynamiques du site d'implantation. Leur rapidité de mise en place leur permet d'être facilement installés en situation d'urgence. Leur détérioration est généralement rapide et ils doivent être enlevés avant qu'ils soient disloqués et rejettent des fibres dans l'environnement.



Figure 22 : protection en big bags sur la plage de la Grève-Rose à Trégastel.

Intérêts

- Effet immédiat de fixation du trait de côte et donc de protection des enjeux situés en arrière.
- Atténuation voire interruption de l'impact des houles sur le trait de côte.
- Certains ouvrages longitudinaux sont simples et rapides à mettre en place en haut de plage et peuvent être posés en urgence en cas de tempête ou de manière temporaire durant l'hiver par exemple.

Limites

- Amaigrissement voire disparition de la plage située en avant de l'ouvrage du fait de la réflexion de l'énergie des vagues, et départ des sédiments en bas d'estran ou vers l'avant-plage.
- Perturbation de la faune et de la flore.
- Interruption des échanges sédimentaires entre la plage et la dune, ce qui contribue davantage à l'amaigrissement de la plage en période d'agitation et, inversement, arrêt des apports sédimentaires vers l'accumulation dunaire.
- Risque de déstabilisation voire de déchaussement de l'ouvrage par affouillement et abaissement du niveau de la plage située devant l'ouvrage.
- « Effet de bout » : accentuation généralisée de l'érosion sur le trait de côte non protégé par un ouvrage aux extrémités de celui-ci.
- Coût de construction élevé (selon technique utilisée).

Coûts

Les coûts présentés sont issus d'un recensement d'exemples d'implantation de ce type d'ouvrages. Ils correspondent donc aux dépenses effectuées par rapport au budget mobilisable des gestionnaires des ouvrages. Ils ne représentent donc pas nécessairement le coût idéal à mobiliser. Les coûts de construction et d'entretien varient en fonction du contexte du site d'implantation, du type de matériau, de la technique d'intervention et du dimensionnement de l'ouvrage. La disponibilité des matériaux ainsi que l'accessibilité du site sont également des facteurs qui influencent le coût des opérations, tout comme les possibles mesures d'évitement, de réduction et/ou de compensation associées au projet (intégration environnementale des ouvrages). D'autres facteurs plus explicites peuvent avoir un impact sur le coût des opérations tels que : le coût des matières premières, les opportunités dépendant des offres des fournisseurs, le choix de la période d'intervention ainsi que le coût de transport des matériaux, par exemple (cf. figure 23).

Type	Construction	Reconstruction	Réfection	Entretien
Ouvrage en enrochements	De 370 à 1 600 €/ml selon hauteur. De l'ordre de 14 à 30 €/t de matériau.	De 370 à 1 600 €/ml selon hauteur.	De 370 à 1 600 €/ml selon hauteur.	3 à 5 % du coût de construction/an, équivalent au coût de construction au bout de 20 à 30 ans.
Boudin géotextile en pied de dune	De 1 200 à 1 600 €/ml hors préparation du terrain.	Pas de données.	Pas de données.	Pas de données.
Structure en big bags	Sac de 1 m ³ : 10 € Hors logistique et terrassement.	Pas de données.	Pas de données.	3 à 5 % du coût d'achat durée de vie de 5 ans ou plus (mais parfois bien plus courte).

Figure 23 : coûts de mise en œuvre, reconstruction et entretien de divers types d'ouvrages longitudinaux.

Enrochement d'un cordon dunaire

Site de Cleut-Rouz à Fouesnant (29)



Figure 24 : localisation du site de Cleut-Rouz à Fouesnant.

Localisation et description du site

La plage de Cleut-Rouz se situe à Fouesnant dans le Finistère sud (cf. figure 24). La plage de sable est adossée à un cordon dunaire qui s'étend de la pointe de Mousterlin à l'ouest à la pointe rocheuse de Beg-Meil à l'est. En arrière de ce cordon dunaire, les marais de Mousterlin constituent un site naturel protégé, propriété du Conservatoire du Littoral. La communication et les échanges hydrauliques entre la mer et les marais se font par l'intermédiaire d'un exutoire artificiel muni de vannes.

Les agents morphologiques qui régissent les évolutions de la côte sur ce site sont :

- **les vents**, en particulier ceux associés aux tempêtes de secteur sud-ouest à ouest ;
- **les agents marins** (houles et courants). Les houles proviennent principalement du sud-ouest à l'ouest. Les courants de marée sont faibles dans cette zone : les courants de flot se dirigent vers l'est et les courants de jusant sont, à l'inverse, orientés vers l'ouest. Les houles et les vents dominants d'ouest et de sud-ouest déterminent la direction principale de la dérive littorale qui est orientée de l'ouest vers l'est ;
- **les aménagements et les actions anthropiques** : peu d'habitations et d'infrastructures sont présentes en arrière du littoral de Mousterlin, excepté au niveau de la pointe. Cependant, le cordon dunaire et la plage sont très fréquentés par le public ce qui a engendré l'aménagement d'aires de stationnement et de sentiers piétonniers. Cette fréquentation du site participe à la dégradation de la couverture végétale dunaire, l'ouverture de siffle-vents dans la dune au niveau des accès à la plage qui sont susceptibles de s'agrandir s'ils ne sont pas gérés.

Il convient toutefois de noter que la tendance générale de recul du rivage sur ce site est à l'origine naturelle.

Historique des techniques de gestion du site

À l'est de la pointe de Moustierlin, jusqu'à Cleut-Rouz, le cordon est aujourd'hui artificialisé sur 1 500 m de rivage (cf. figure 25). En effet, à la suite de différents épisodes de recul du trait de côte, des ouvrages ont progressivement été mis en place :

- **1924** : la pointe de Moustierlin est ceinturée par un mur de défense contre l'érosion ;
- **1978** : construction d'une route par la Municipalité de Fouesnant à la pointe de Moustierlin afin de consolider le mur de soutènement déjà en place ;
- **1981** : création, par la commune, d'un perré en enrochement de 150 m de long sur le site du Grand-Large pour fixer la dune ;
- **1987** : poursuite du premier enrochement, sur 1 km jusqu'à Cleut-Rouz. Il s'est progressivement transformé en digue-promenade car un cheminement stabilisé, peu perméable et formé d'un revêtement de terre et de tout-venant riche en argiles a été créé au sommet de l'enrochement et donc au sommet de la dune ;
- **depuis le début des années 1990**, des actions de canalisation des chemins piétonniers et recul des aires de stationnement ont été menées.

Les objectifs de l'enrochement de cette portion de côte étaient de protéger de l'érosion les parkings aménagés sur la dune ainsi que de protéger de la submersion marine les zones inondables proches du marais. À l'extrémité orientale de l'enrochement, l'érosion du cordon s'est cependant poursuivie et accélérée dans les années 2000 (tempête Johanna, 2008, succession des tempêtes de l'hiver 2013-2014). La menace de l'ouverture d'une brèche dans cette partie du cordon est devenue de plus en plus probable ;

- **2008** : adjonction d'un enrochement supplémentaire perpendiculaire à l'extrémité de l'enrochement initial ;
- **2014** : un dispositif de pieux hydrauliques (cf. fiche 10 - «Pieux hydrauliques») est positionné à l'extrémité est de l'enrochement pour enrayer le recul du cordon.



Figure 25 : positions des ouvrages littoraux et sens de la dérive littorale dominante entre les sites de Moustierlin et Beg-Meil à Fouesnant.

Effets de l'ouvrage

Différents effets, qu'ils soient positifs ou négatifs, sont observés depuis la mise en place de l'enrochement de Cleut-Rouz :

Les effets positifs :

- l'installation des 3 ouvrages (le mur et les enrochements) a permis de fixer le trait de côte et ainsi arrêter son recul sur plus du tiers de la ligne de rivage, à l'est de la pointe de Moustierlin.

Les effets négatifs :

- ils sont essentiellement liés à « l'effet de bout » de l'enrochement qui se traduit par une accélération du recul du trait de côte générant le surcreusement du cordon dunaire à l'extrémité orientale de l'enrochement (cf. figure 26). En 2008, une étude (Boussard et al., 2008) a comparé les évolutions de la position du trait de côte du site avant (de 1948 à 1987) et après (de 1990 à 2008) la construction de l'enrochement de Cleut-Rouz. Les résultats montrent que le recul accentué du trait de côte à l'est de l'enrochement est une conséquence directe de son aménagement. L'accélération du recul du trait de côte se fait sentir sur les premiers 200 m du cordon dunaire, et particulièrement sur les 60 premiers mètres ;

- les effets négatifs de l'ouvrage concernent également l'amaigrissement de la plage et l'abaissement de son altitude, principalement en-avant de l'enrochement mais aussi sur la portion de plage située en aval-dérive de son extrémité est. Ces effets ont pour origine la réflexion des vagues sur l'ouvrage ainsi que les turbulences générées en avant de l'ouvrage lors de la rencontre des vagues incidentes et réfléchies par l'ouvrage. De plus, les échanges sédimentaires entre la plage et le cordon dunaire qui constitue une réserve de sédiments lors de l'amaigrissement de la plage ne peuvent plus avoir lieu, ce qui accentue le déficit sédimentaire du site. L'abaissement de l'altitude de la plage provoque un déferlement des vagues de plus en plus proche du trait de côte et donc une érosion plus importante du haut de plage et du cordon dunaire. L'éstran au droit de l'ouvrage a perdu son attrait touristique ;



Figure 26 : évolution de « l'effet de bout » à l'extrémité est de l'enrochement entre 1989 (deux ans après la pose) et 2008 (après la tempête Johanna du 10 mars 2008). A gauche : photo de l'extrémité de l'ouvrage prise sur la plage en direction de l'ouest ; à droite : photo prise du sommet de l'ouvrage en direction de l'est.

- enfin, on observe la dégradation du revêtement du cheminement au sommet de l'ouvrage par les projections de paquets de mer (cf. figure 27). Des fissures et des trous apparaissent et permettent l'infiltration des paquets de mer et de la pluie dans l'ouvrage. L'eau qui s'y engouffre accentue alors la fragilité de l'ouvrage en ravinant le sable de la dune, en provoquant des affaissements de blocs d'enrochement et en élargissant les trous dans le revêtement. Le revêtement doit donc souvent être entretenu et les cavités fréquemment comblées.

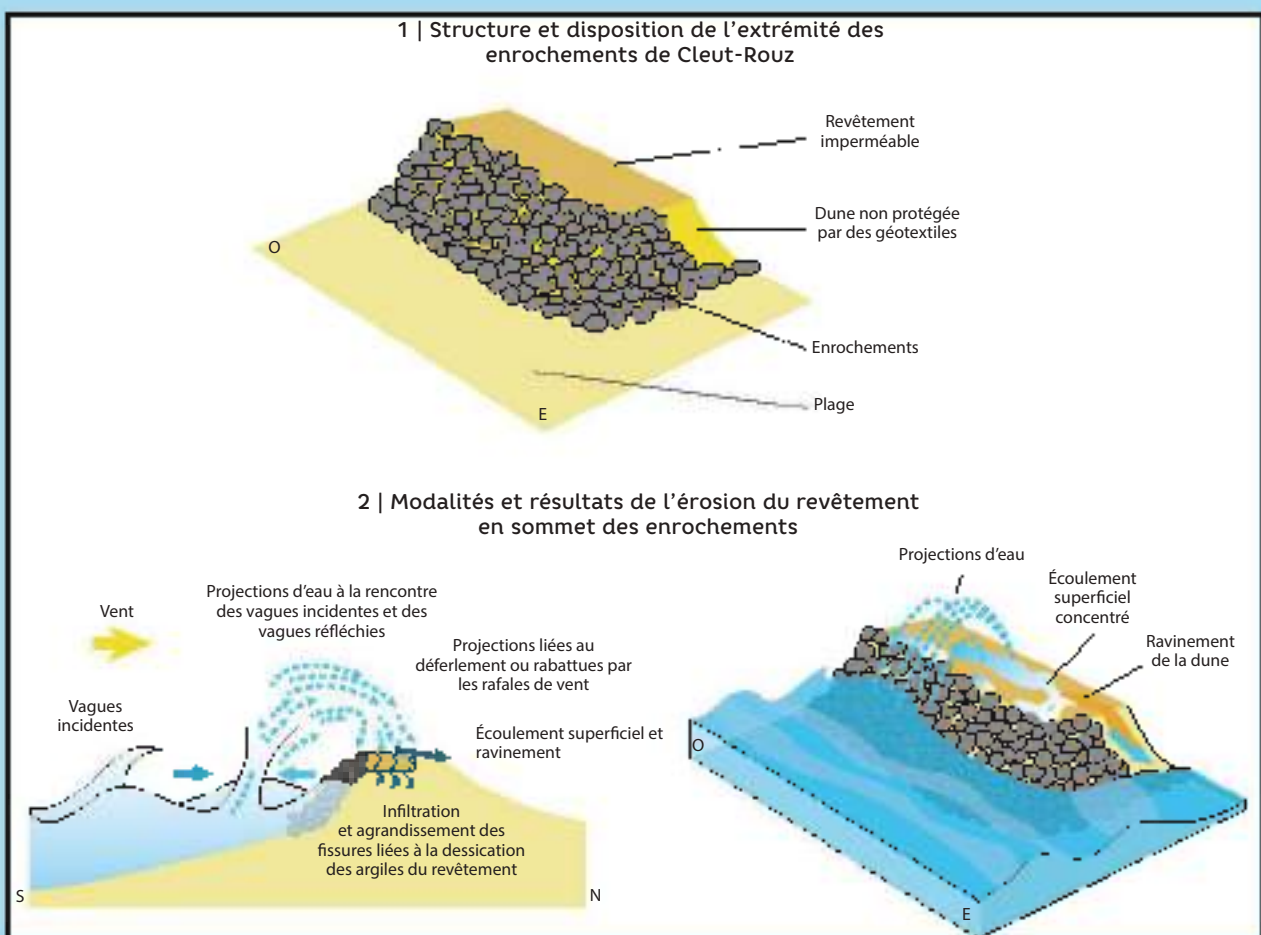




Figure 27 : dégradation de l'extrémité d'un enrochement. En haut : structure de l'extrémité de l'ouvrage de Cleut-Rouz(1) ; érosion du revêtement au sommet de l'ouvrage par ravinement dû aux projections de paquets de mer et d'infiltrations (2). En bas : conséquences des projections de paquets de mer sur le sommet des enrochements.



Situation 2022

Aujourd'hui, la zone soumise à « l'effet de bout », à l'extrémité Est de l'ouvrage, est très surveillée. En effet, le surcreusement dans la dune a désormais atteint le revers du cordon. La faible altitude du cordon permet aux vagues de le submerger de plus en plus fréquemment et rend possible l'ouverture d'une brèche dans le cordon dunaire. Lors d'épisodes tempétueux, il est courant maintenant d'observer des paquets de mer passer par-dessus la crête de la dune, ou de voir la mer le submerger entièrement (cf. figure 28).

Par ailleurs, les pieux hydrauliques ont été, pour partie, emportés par la mer lors des tempêtes hivernales et la Communauté de communes du Pays Fouesnantais a décidé de procéder au retrait des derniers pieux restants.



Figure 28 : vagues franchissant le sommet de la dune de la plage de Cleut-Rouz et submergeant le secteur arrière-dunaire.

Aujourd'hui, des réflexions sur un potentiel « désenrochement » ou une modification de la forme de l'extrémité de l'enrochement sont à l'étude (cf. le chapitre « Dépose d'ouvrage : désenrochement »).

Boudin de géotextile en pied de dune

Site de la plage de Boutrouilles à Kerlouan (29)

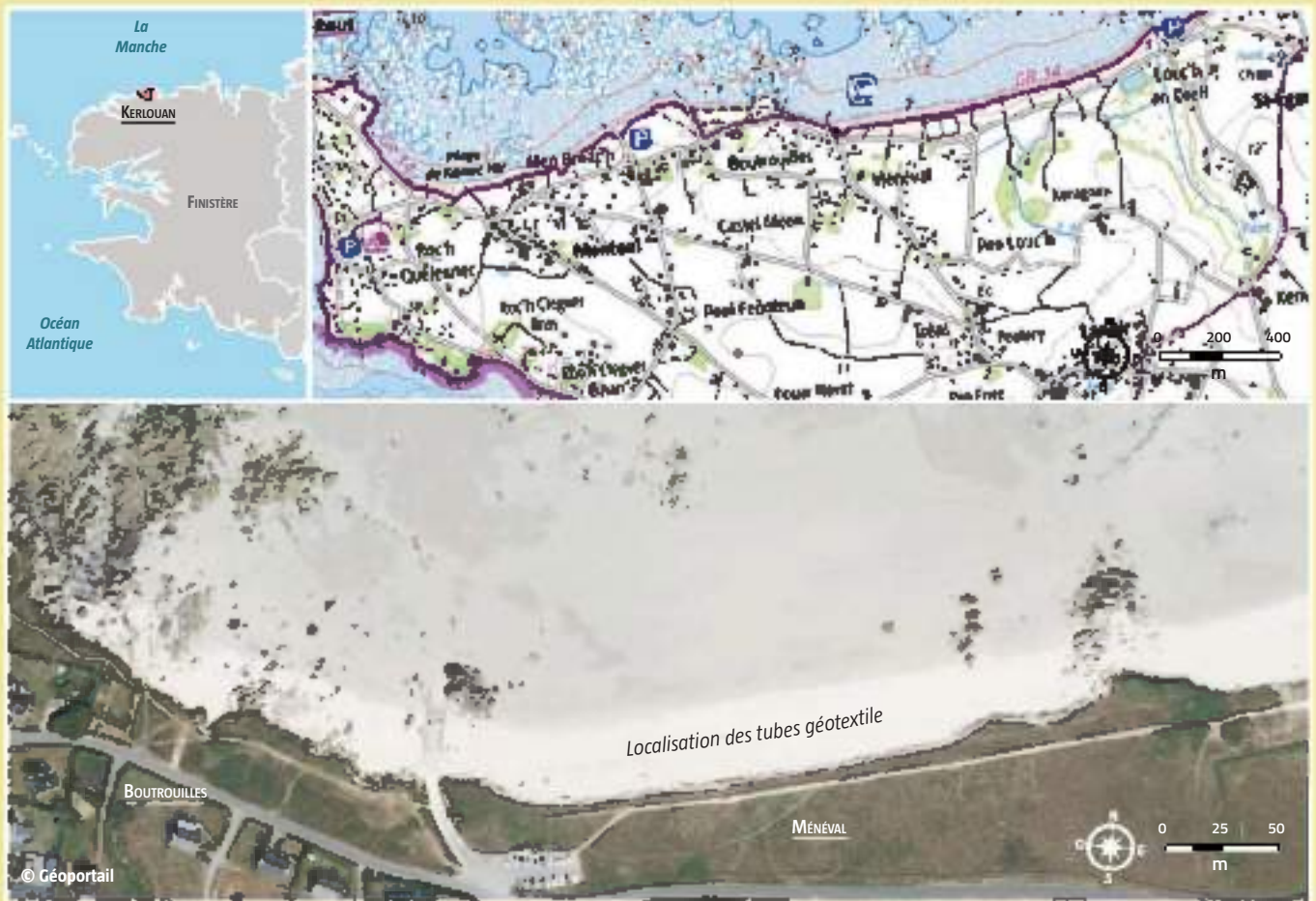


Figure 29 : localisation de la plage de Boutrouilles à Kerlouan.

Localisation et description du site

La plage de Boutrouilles est située dans la commune de Kerlouan dans le nord du Finistère (cf. figure 29). Elle est adossée à un cordon dunaire d'une longueur de 300 m suivant une direction ouest-est. Derrière ce cordon dunaire se trouve une zone basse en partie urbanisée. Sous l'action de la mer, ce cordon dunaire est érodé depuis plusieurs décennies.

Historique des techniques de gestion du site

- **En 2005**, la commune cherche une solution durable et adaptée pour la protection du cordon dunaire extrêmement fragilisé par l'érosion et caractérisé par un recul continu du trait de côte. Le versant marin de la dune, fortement dégradé, est marqué par une falaise dunaire vive presque verticale sur 300 m de long. De plus, l'érosion du pied de dune entraîne des écroulements gravitaires sur le versant exposé où l'absence de végétation favorise l'érosion éolienne. Les risques sont importants : la destruction du cordon dunaire, la submersion marine du centre de secours (SNSM) et la submersion des habitations les plus proches. Le choix d'une protection s'est porté vers une technique intermédiaire jugée durable par la commune et pouvant s'intégrer dans le paysage sans générer de perturbation ni les effets secondaires négatifs d'un enrochement, par exemple. Après une étude de faisabilité, la mise en place d'un boudin de géotextile longitudinal en pied de la dune sur une longueur de 270 m est préconisée. Les objectifs de l'ouvrage sont de protéger la dune et stabiliser le trait de côte, de stopper l'érosion par la houle, favoriser le dépôt de sédiments contre l'ouvrage et permettre le retour de la végétation sur le versant marin.
- L'ouvrage a été implanté en **novembre 2006** et est ancré à 1 m de profondeur. Un reprofilage de la dune a été réalisé en même temps pour reformer un profil dunaire équilibré, avec une pente douce et régulière vers la plage. Des oyats ont

ensuite été plantés en mars 2007 sur le sommet de la dune afin de renforcer et maintenir le sable.

Le coût de ce projet s'élève à 249 070 € H.T. (en 2006) pour lequel des subventions ont été accordées à hauteur de 52 % de la part de l'État, 10 % du Conseil Général du Finistère et 15 % du Conseil Régional de Bretagne.

Des suivis topo-morphologiques du système plage/dune ont été menés (dans le cadre d'un mémoire de Master recherche à l'Institut Universitaire Européen de la Mer et de l'Université de Bretagne Occidentale) pour analyser l'évolution du site après la mise en place du boudin. Les conclusions sont que l'ouvrage joue bien son rôle pour fixer le trait de côte mais lors des forts événements tempétueux, il engendre l'érosion sur le haut de plage liée à la réflexion des houles.

Des tempêtes, notamment celles du 23 mars 2007 et du 10 mars 2008, ont permis à la mer de franchir l'ouvrage et d'éroder la dune, entraînant son recul derrière l'ouvrage. La tempête de mars 2008 a eu pour conséquence un recul du pied de dune de 3 m (cf. figure 30). Cependant, l'ouvrage ne s'est pas dégradé pendant ces épisodes. Des reprofilages ont cependant été nécessaires pour redonner à la dune un profil équilibré.



Figure 30 : boudin en géotextile avant et après la tempête du 10 mars 2008. A gauche : submersion durant la tempête du 10 mars 2008 ; à droite : recul du pied de dune d'environ 3 m après la tempête.

Situation 2022

L'ouvrage s'est donc avéré efficace à très court terme, les premières années après son installation. Il a ensuite été complètement détruit lors d'un épisode tempétueux en début février 2014.

Une étude récente (Cerema, 2016) indique que le cordon dunaire ne présente pas de risque de rupture qui pourrait entraîner la submersion marine des terres en arrière à court terme. L'étude a également émis des préconisations de gestion du trait de côte de la plage de Boutrouilles à court et moyen termes. Ces propositions reposent sur le constat qu'il est impossible et contre-productif de chercher à fixer le trait de côte qui est fortement sollicité lors des événements de fortes énergies. Il est donc préconisé de continuer à améliorer les connaissances du site en poursuivant les suivis et d'intervenir de façon limitée avec des techniques d'accompagnement des processus naturels (canalisation de la fréquentation, plantation d'oyats, par exemple).



Enrochement de falaise meuble

Site de la plage de Ruvein à Plovan (29)



Figure 31 : localisation du site de la plage et du secteur de falaises enrochées de Ruvein à Plovan.

Localisation et description du site

Ruvein est localisé sur la grande plage sableuse du sud la baie d'Audierne, sur le littoral de la commune de Plovan (cf. figure 31). Le haut de la plage est constitué par le long cordon de galets, l'Ero-Vili. Établi sur environ 5,5 km, entre Penhors et l'étang de Trunvel, ce cordon se prolonge vers le sud, en direction de la pointe de la Torche par un massif dunaire (cf. figure 32). Les houles dominantes d'ouest et de nord-ouest induisent une dérive littorale dirigée vers le sud. L'érosion littorale est active dans cette baie. L'indicateur national d'érosion côtière (Cerema, 2011 : Indicateur national de l'érosion côtière) et les nombreuses études (Guilcher et Hallégouët, 1982 ; Hallégouët et al., 1989 ; Hallégouët et Bodéré, 1992 ; Hallégouët et Hénaff, 1992 ; Hallégouët et Hénaff, 2006 ; Faye et al., 2007) montrent que c'est dans cette baie que s'observent les taux de recul les plus rapides sur le trait de côte régional. Ces taux s'expliquent par la forte exposition aux houles et aux vents dominants de secteur ouest, ainsi que par les extractions massives de galets opérées lors de la construction du Mur de l'Atlantique, et par les prélèvements réalisés par des entrepreneurs locaux jusqu'à la fin des années 1960.

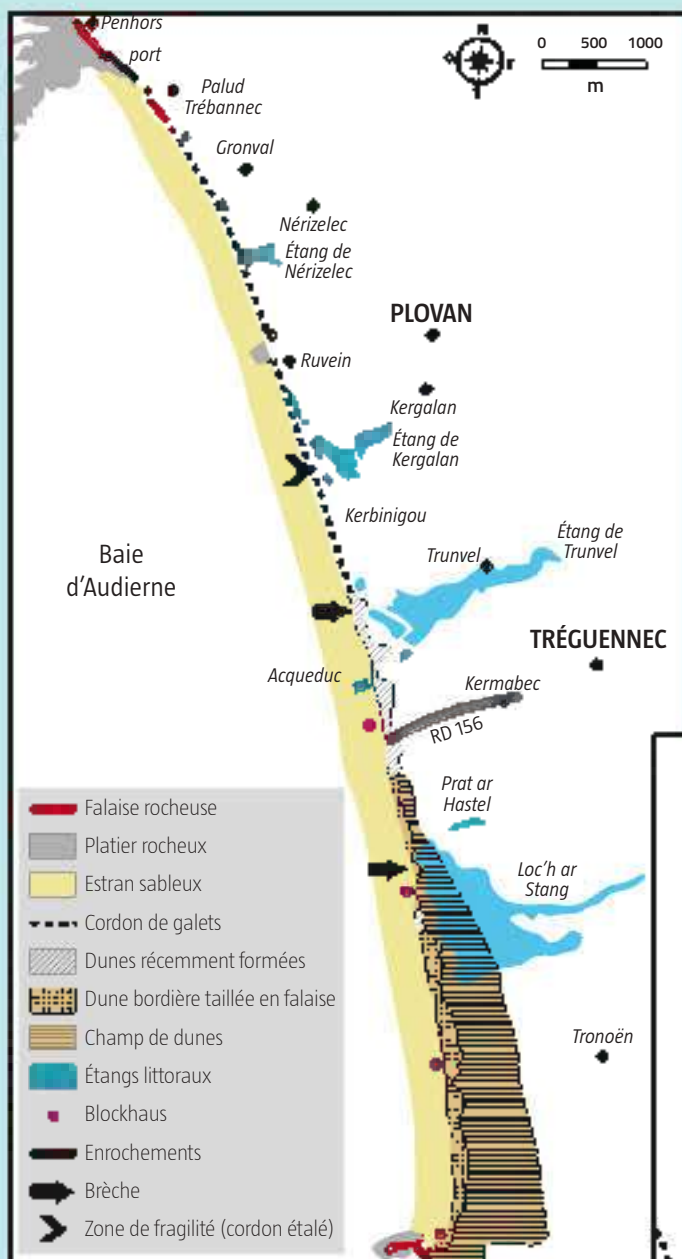


Figure 32 : littoral du sud de la baie d'Audierne, entre Penhors et la pointe de La Torche.

A gauche : morphologie

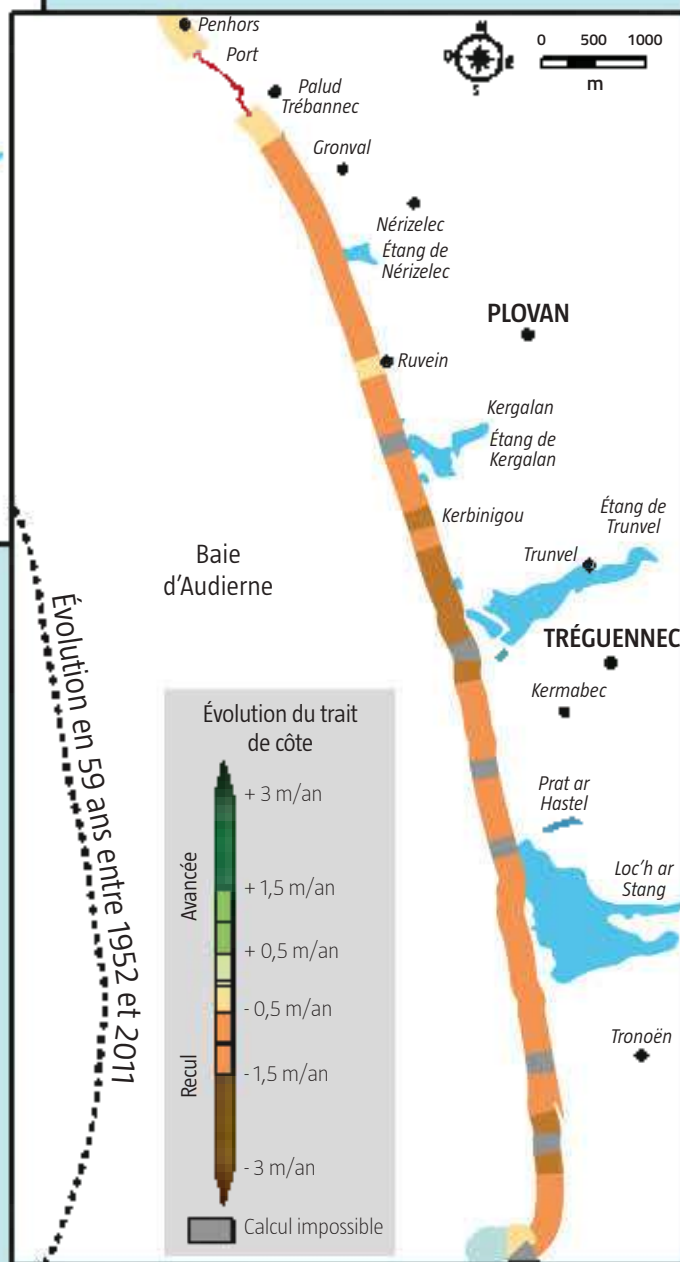
(modifié d'après Faye I.B. et al., 2004)

A droite : évolutions du trait de côte entre 1952 et 2011

(d'après indicateur national d'érosion côtière, Cerema, 2017)

A Ruvein, le cordon de galets autrefois massif et élevé (Guilcher 1948 ; Bodéré, 1971) s'appuie, depuis 1980, à une falaise meuble, haute de 2 à 3 m environ, exposée aux agents érosifs marins et continentaux. En effet, les galets du cordon ne sont parfois plus présents que sous la forme de placages discontinus en haut d'estran tandis que le niveau de la plage s'est abaissé laissant affleurer le substrat rocheux maintenant soumis à l'érosion marine.

Ce secteur de plage est, de longue date, fréquenté pour les loisirs balnéaires et un poste de secours estival a été construit à proximité du trait de côte, en arrière du sommet de la falaise. Le recul du trait de côte positionne désormais le poste de secours au bord de la falaise. Entre 2006 et 2014 (cf. figure 33), la distance séparant le poste de la falaise est passée de 8 m à moins de 3 m. Le recul de la côte lors des tempêtes de l'hiver 2013-2014 a pratiquement atteint le poste et, pour le préserver, un perré en enrochement a été édifié.





08/02/2006



26/02/2010



12/03/2014



24/06/2014

Figure 33 : photos successives du site montrant la réduction progressive du cordon de galets ainsi que l'érosion de la falaise en avant du poste de secours.

Historique des modes de gestion du site

- **Avant les tempêtes de l'hiver 2013-2014**, aucun aménagement ou ouvrage n'a été implanté le long de ce secteur de côte en vue de le défendre contre l'érosion. Toutefois, une gestion des épandages de galets projetés par les vagues en sommet de falaise, sur le chemin littoral et les accès (après les tempêtes, par exemple) ainsi que du trait de côte, a pu être réalisée ponctuellement dans le temps depuis plusieurs décennies.
- **A la fin du printemps 2014**, l'ouvrage en enrochement, long de 50 m, est posé contre la falaise meuble, devant le poste de secours de Ruvein. Cette opération a été choisie comme solution d'urgence après un des événements tempétueux de l'hiver (cf. figure 33).

Situation 2022

A la suite de la pose de l'enrochement, l'érosion a été stoppée en avant du poste de secours. Cependant, elle s'est poursuivie et s'est même accentuée de part et d'autre de l'ouvrage ainsi qu'en avant de celui-ci (cf. figures 34 et 35) :

- en amont dérive : l'érosion est accélérée par l'effet de bout ainsi que par le ruissellement généré par les paquets de mer des vagues déferlant à marée haute ;
- en aval dérive : érosion par effet de bout ;
- les sédiments de la plage en avant de l'ouvrage disparaissent progressivement à cause de la réflexion de l'énergie des vagues. Le platier rocheux est ainsi exhumé par l'abaissement de l'altitude de la plage.



Figure 34 : surcreusement de la falaise de Ruvein, au nord de l'enrochement.

Le recul généré est appréciable au regard du sommet de l'enrochement devant le poste de secours. On observe également la présence d'affleurement d'une plateforme de micaschistes dans la zone intertidale, au pied du cordon de galets, qui était auparavant couverte par la plage de sable. A droite, surcreusement de la falaise meuble sur une centaine de mètres de longueur depuis l'extrémité sud de l'ouvrage (clichés du 12 février 2021).



Figure 35 : vue du site depuis le nord, le 4 octobre 2021. L'érosion de la falaise accélérée par la pose de l'ouvrage se poursuit.

Ces conséquences posent problème mais aucune perspective de gestion n'est pour le moment envisagée. Pour mieux connaître et comprendre le processus d'érosion, la Communauté de Communes du Haut Pays Bigouden a décidé de mettre en place des suivis réguliers des évolutions du trait de côte et de profils de la plage. Ces suivis sont effectués dans le cadre du partenariat Litto'Risques et doivent commencer au cours de l'année 2023.

Enrochement d'un linéaire dunaire

Site de la plage de la Grève Rose à Trégastel (22)



Figure 36 : localisation du site de la Grève Rose à Trégastel dans les Côtes d'Armor.

Localisation et description du site

La Côte de Granite Rose est caractérisée par une succession de baies et d'anses encadrées par des pointes rocheuses et de nombreuses îles et îlots granitiques qui protègent le littoral contre l'agitation du large tout en laissant passer les fortes houles d'ouest. La Grève-Rose sur la commune de Trégastel, au nord-ouest du département des Côtes-d'Armor (cf. figure 36), est formée par une accumulation littorale de sable qui s'étend sur un linéaire de 250 m entre deux pointes rocheuses. La plage est adossée à une dune taillée en abrupt d'érosion haut de 3 à 5 m. L'urbanisation du sommet de la dune est dense. Dès 1936, un lotissement de la dune est envisagé mais la construction des maisons ne débute que dans les années 1960-1970. Les sept habitations situées actuellement au sommet de la dune sont concernées par l'érosion littorale estimée pour l'horizon 2100. La crête de dune atteint déjà les clôtures de certaines parcelles et les maisons sont situées à moins de 10 m du trait de côte. La Grève-Rose est sous l'influence des houles d'ouest qui viennent éroder la dune pendant les épisodes de tempête. Les vents dominants sont également de secteur ouest. Les actions anthropiques (surfréquentation de la dune, construction au sommet de la dune, ...) jouent également un rôle important dans l'évolution du site.

La plage de la Grève Rose est caractérisée par une dynamique morphosédimentaire complexe, liée notamment à la bathymétrie du site et à la présence de nombreux îlots, îles et hauts-fonds induisant des processus de diffraction, réfraction et réflexion de la houle avant son déferlement sur le rivage. La dérive littorale dominante est modérée. Elle s'effectue vers le nord, en direction de la plage de la Grève-Blanche qu'elle alimente ainsi par une partie des sédiments de la Grève-Rose. Les déplacements sédimentaires s'effectuent conjointement dans le profil de la plage, entre la dune, la plage et l'avant-plage, dans un sens et dans l'autre.

Au-delà des contraintes géomorphologiques, des contraintes réglementaires doivent être prise en compte dans la gestion du site. La Grève Rose est, en effet, un des sites Natura 2000 « Côte de granite Rose – Sept îles » et est identifié comme un espace remarquable pour son intérêt paysager exceptionnel et son intérêt botanique.

Historique des modes de gestion du site

De nombreuses techniques de gestion du trait de côte ont été employées pour limiter ou tenter d'arrêter le recul du trait de côte sur cette plage depuis les années 1960 :

- **en 1960**, on constatait déjà une dégradation de la dune de la Grève-Rose alors que le lotissement n'existait pas encore ;
- **1963-1965** : construction d'un muret en béton sur le haut de plage à une dizaine de mètres du pied de dune. Le mur s'étend le long de la plage de la Grève-Rose mais également sur la plage de la Grève-Blanche. Cette construction fait suite aux conséquences des tempêtes violentes survenues en 1962 (cf. figure 37) ;



Figure 37 : vue aérienne (infra-rouge) de 1978 (IGN) des plages de la Grève-Rose et de la Grève-Blanche montrant le positionnement du muret de protection sur le haut des plages et vue au sol de l'état du muret après la tempête Johanna de mars 2008.

- **2008** : immédiatement après les dommages générés par la tempête Johanna du 10 mars 2008, des big bags sont placés au pied du muret pour le protéger et le renforcer (cf. figure 38). Quelques mois après, ils sont recouverts de sédiments ce qui prouve l'efficacité des transferts de sédiment dans le profil de l'accumulation, entre l'avant-plage, la plage et la dune ;



Figure 38 : le muret protégé par des big bags durant l'été 2008.

- **2009** : suppression du muret endommagé et reconstitution du cordon dunaire dans le cadre du contrat Natura 2000. Les opérations de réaménagement du site dans le cadre du contrat Natura 2000 ont commencé par l'enlèvement du muret endommagé après 50 ans d'existence. Conjointement, des actions de rechargement sédimentaire de la plage et de reprofilage du cordon dunaire ont été entreprises. Des systèmes de brise-vent en géotextile ont également été posés pour maintenir le sable de la dune et augmenter le captage de sédiments (cf. figure 39).

Moins d'un an après ces opérations, la quasi-totalité du sable apporté lors du rechargement a été érodée et s'est accumulée sur la partie médiane de l'estran qui a gagné en altitude ou a été transféré par la dérive littorale sur la plage de la Grève Blanche au Nord ;



Figure 39 : état de la plage et de la dune après les travaux de reconstitution du cordon réalisés dans le cadre du contrat Natura 2000 : reprofilage du versant au vent de la dune, pose de filets brise-vent en géotextile et rideau de ganivelles (atteints par les niveaux de haute mer) en pied de dune.

- **2010** : mise en place d'une défense en sacs de géotextile de type big bag en pied de dune (cf. figure 40) ;
- **entre 2010 et 2013**, des big bags sont à nouveau placés plusieurs à reprises au pied de la dune pour tenter de la renforcer mais ceux-ci ne remplissent pas leur rôle très longtemps. En octobre 2011, les propriétaires des maisons situées sur la dune installent une protection qui tiendra jusqu'aux tempêtes d'octobre et décembre 2012. L'ensemble de ces aménagements subira les érosions dues aux coups de vent successifs de 2013 et 2014 ; à l'issue des coups de vent et des **tempêtes de l'hiver 2013-2014**, la ligne de big bags est entièrement démantelée, les sacs éventrés et vidés gisent au pied de la dune qui a poursuivi son recul ;



*Figure 40 : utilisation des big bags en pied de dune.
A gauche, après leur installation durant l'été 2010. A droite : état après l'hiver 2013-2014.*

- **en 2014**, les études morphodynamiques engagées montrent qu'en l'absence d'intervention, l'espace dunaire sera érodé jusqu'à atteindre progressivement les maisons (cf. figure 40). Le comité de pilotage du projet (composé de la commune de Trégastel, de la communauté de communes, de l'opérateur Natura 2000, des services de l'État et des riverains) réfléchit alors à une solution plus pérenne pour le maintien du trait de côte. Plusieurs solutions sont proposées : boudin de géotextile longitudinal en pied de dune, reprofilage de la dune, brise-vents et plantations d'oyats. La solution combinant un enrochement, réclamé depuis 2008 par les riverains mais très contesté localement, accompagné d'un rechargement sédimentaire de la plage est finalement sélectionnée par le comité de pilotage du projet comme la solution permettant de garantir au mieux la pérennité du site et la protection des riverains ;
- **en mars 2015**, avant la période des grandes marées, l'un des riverains décide d'installer sans autorisation une rangée de 60 big bags devant une des propriétés privées. Cette structure illégalement implantée sera retirée quelques mois après par le riverain ;
- **2017** : construction de l'ouvrage en enrochement accompagné du rechargement sédimentaire (cf. figures 41 et 42).



Figure 41 : localisation de l'ouvrage en enrochements sur la plage de la Grève-Rose à Trégastel.

Des sondages géotechniques sont effectués préalablement aux travaux d'enrochement en octobre 2016. La pose de l'ouvrage commence en mars 2017. Une toile géotextile est d'abord placée sur le versant au vent de la dune. Le but est d'éviter la création de cavités et la déstabilisation de l'ouvrage par soutirage des sédiments de la dune par les vagues et les écoulements continentaux. Une couche de petits blocs (200/300 kg) couvre ensuite le géotextile sur 1 m d'épaisseur. Enfin, deux couches de 2 m d'épaisseur constituées de gros blocs (2/3 tonnes) la recouvrent. L'ouvrage, long de 250 m, est large de 18 m, haut de 4,5 m dont 2,5 m au-dessus du niveau de sable en haut de plage. Les 17 000 t de blocs de pierre issus d'une carrière locale sont en granit rose pour une meilleure intégration paysagère (cf. figure 43).

Sur le haut de l'enrochement, des oyats sont plantés et un rideau brise-vent en ganivelles est installé afin de stabiliser le haut de dune et d'interdire le passage des piétons. Les piétons doivent passer par la plage ou par la route située derrière la première ligne de maisons.

Le rechargement sédimentaire concerne quant à lui une surface de plage de 21 000 m². Il est programmé pour l'été 2017 et doit être constitué, d'une part, par un apport de rechargement d'environ 16 000 m³ et par le déplacement de 11 000 m³ de sédiments repoussés depuis le milieu de la plage vers le haut de plage.

En 2017, avant les travaux, le montant prévisionnel est de 702 000 € TTC. Les riverains participent à hauteur de 150 000 € à ce financement. Un financement via la DETR (Dotation d'équipement aux territoires ruraux) couvre 40 % du coût des travaux, Lannion Trégor Communauté participe pour 10 % du montant hors taxes, la commune s'acquittant du reste. Le projet a, par ailleurs, fait l'objet d'une notice d'incidence Natura 2000. L'évaluation montre l'absence d'incidence notable sur la conservation des espèces et des habitats qui ont justifié la désignation des sites Natura 2000.



Figure 42 : état de la dune avant les travaux d'enrochements.

Figure 43 : perré en enrochement sur le haut de plage de la Grève-Rose à Trégastel.



Situation 2022

A ce jour, l'ouvrage en enrochements a été implanté mais aucune information n'est disponible sur le rechargement de la plage qui ne semble pas avoir été réalisé. Un bilan de l'opération d'enrochement de la dune n'est a priori pas encore réalisé. Il n'est donc pas possible d'analyser les effets de cet aménagement sur la plage et sur les dynamiques hydrosédimentaires du site.

Bibliographie

Association environnementale pour la protection des sites et du patrimoine de Trégastel : sites-et-patrimoine-tregastel.info

Basara N., 2019. *L'érosion des littoraux à falaises meubles en Bretagne : aléas, enjeux et gestion du risque*. Géographie. Université de Bretagne occidentale. 415 p.

Bodéré J.-C., 1971. *Observations sur la côte de la baie d'Audierne entre Penhors et Porz Cam*. Cahiers océanographiques, XXIII, p. 519-543.

Boussard P.-Y., Bouché E., Caro A., Gouill R., Guttler F., Hoffmann M., Léopold T., Triyono T., 2008. *Étude géomorphologique et propositions de défense contre l'érosion du secteur littoral de Moustierlin-Est à l'est des enrochements de Cleut-Rouz*. Département de Géographie IUEM, laboratoire LETG Géomer UMR 6554 CNRS Université de Bretagne Occidentale. 86 p.

Cariolet J.-M., Suanez S., 2008. *Rapport d'activité sur le suivi morpho-sédimentaire de la plage de Boutrouilles et sur l'efficacité du procédé Stabiplage, commune de Kerlouan, pour l'année 2007-2008*. 16 p.

Cerema, 2016. *Étude de l'érosion du trait de côte suite aux tempêtes de l'hiver 2013-2014 dans le Finistère. Préconisations de suivi et de gestion du site de Boutrouilles, commune de Kerlouan*. 14 p.

Commune de Fouesnant, 2000. *Plan de prévention des risques naturels majeurs, inondation par submersion marine, rapport de présentation*. 60 p.

Espace Pur, 2005. *Études et travaux : le STABIPLAGE en milieu marin*. Applications. 21 p.

Faye I.B.Nd., Hénaff A., Hallégouët B., 2007. *Évolution récente de la ligne de rivage en baie d'Audierne : de Penhors à la pointe de la Torche*. Article dans le Penn ar Bed n°199-200 (décembre 2006 – Mars 2007). Pp. 50-61. https://pmb.bretagne-vivante.org/pmb/opac_css/doc_num.php?explnum_id=7343

Guilcher A., 1948. *Le relief de la Bretagne méridionale de la baie de Douarnenez à la Vilaine*. 682 p. La Roche-sur-Yon, Impr. Edit. H. Potier.

Guilcher A., Hallégouët B., 1981. *Le haut cordon de galets pleistocène de Ruvein en Plovan (Finistère) et ses enseignements généraux*. Bull. Ass. fr. Etud. Quaternaire, 18, p. 75-82.

Hallégouët B., Meur C., Tanguy M., 1989. *Évolution du littoral de la baie d'Audierne (Finistère) : la brèche de Trunvel*. In Les littoraux, Journées en l'honneur d'André Guilcher. Second forum du Groupe Français de Géomorphologie. Caen 24 et 25 novembre 1988. CNRS/ Centre de Géomorphologie de Caen, Bulletin 36, pp. 13-16.

Hallégouët B., Bodéré J.-C., 1992. *Un littoral fragilisé : le sud de la baie d'Audierne*. In Actes du colloque, Le pays bigouden à la croisée des chemins, Pont – l'Abbé, 19-21 novembre 1992, Revue Cap Caval, Supplément spécial au 17, pp. 263-271.

Hallégouët B., Hénaff A., 1992. *Évolution du littoral septentrional du pays bigouden entre Penhors et Pors Poulhan*. Actes du colloque Le pays bigouden à la croisée des chemins, Pont – l'Abbé, 19 – 21 novembre 1992, Revue Cap Caval, Supplément spécial au 17, pp. 273-280.

Hallégouët B., Hénaff A., 2006. *Évolution récente et gestion des espaces littoraux de l'ouest Cornouaille*. Actes des Rencontres de l'ouest Cornouaille, mai-juin 2005 « Quelles pistes de développement pour le territoire ». Association Ouest Cornouaille Promotion, pp. 20-34

Hénaff A., 2019. *Observations et recherches récentes menées sur les évolutions géomorphologiques du littoral en baie d'Audierne*. Communication orale, Saint Vio, Août 2019.

INVIVO, 2016. *Dossier d'enquête publique relatif aux travaux de protection contre l'érosion de la plage de la Grève Rose sur la commune de Trégastel*. Pièce 5B : étude d'impact valant document d'incidences. 134 p. http://www.tregastel.fr/IMG/pdf/erose_ep_piece5b_tout.pdf

Suanez S., Fichaut B., 2010. *Suivi morphosédimentaire de la plage de la Grève Rose entre 2009 et 2010*. LETG-Brest UMR 6554 CNRS Université de Bretagne Occidentale. 11 p. hal-00522921 <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00522921/document>

Université du Littoral Côte d'Opale, 2018. *Thème : techniques et modes de gestion du littoral, fiche outils n°2, les ouvrages longitudinaux de protection des côtes sableuses*. 4 p. <https://cosaco.univ-littoral.fr/wp-content/uploads/2018/03/Fiche-2-Techniques-dures-MOCOMED.pdf>

Fiche 2

Ouvrages transversaux

Plage du Moulin Blanc | Brest



Lieux d'implantation possibles

Côtes d'accumulation



Falaises meubles



Falaises rocheuses



Côtes anthropisées



Description

Les épis sont implantés sur les plages perpendiculairement au trait de côte (cf. figure 44). En fonction des conditions d'implantation et des objectifs souhaités, les épis peuvent être plus ou moins nombreux (d'un ouvrage unique à une batterie d'épis), constitués en matériaux différents (bois, acier, enrochements...)

et de différentes formes (lignes de pieux perméables, enrochements imperméables...).

Ils ont pour objet de retenir une partie du débit solide de la dérive littorale et sont mis en œuvre lorsque les mouvements sédimentaires prédominants sont parallèles à la côte. Les sédiments qui

se déplacent d'amont en aval sont donc retenus en partie au droit et en amont des ouvrages. Cette accumulation modifie la position du trait de côte : recul en aval (par rapport à la dérive littorale) de l'ouvrage et avancée au droit et en amont de l'ouvrage.

Objectifs

- Retenir une partie du transit sédimentaire longitudinal lié à la dérive littorale.
- Créer une accumulation de sédiments en amont de la dérive littorale dans le cas d'un ouvrage unique.
- Stabiliser le trait de côte si installation d'une batterie d'épis.



Figure 44 : deux types de matériaux mis en œuvre dans la construction d'épis. A gauche : en pieux de bois à Saint-Malo ; à droite : en enrochements sur la plage du Moulin Blanc à Brest.

Méthodes et conditions d'implantation

Un épi peut être réalisé à partir de différents types de matériaux. Divers exemples sont proposés :

- **enrochements** (cf. figure 45) : constitué de blocs rocheux avec ou sans noyau en fonction de la perméabilité de l'épi souhaité. Dans le cas d'un épi étanche, un filtre en géotextile est nécessaire entre la carapace en enrochements et le noyau de l'ouvrage. Il est également possible de couler du béton entre la carapace et le noyau ;



Figure 45 : épi en enrochements sur la plage du Téven à l'Île-Tudy.

- **boudins géotextiles** (cf. figure 46) : avec ce type d'épis, une partie des sédiments captés en amont dérive par l'ouvrage peut le franchir lors de houles fortes. La perméabilité du géotextile de l'ouvrage permet d'absorber une partie de l'énergie de la houle par infiltration de l'eau projetée. La nature de l'ouvrage ainsi que sa couleur et sa faible empreinte au sol permettent une meilleure intégration paysagère que les autres matériaux (tant que le géotextile n'est pas colonisé par les algues et les lichens de haut d'estran). De plus, ces épis en géotextile sont généralement moins saillants sur la plage que les autres types et constituent donc un obstacle moins élevé pour les piétons ;



Figure 46 : épi en boudin géotextile sur la plage de la Grève-Blanche au Guilvinec.

- **ouvrages en bois** (cf. figure 47) : les épis en bois sont constitués de planches placées horizontalement (traverses de bois) entre des poteaux verticaux rainurés. La perméabilité ou l'imperméabilité de l'ouvrage vis-à-vis des sédiments est réglée par l'espacement entre les planches, et par le nombre (et donc la hauteur) de planches verticales entre deux poteaux. Des pieux (rondins) en bois peuvent également être utilisés, en étant disposés en quinconce ou juxtaposés selon la perméabilité souhaitée. Ces épis peuvent résister à l'abrasion. Ils sont plus sensibles que les autres au risque de basculement ou de déchaussement. Leur durée de vie est notamment dépendante de la qualité et des traitements préalables du bois (imputrescible, résistant à l'humidité). On considère généralement que la hauteur visible de la structure supportant les planches ou celle des pieux doit être égale au tiers de leur hauteur totale (2/3 de la hauteur est enfoncée dans le sédiment par conséquent) ;



Figure 47 : épi en bois sur la Grande Plage de Gâvres.

- **ouvrages en acier** (cf. figure 48) : les palplanches sont des profilés métalliques préfabriqués qui peuvent être installés de manière juxtaposée sous forme de rideaux. Le point faible de ces épis est leur fragilité car leur résistance sur plusieurs années est relativement faible. Les épis composés de rideau de palplanches peuvent être recouverts d'un couronnement en béton.

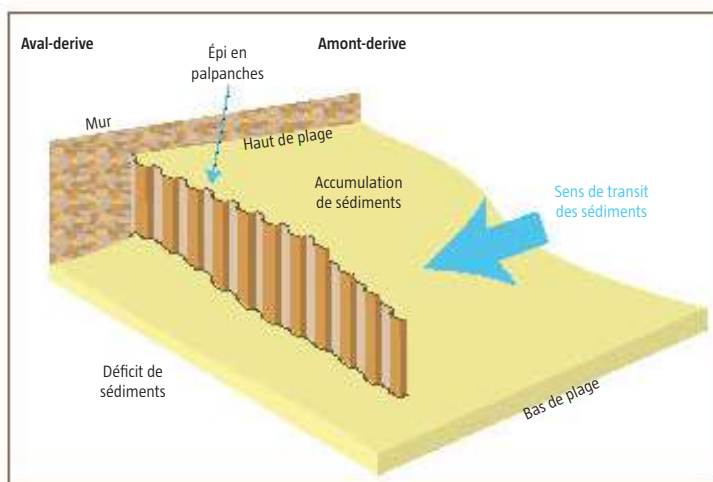


Figure 48 : schéma d'un épi en palplanches d'acier.

Paramètres dépendant du type de plage, de la dérive littorale, des objectifs souhaités :

- **nombres d'épis** : un seul ou une batterie, nombre d'épis en cas de batterie ;
- **longueur du ou des épis** : la longueur de l'épi se calcule entre son enracinement (contre le perré de protection de haut de plage par exemple) et le musoir. Les épis courts agissent sur les transports de sédiments par les jets de rive et sont suffisants sur des plages présentant un faible marnage, tandis que les plus long agissent sur les transports de sédiments engendrés par les courants littoraux et doivent être plus longs pour être efficaces aux différents niveaux de mer. La longueur des épis est essentiellement déterminée par le degré d'interruption du transport sédimentaire souhaité et donc du type de profil de plage et de la nouvelle ligne de rivage attendue ;
- **hauteur du ou des épis** : ils peuvent être plongés, c'est-à-dire plus haut au niveau de l'enracinement et de plus en plus bas en direction du musoir pour amoindrir l'impact paysager et améliorer le passage des piétons sur la plage. De manière générale, la hauteur de l'épi au-dessus de la plage doit être suffisante pour maintenir un seuil minimal pour qu'il retienne une part de sédiment apporté par la dérive littorale ;
- **matériaux utilisés** (enrochements, boudins géotextiles, palplanches, pieux en bois, ...) : le choix du matériau et donc du type d'ouvrage dépend essentiellement des caractéristiques de la plage, du type de marée et de l'énergie des vagues ;
- **espacement entre chaque épi dans le cas d'une batterie** : cet espacement dépend de l'obliquité de la houle dominante car, entre deux épis, la ligne de rivage tend vers un équilibre dans lequel elle est parallèle aux crêtes de houles dominantes. L'espacement entre chaque épi devra être choisi pour éviter l'érosion en aval-dérive des épis ;
- **la perméabilité souhaitée des ouvrages** est déterminée par le matériau qui sera choisi pour les ouvrages.

Intérêts

- Efficacité dont la rapidité est dépendante de la dérive littorale du site.
- Stabilisation efficace du trait de côte dans le cadre d'une batterie d'épis.
- Ouvrages peu coûteux, en règle générale, mais les coûts sont croissants selon les environnements.

Limites

- Une rétention de sédiments se produit en amont (par rapport à la dérive littorale) de l'épi et engendre en contrepartie une limitation de l'alimentation en sédiments de la zone aval qui peut engendrer l'érosion du trait de côte.
- L'érosion est également possible à l'extrémité.
- Selon le type d'épi choisi, l'intégration paysagère peut être plus ou moins adaptée.
- Selon le type d'épi choisi, le passage piétonnier le long de la plage peut être plus ou moins obstrué.
- La présence d'épis peut conduire à la formation de courants dangereux pour les baigneurs.

Coûts

Les coûts présentés sont issus d'un recensement d'exemples d'implantation de ce type d'ouvrages (Cerema, 2018). Seuls des coûts de construction ont été renseignés. Ils correspondent aux dépenses effectuées par rapport au budget mobilisable des gestionnaires des ouvrages. Ils ne représentent donc pas nécessairement le coût idéal à mobiliser. Celui-ci peut varier selon différents paramètres : le type de matériaux, les coûts de transport pour acheminer les matériaux jusqu'au site, la quantité de matériaux (en fonction de la longueur, de la hauteur et de la largeur de l'ouvrage). De plus, rares sont les situations où un épi unique est efficace, du fait de ses conséquences (érosion en aval dérive) ; cela suppose qu'il soit généralement conçu sous la forme d'une batterie d'épis (cf. figure 49).

Type d'épi	Construction
En enrochements	De 700 à 4000 €/ml selon hauteur (de 1,5 à 4 m) et longueur. De l'ordre de 26 à 37 €/t de matériau.
En bois (planches)	De l'ordre de 650 €/ml (3 m de haut) avec fondations. Coût volumique du bois est de 1700 €/m ³ .
En pieux de bois (pas d'assemblage)	400 €/ml (pieux de 6 m, avec enfoncement de 2/3 dans le sol). Coût volumique du bois : 660 €/m ³ .
En géotextile injecté de sable	2060 €/ml (hauteur d'ouvrage de 1,7 m dont 1 m d'ancrage).
En palplanches	Aux alentours de 20 à 160 €/m ² hors coût d'enfoncement dans le substrat.

Figure 49 : coûts indicatifs de construction d'épis selon le type de matériaux employés.

Épis en enrochements à partir du pied de dune

Site de la flèche sableuse de Penn ar Ch'leuz à Tréfléz (29)



Figure 50 : localisation du site de la flèche de Penn-ar-Ch'leuz à Tréfléz.

Localisation et description du site

Sur la côte nord du Finistère, le littoral occidental de la baie de Gouven (cf. figures 50 et 51), entre Brignogan et Plouescat, est une côte d'accumulation constituée d'un large estran sableux parsemé d'écueils rocheux et du massif dunaire de Keremma où la dune bordière s'élève entre 5 et 9 m d'altitude NGF. La baie connaît un régime macrotidal. Les houles dominantes sont orientées d'ouest à nord-ouest et déterminent, dans la partie occidentale de la baie, une dérive littorale orientée vers l'ouest. Ainsi, les sables migrent d'est en ouest, depuis la pointe de Saint-Gouévroc jusqu'à la flèche sableuse de Penn-ar-Ch'leuz (flèche dunifiée à pointe libre) en passant le long de la plage de Lannévez. La forme en plan de la flèche Penn-ar-Ch'leuz est très évolutive car elle se construit par l'accolement de crêtes de plage progradantes, parallèles à la plage et progressivement dunifiées, mais aussi érodées, pour certaines, lors des périodes d'agitation météo-marine. La flèche est alimentée en sable aux dépens des dunes localisées en amont-dérive, notamment au droit de la plage de Lannévez où l'érosion prédomine. Les sédiments en transit depuis la plage de Lannévez finissent par contourner la flèche et s'accumulent finalement, au moins en partie, dans l'anse de Gouven, à l'abri des houles en arrière de la flèche.



Figure 51 : contexte général de l'ouest de la baie de Goulven.

Le site est un espace naturel riche (biodiversité, habitats) qui est en grande partie une propriété du Conservatoire du Littoral. Les fonctionnements hydrosédimentaire et morphologique de ce site sont néanmoins très anthropisés. Les dynamiques littorales ont, en effet, été amplement mises à profit des habitants à partir du milieu du XIX^{ème} siècle. D'une part, les espaces anciennement submergés à haute mer entre la flèche de Penn-ar-Ch'leuz et la falaise morte au sud de Goulven et de TréfleZ sont poldérisés par l'édification de la digue Rousseau. La poldérisation a ainsi influencé la formation des « dunes de Keremma ». D'autre part, l'anse de Goulven, entre la flèche de Penn-Ar-Ch'leuz, la digue Rousseau et le littoral de TréfleZ et de Goulven, où aboutissent une partie des sédiments transportés par la dérive littorale, a longtemps été un site important d'extraction de sables intertidaux dans le Finistère. Les extractions ont commencé dès le XIX^{ème} siècle et se sont amplifiées au XX^{ème} siècle pour répondre, entre autres, aux besoins de l'agriculture. Le volume annuel prélevé dans l'anse a été progressivement réduit, passant de 17 600 m³ en 1981-1982 à 1 330 m³ en 1995-1996. Ces extractions seront finalement interdites en 2001 car il s'est avéré qu'elles contribuaient au recul de la dune de Lannévez et à la déstabilisation de la flèche de Penn-ar-Ch'leuz (à la fois sur son versant exposé et sur son revers). La protection du polder de Lannévez et le maintien des dunes sont donc dépendantes de l'équilibre dynamique s'établissant, à long terme, entre l'accrétion et l'érosion de la flèche ainsi que de la dune bordière de Lannévez. Pour tenter de contrôler les effets érosifs de la dérive littorale qui limite l'enracinement de la flèche, des épis ont été implantés à l'amont de la plage.

Historique des modes de gestion du site

Des ouvrages de défense côtière ont été installés dans les années 1980 afin de limiter l'érosion du site.

- **En 1981**, un épi en enrochement est implanté sur la partie proximale¹ de la flèche de Penn-ar-Ch'leuz. Il est complété par un perré en enrochements sur la partie de la dune la plus érodée.
- Après quelques mois, **en 1982**, la reprise de l'érosion nécessite d'implanter un second épi en enrochements à l'ouest du premier.
- Les observations ont montré que la pose de ces deux épis a permis de stabiliser la racine de la flèche sur 800 m de longueur. La partie proximale commençait même à s'engraisser, à l'inverse de la partie distale² qui s'érode alors. Ces résultats sont difficiles à attribuer aux seuls effets des ouvrages. En effet, cette inversion de tendance est également en lien avec la diminution des extractions de sable sur le site dans les années 1990.

¹ Racine d'une flèche sableuse

² Extrémité d'une flèche sableuse

- **En 1983**, le Conservatoire du Littoral a pris la gestion du site. Des techniques « douces » de stabilisation et de protection du rivage sont alors privilégiées : ganivelles, brise-vent, plantations. Ces techniques ont permis de limiter le recul du rivage et la création de brèches dans les dunes.
- **Les tempêtes de 1989-1990** ont toutefois causé des petites brèches dans le cordon dunaire mais la remise en état de brise-vents a permis à la dune de se reconstituer progressivement. Des mesures ont également été prises pour canaliser les circulations (piétonne, automobile) et interdire le camping sauvage.

Les vues aériennes successives du site en 1978, 1982, 1990 et 2009 (cf. figure 52), entre la plage de Lannévez et Penn-ar-Ch'leuz permettent de constater les effets de la pose des ouvrages, notamment en 1982, après l'implantation du premier épi et du perré en enrochement, et en 1990, plusieurs années après la construction du deuxième épi, et enfin en 2009.

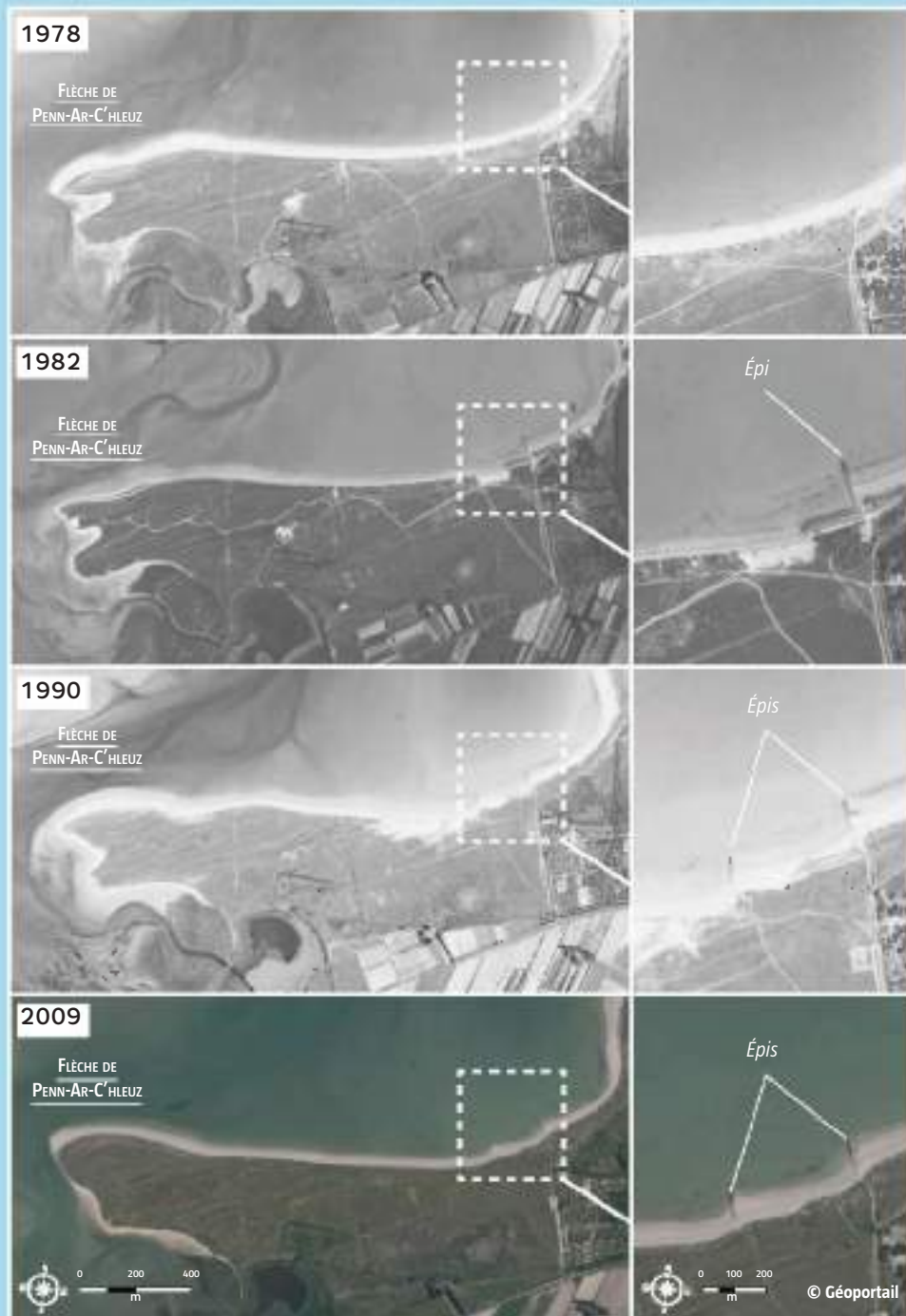
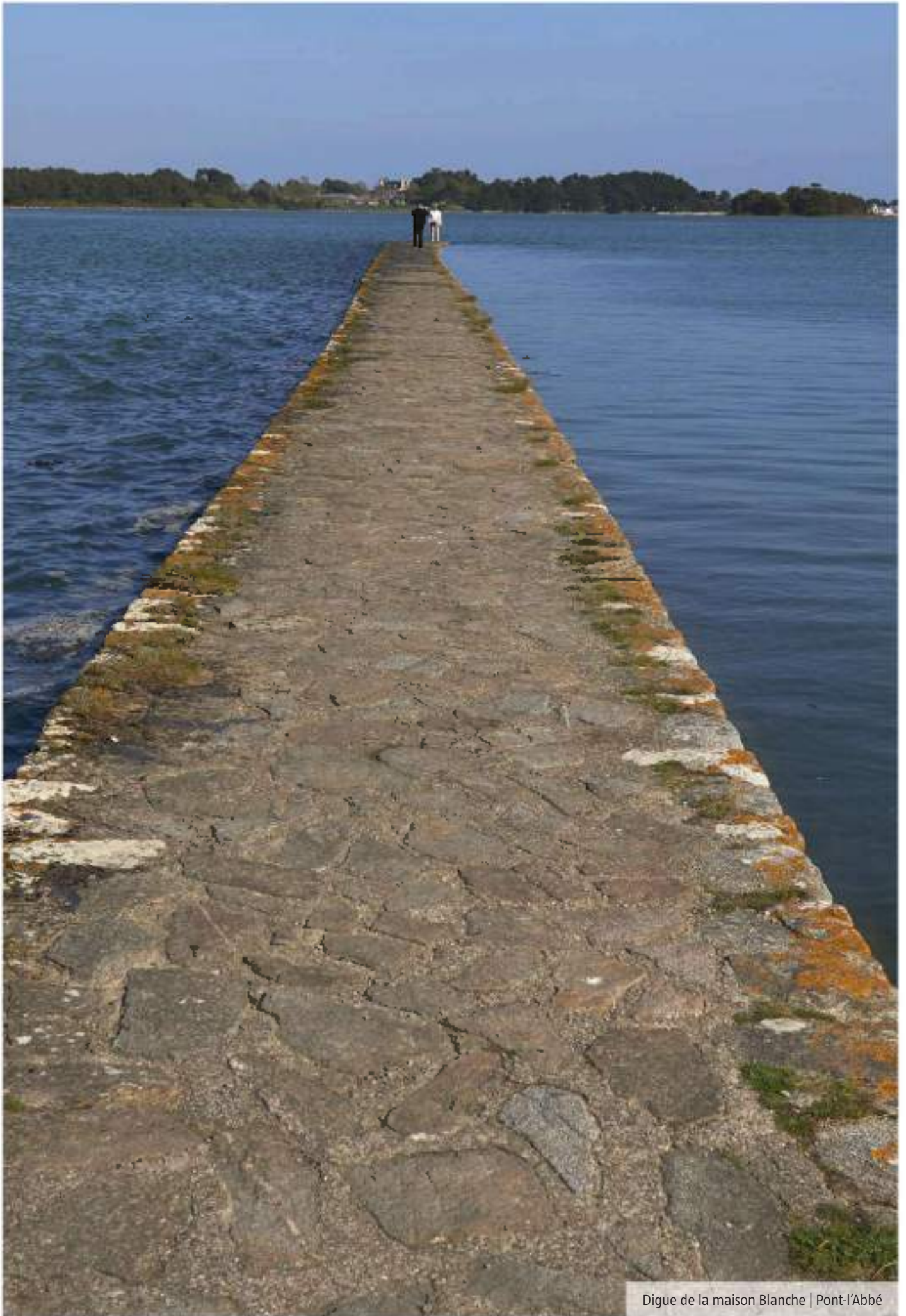


Figure 52 : évolution de la plage de Lannévez après la pose des épis. A gauche, vues aériennes de 1978, 1982, 1990 et 2009 des évolutions de la flèche à pointe libre de Penn-ar-Ch'leuz. A droite, les mêmes vues, centrées sur la racine de la flèche, montrant les évolutions du rivage de la plage de Lannévez où sont positionnés les épis.

Situation 2022

Depuis la pose de ces ouvrages ainsi que l'arrêt des extractions de sédiments dans l'anse de Goulven, un équilibre morphosédimentaire semble atteint.



Digue de la maison Blanche | Pont-l'Abbé

Batterie de 3 épis en boudins de géotextile

Site de la plage de la Grève Blanche
au Guilvinec (29)



Figure 53 : localisation du site de la plage de la Grève Blanche au Guilvinec.

Localisation et description du site

La plage de la Grève-Blanche, sur la commune de Guilvinec, est localisée à l'extrémité est du cordon dunaire qui s'étend, sur environ 5 km, de Kérity à la pointe de Men-Meur (cf. figure 53). La Grève-Blanche est exposée aux houles et vents d'ouest à sud-ouest. Elle est caractérisée par d'importantes surfaces intertidales de platiers rocheux. La dérive littorale est orientée, dans ce secteur, vers le nord-ouest. Le cordon dunaire a subi des extractions de sable dès la Seconde Guerre mondiale, ce qui a provoqué son affaiblissement. Ainsi, dès la fin des années 1960, les premiers épisodes de submersions marines ont été observés tandis que le trait de côte est fréquemment érodé durant les tempêtes hivernales. Au sud de la plage, l'urbanisation est dense et proche du rivage. Une rue dessert la pointe de Men-Meur et longe le trait de côte sur près de 200 m au sommet de la dune. Le quartier de Men-Meur s'est également développé à l'arrière des dunes. Ainsi, certains bâtiments et habitations, ceinturés par des perrés maçonnés, sont à seulement quelques mètres de la plage. De ce fait, sur les 600 m de rivage de la Grève-Blanche, les 300 m de trait de côte localisés au sud sont entièrement protégés contre l'érosion par des perrés maçonnés et en enrochements tandis qu'une structure longitudinale en boudin de géotextile protège le pied du cordon dunaire dans la partie nord.

Historique des modes de gestion du site

Avant son entière artificialisation, le littoral de la Grève-Blanche est régulièrement soumis à de forts reculs du trait de côte pendant les événements tempétueux. En 2000, par exemple, une tempête avait provoqué un recul du trait de côte dunaire sur une longueur de 200 m. La valeur du recul du trait de côte consécutif à un événement tempétueux majeur (L_{max}) est ainsi estimée à 10 m.

- **Au début des années 1990** : l'enrochement situé sur la pointe de Men Meur est prolongé jusqu'à la plage de la Grève-Blanche. Progressivement, l'abaissement de la plage, provoqué par cet enrochement, a nécessité de chercher une solution à ce problème.
- **En 2002**, une analyse du site est effectuée pour rechercher une solution durable de protection du littoral.
- Les ouvrages préconisés sont installés en **2005** :
 - 1 ouvrage longitudinal constitué de boudins de géotextile de 145 m de long positionné en haut de plage est destiné à protéger la dune non encore enroché,
 - 3 épis transversaux, également en boudins de géotextile de 35 m de long chacun, sont proposés pour relever l'altitude du profil de plage le long de l'enrochement. Les ouvrages sont ancrés à 1 m de profondeur et leur hauteur hors sol est de 80 cm.

Sur les clichés aériens verticaux de 2012, l'ouvrage longitudinal et les trois épis (1,2 et 3) sont bien identifiables (cf. figure 54). Entre les épis, on observe alors l'augmentation du stock sédimentaire. Il est marqué par une largeur de sable sec (remarquable par la couleur claire contrairement au sable mouillé plus foncé) qui montre la progradation du haut de la plage.



Figure 54 : la plage de la Grève Blanche au Guilvinec, en 2012, avec la position des ouvrages mis en place en 2005.

Les observations faites en novembre 2021 depuis la plage (cf. figure 55) montrent les effets des ouvrages transversaux (n°1, photo de gauche et n°2, photo de droite). L'altitude de la plage contre leur flanc nord des boudins et le long de l'enrochement permet d'observer l'accumulation sédimentaire réalisée en amont dérive et dans le compartiment entre les deux boudins.



Figure 55 : accumulation de sable à l'amont-dérive de deux des trois épis installés sur la plage de la Grève-Blanche, novembre 2021. A gauche : épi n° 1 ; à droite : épi n°2 (cf. localisation des deux épis sur la figure 53).

A la suite de l'installation de ces ouvrages, la plage s'est donc ré-engraissée, son altitude s'est élevée en haut d'estran, accroissant ainsi la capacité de la plage à atténuer l'énergie de la houle et les effets induits par leur réflexion sur les enrochements. De plus, localement, là où le substrat sableux s'est suffisamment élevé, la végétation a pu coloniser le sable au pied de l'enrochement.

- **En 2006** : restauration de la couverture végétale de la dune de la Grève Blanche, accompagné de l'aménagement d'un chemin piétons en bois.
- **En 2010** : mise en place de ganivelles pour protéger la dune des piétinements.

Situation 2022

Aujourd'hui, les ouvrages (perrés en enrochements et boudins de géotextiles) longitudinaux continuent de jouer leur rôle de protection : le trait de côte étant fixé, les enjeux bâtis sont défendus contre tout recul, notamment lors des tempêtes. Une rupture ou le franchissement des ouvrages (en lien avec l'élévation du niveau de mer dans l'avenir) pourront remettre en question leur efficacité contre la mobilité du rivage et la submersion. Les ouvrages en géotextile (boudins longitudinaux et épis) se dégradent avec le temps (cf. figure 56) mais sont régulièrement entretenus par la société qui les a installés en 2005. Ainsi, l'épi n°3 (le plus au nord de la plage) a dû être remplacé. En juin 2021, il a été retiré et des réflexions sont en cours pour déterminer un nouvel emplacement plus pertinent.



Figure 56 : dégradations et réparations sur un des épis en géotextile sur la plage de la Grève-Blanche au Guilvinec.

Batterie de 5 épis en boudins de géotextile

Site de la plage des Sables Blancs
à Plobannaec-Lesconil (29)



Figure 57 : localisation de la plage des Sables-Blancs à Plobannaec-Lesconil.

Localisation et description du site

La plage des Sables-Blancs (située entre les communes de Plobannaec-Lesconil et Loctudy) est une flèche sableuse dunifiée. En retrait dans l'anse de Lesconil, elle est exposée aux houles de sud-ouest à sud-est. Sa racine est ancrée, à l'est, à la pointe du Cosquer (cf. figure 57). Sous l'influence de la dérive littorale dominante orientée vers l'ouest, elle a isolé la zone basse du Cosquer de la mer en y créant une zone humide arrière-littorale. Conjointement, sa pointe libre a progressé dans l'exutoire de l'estuaire sableux du Ster, à l'ouest, où s'accumulent finalement les sédiments en transit, le jusant étant insuffisamment puissant pour les expulser entièrement vers la mer. Mais ces dynamiques naturelles ont été fortement modifiées par les actions anthropiques. Ces conditions ont, en effet, été mises à profit au XIX^{ème} siècle pour poldériser la Palud du Cosquer sur une centaine d'hectares. Après la construction de la digue de Ster Kerdour, l'effet de chasse déterminé au jusant par la vidange de la Palud du Cosquer et du Ster a été réduit. Le comblement sableux du Ster et l'allongement de la flèche vers l'ouest ont alors été favorisés. Cette évolution s'est faite au détriment de la partie centrale du cordon dunaire dont la largeur s'est progressivement rétrécie, et de l'enracinement qui a été érodé faisant craindre, à partir de la seconde moitié du XX^{ème} siècle, l'apparition de brèches dans le cordon littoral lors des tempêtes. Une brèche dans le cordon entraînerait, en effet, la submersion du polder et menacerait les habitations qui y sont construites depuis les années 1960.

La réduction du couvert végétal sur le cordon est importante et notamment sur le versant exposé de la dune. Les renforcements opérés dans l'urgence à la suite de diverses phases d'érosion de la dune par des déversements de déblais de construction (terre végétale, débris de végétaux, arènes et cailloutis de décaissement de chantiers) ne sont pas propices à une reconquête par des plantes dunaires lors des phases de ré-engraissement naturelles. La fréquentation piétonne de la dune a également favorisé la dégradation de la dune et la rend plus sensible aux attaques de la mer et à

la déflation éolienne. De plus, le piétinement par les piétons tend, d'une part, à abaisser l'altitude de sa crête et, d'autre part, à favoriser la formation de couloirs de déflation dans les accès de plage.

Historique des modes de gestion du site

- **En 1850** est édifiée la digue de Ster Kerdour, de 210 m de long (cf. figure 58, item a) dans le but d'assécher le secteur en arrière de celle-ci, le transformant en un polder où se développe la culture légumière.
- **A partir des années 1900**, des ouvrages sont implantés sur la plage dans le but de protéger le cordon dunaire contre les assauts de la mer et ne pas risquer une intrusion marine dans le polder.
 - Un mur maçonné de 250 m de long (cf. figure 58, item b) est d'abord construit vers le centre de la plage. Il sera presque totalement détruit lors d'évènements tempétueux en 1935-1936. Des brèches apparaissent alors dans le cordon dunaire (cf. figure 58, item 1). D'autres évènements tempétueux en 1938 achèvent totalement le mur maçonné et créent de nouvelles brèches (cf. figure 58, item 2),
 - En 1937, un épi en pieux et fascines (cf. figure 58, item c) est placé à l'extrémité ouest de la dune dans le but de ralentir le transit sédimentaire en direction de l'exutoire du Ster,
 - En 1962, un épi en gabions est installé dans le prolongement de la digue de 1850. Il se révèle inefficace. Dans la même année, 3 brèches se forment dans le cordon dunaire dont une amenant à une inondation d'une vingtaine d'hectares du polder.

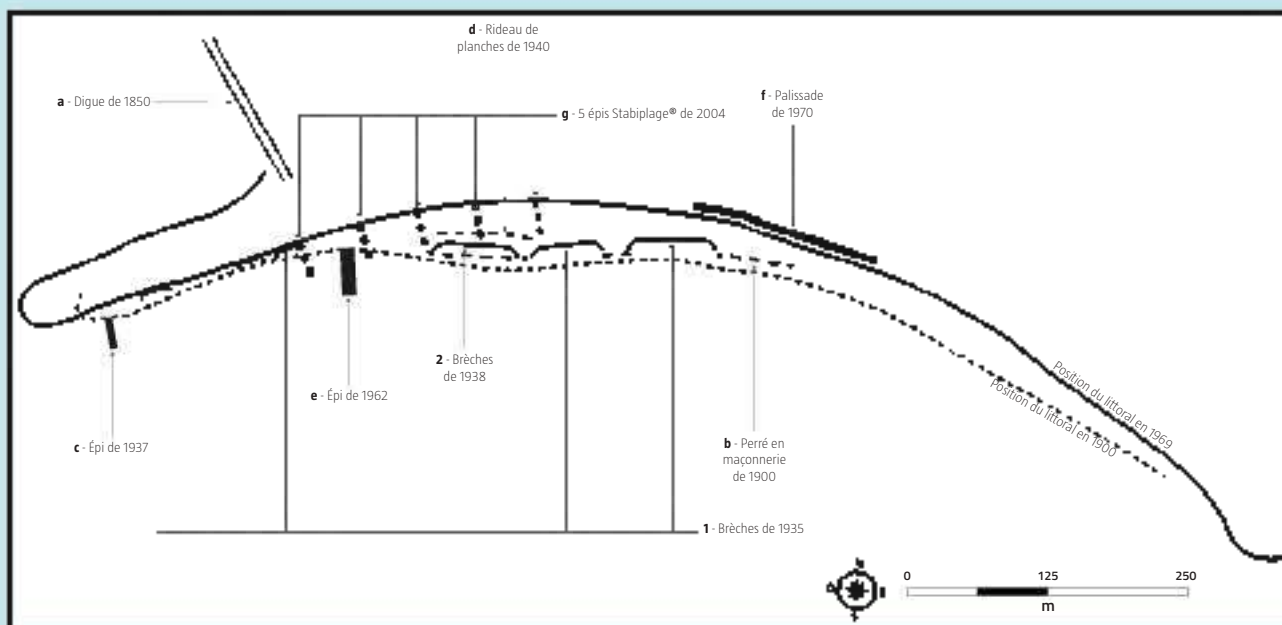


Figure 58 : historique des travaux et dégâts sur le cordon dunaire du Cosquer à Loctudy.
(modifié d'après Le Bars, 1981, DHI, 2007)

- **En 1970** : une palissade en planche de 200 m de long (cf. figure 58, item f) est édifiée dans la partie centrale de la plage et en avant du cordon dans le but de protéger un lotissement en projet. Cependant, des tempêtes en 1973-1974 détruisent cette palissade et creusent des brèches en inondant les terres en arrière de celle-ci, et notamment un camping.
- **En 1975** : la commune de Loctudy, entame des travaux de remblaiement de la dune avec des matériaux divers : terre végétale, souches, gravats.
- **En 2002**, la commune de Plobannalec-Lesconil tente de trouver une solution durable contre les phénomènes d'érosion côtière et de submersion marine. C'est ainsi, qu'en 2004, cinq boudins en géotextiles injectés de sable prélevés in situ sont installés en épis sur la plage (cf. figure 59). Les ouvrages ont une longueur de 35 m, une hauteur de 80 cm et sont implantés à intervalle de 50 m. L'objectif est de bloquer en partie le transit sédimentaire longitudinal afin d'exhausser l'altitude de la plage et ralentir l'allongement de la flèche sableuse qui tend à fermer l'exutoire du Ster.



Figure 59 : la plage des Sables Blancs à Plobannaec-Lesconil en décembre 2005 et position des 5 ouvrages transversaux en géotextiles.

Un suivi morphosédimentaire constitué de mesures topo-morphologiques et d'analyses granulométriques du sédiment de la plage est réalisé après la pose des ouvrages (partenariat entre le laboratoire Géomer LETG UMR 6554 CNRS et le Cerema, Espace-Pur). De janvier à juin 2005, les sédiments s'accumulent en amont dérive, à l'est des ouvrages (+ 600 m³) ainsi qu'entre chacun d'eux (+ 183 m³) et la plage maigrit en aval dérive, à l'ouest des structures (- 545 m³) (cf. figure 60). De janvier à septembre 2006, une seconde période de suivi confirme l'engraissement généralisé de la plage.

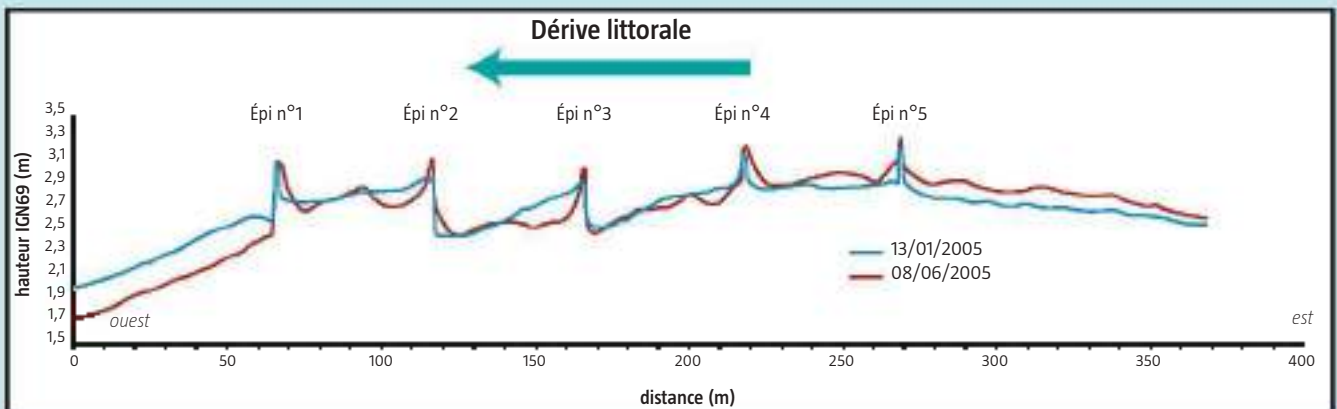


Figure 60 : évolution morphosédimentaire de la plage des Sables-Blancs entre janvier et juin 2005.

(d'après Cariolet et al., 2008)

Les lignes représentent les altitudes de la plage d'ouest en est et montrent les volumes de sables piégés par les épis selon les emplacements. Le volume retenu à l'est, en amont-dérive de l'épi n°5 et le déficit à l'ouest, en aval-dérive de l'épi n°1 sont particulièrement bien marqués. Entre les épis, les variations sont diversifiées.

Ces épis remplissent donc leur fonction en captant efficacement le transit sédimentaire longitudinal. En effet, de janvier 2005 à septembre 2006, le gain des sédiments au sein des compartiments a atteint 1500 m³ soit environ 20 cm d'accrétion. Sur les zones de la plage périphériques aux ouvrages, l'augmentation du volume de sable a atteint 4000 m³ soit en moyenne 18 cm d'accrétion. Les ouvrages bloquent dans un premier temps le transit sédimentaire en amont dérive, puis, une fois les compartiments entre chaque ouvrages remplis, le transit se poursuit vers l'ouest au-delà des ouvrages. Les objectifs souhaités apparaissent atteints car les épis ne bloquent plus la dérive littorale une fois les compartiments remplis.

En 2007, des détériorations et des déchirures de la carapace des épis ont entraîné un départ des matériaux contenus dans les structures. Par la suite, les épis ont été fortement dégradés après des événements tempétueux, en 2012 et 2014 notamment.

Situation 2022

Les ouvrages ne sont plus fonctionnels depuis plusieurs années. Depuis 2011, les communes de Plobannaec et Loctudy réalisent annuellement des opérations de dragages de l'embouchure du Ster qui s'ensable sous la dérive littorale de la plage des Sables-Blancs. Ces opérations permettent de faciliter l'accès des bateaux au port et le sable issu de ces opérations est étalé sur la plage des Sables-Blancs. C'est ainsi 4 000 à 5 000 m³ de sables qui sont, chaque année, apportés sur la plage.

Épis en bois

Site de la Grande-Plage de Gâvres (56)



Figure 61 : localisation de la Grande Plage de Gâvres (56).

Localisation et description du site

La Grande-Plage de Gâvres est une plage de sable moyen à grossier d'une longueur de 2 km (cf. figure 61). Le haut de plage est constitué, à l'est, d'une dune basse végétalisée formant un cordon littoral entre la baie de Locmalo, au nord, et l'océan, au sud. À l'ouest, la dune est artificialisée par des perrés maçonnés et des enrochements. Le cordon dunaire et la plage s'étendent sur près de 25 km de Gâvres à Penthièvres en presqu'île de Quiberon. Au nord, entre l'océan Atlantique et la Petite Mer de Gâvres (espace lagunaire présentant une forte biodiversité), ce cordon supporte la route unique qui dessert la commune de Gâvres. La Grande-Plage, orientée vers le sud, est légèrement abritée, vers l'ouest, par la pointe de Gâvres.

Depuis 1945, la pression humaine grandissante perturbe progressivement les équilibres naturels. La présence d'installations militaires à l'entrée de Lorient et l'urbanisation croissante conduit à renforcer le rivage par des ouvrages. Le sentiment d'inquiétude vis-à-vis des risques côtiers croît en même temps que la commune est affectée par des événements tempétueux qui engendrent des problèmes d'érosion et de submersion marine. Le cordon dunaire, très étroit par endroits (entrée de l'agglomération, notamment), est menacé de rompre lors de conditions météo-marines de fortes énergies. La rupture du cordon dunaire pourrait entraîner de graves conséquences humaines et matérielles et de fortes modifications du milieu lagunaire.

Historique des modes de gestion du site

- **Au cours des années 1950 et 1960**, des murs sont construits en pied de dune pour fixer le trait de côte dans le but de protéger les habitations, les installations et la route. Ils sont régulièrement dégradés (brèches, affouillements) à cause de l'abaissement progressif du niveau de la plage et de l'attaque de la houle.
- **En mars 2008**, la tempête Johanna concomitante de la pleine mer d'une marée de coefficient 108 génère la submersion marine du secteur urbanisé en bordure de la Grande Plage. 80 habitations sont inondées pendant 3 jours. Un Plan de prévention des Risques (PPR) est par la suite approuvé en décembre 2010.
- **En 2012** : l'érosion de la Grande-Plage se poursuivant, deux épis en bois sont installés sur la Grande Plage et un rechargement sédimentaire est effectué.

Lorient-Agglomération, en collaboration avec la commune de Gâvres et l'Université de Bretagne sud effectuent un suivi des effets des travaux réalisés en 2012 (cf. figure 62). Ces suivis ont permis de connaître le fonctionnement de la plage en fonction des marées ainsi qu'au fil des événements tempétueux. Ils montrent également l'insuffisante efficacité des épis et des ouvrages existants. Afin de les rendre plus efficaces, un réaménagement global du site est proposé. Il comprend un confortement et un rehaussement de la dune, la pose de casiers de ganivelles, et l'optimisation des deux épis en bois.



Figure 62 : projet de réhabilitation du trait de côte de la Grande Plage de Gâvres.

- **En 2019**, les premières actions du projet de réhabilitation de la Grande Plage sont mises en œuvre : confortement de la dune sur une longueur de 350 m, rehaussement de la dune et l'installation de 3,4 km de ganivelles au pied de ces dunes pour leur permettre de se reconstruire et les stabiliser.
- **Début 2021**, 3 épis en rondins de bois sont implantés sur le site. Ils sont installés de manière à retenir le sable pour engraisser la plage. Ils viennent s'ajouter aux deux épis déjà existants. Ces nouveaux épis sont composés d'une double rangée de rondins de bois disposés en quinconce à 50 cm d'intervalles. Les pieux, en châtaignier, ont une hauteur de 5 m et sont enterrés à 3 m de profondeur. Ces épis perméables présentent l'avantage de ne pas entraver pas le passage des piétons le long de la plage.

Situation 2022

La pose des 3 épis en 2021 est l'ultime étape du projet de réhabilitation du trait de côte de la Grande Plage, dont les travaux ont commencé en 2019. Des suivis sont réalisés depuis les travaux mais aucun bilan de l'opération n'est encore disponible.

Bibliographie

- Cariolet JM., Suanez S., Carol, F., Magne R., 2008. *Évaluation de la technique STABIPLAGE mise en place sur deux plages du Finistère : les Sables Blancs à Plobannalec-Lesconil-Loctudy, et Boutrouilles à Kerlouan*. Colloque des X^{ème} Journée Nationales Génie Côtier. Pp 201-210. Hal-00556449.
- Cerema, 2018. *Gâvres – érosion secteur de l'épi*. Compte rendu de visite de site du 24 avril 2018. 9 p.
- DHI Eau & Environnement, 2007. *Étude hydrosédimentaire de l'estuaire du Ster de Lesconil. Phase 1 : synthèse et analyse des données disponibles*. 76 p., http://aven29.fr/adrs129/Étude_complete_DHI_19_12_2007.pdf
- EGIS, 2015. *Plan de Prévention des Risques Naturels Littoraux. PPRN-L 1 : Penmarc'h, Le Guilvinec, Treffiagat, Plobannalec-Lesconil, Loctudy, Pont-L'Abbé, Ile-Tudy et Combrit. Phase 1 : analyse préalable du site*. 419 p.
- EGIS, 2016. *Plan de Prévention des Risques Naturels Littoraux. PPRN-L 1 : Penmarc'h, Le Guilvinec, Treffiagat, Plobannalec-Lesconil, Loctudy, Pont-L'Abbé, Ile-Tudy et Combrit. Phase 2 : caractérisation des aléas*. 315 p.
- Espace Pur, 2005. *La plage de la Grève Blanche – Guilvinec – Finistère – France : stabilisation du trait de côte et valorisation de l'espace littoral*. 2 p. http://www.stabiplate.com/vars/fichiers/pub_defaut/Ref%20Le%20Guilvinec2005%20web%20300107.pdf
- Fleitour JB., Suanez S., Goudedranche L., 2005. *Lutte contre l'érosion du littoral – Expertise scientifique du procédé Stabiplate mis en place sur la plage des Sables Blancs, commune de Plobannalec-Lesconil (Finistère) – Période de suivi : janvier à juin 2005*. 32 p. https://www.univ-brest.fr/digitalAssets/40/40107_Rapport_Stabiplate_Lesconil_2005.pdf
- Lorient Agglomération, 2018. *La dune, meilleur rempart contre la houle*. Les Nouvelles de Lorient Agglomération n°43, novembre décembre. 4 p.
- Lorient Agglomération, 2018. *Gâvres. Poursuite de la réhabilitation du trait de côte de la Grande Plage*. 3 p.
- Stéphan P., Dodet G., Tardieu I., Suanez S., David L., 2018. *Dynamique pluri-décennale du trait de côte en lien avec les variations des forçages météo-océaniques au nord de la Bretagne (baie de Goulven, France)*. Géomorphologie : relief, processus, environnement, 24, 1, pp. 79-102. <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.11908>
- Suanez S., Cariolet JM., Henaff A., Goudedranche L., 2006. *Expertise scientifique du procédé Stabiplate© mis en place sur la plage des Sables-Blancs – commune de Plobannalec-Lesconil (Finistère), période de suivi : janvier 2005 - septembre 2006*. 17 p.
- Yoni C., Hallegouet B., Bodere J.-C., 1994. *Ouvrages de protection et artificialisation de la ligne de rivage dans le pays Pagan (Finistère)*.



Port du Rosmeur | Douarnenez

Fiche 3

Ouvrages longitudinaux de bas de plage et d'avant-plage

Estuaire du Goyen | Audierne



Lieux d'implantation possibles

Côtes d'accumulation



Falaises meubles



Falaises rocheuses



Côtes anthropisées



Description

Les ouvrages longitudinaux d'avant-plage appelés brise-lame (cf. figure 63) répondent à deux objectifs :

- dissiper la force des houles frontales incidentes avant qu'elles impactent la côte. Ces ouvrages sont donc utilisés, d'une part, pour protéger des littoraux d'accumulation contre les effets de la houle et, d'autre part, dans la protection des côtes d'ablation car l'ouvrage réduit l'impact des houles et des vagues sur le versant. Enfin, ils peuvent aussi renforcer les côtes anthropiques contre les impacts des houles (cf. figure 64) ;

- favoriser la sédimentation sur leur revers, et donc étendre la partie haute d'une accumulation littorale et, le cas échéant, renforcer alors l'accumulation dunaire. Les brise-lames limitent alors le transport sédimentaire qui s'effectue transversalement dans le profil, notamment depuis la plage vers l'avant-plage. Ils ne sont par contre pas adaptés aux accumulations littorales où le transit sédimentaire longitudinal prédomine.

Les objectifs assignés à la structure, les caractéristiques morphosédimentaires et les conditions tidales du littoral à

protéger conditionnent le dimensionnement des structures ainsi que leur positionnement à une distance spécifique du trait de côte, sur la plage ou sur l'avant-plage. Sur les littoraux à marée, ces ouvrages sont alternativement émergés et partiellement ou totalement immergés. Des structures flottantes existent également.

NB (1) : en France métropolitaine, en dehors de leur utilisation portuaire, les brise-lames sont principalement utilisés sur les littoraux méditerranéens à faible marnage ; il n'existe pas d'exemple d'utilisation en Bretagne, autre qu'en protection portuaire (par exemple à Penmarc'h et à Roscoff).

NB (2) : les brise-lames peuvent servir de récifs artificiels dès lors qu'un objectif de développement ou de reconquête de la biodiversité marine leur est assigné en complément de leur rôle protecteur contre les houles.

NB (3) : les brise-lames sont également utilisés pour la protection des plans d'eau portuaire et certaines zones de mouillage (cf. figure 64).



Figure 63 : brise-lames à Valras-Plage et sur la plage du Libron à Vias (34).



Figure 64 : brise-lames de protection portuaire à Penmarc'h.

Objectifs

- Provoquer le déferlement des vagues avant qu'elles n'atteignent le rivage pour atténuer leur énergie et donc limiter leur impact sur la côte.
- S'opposer aux courants perpendiculaires au trait de côte.

Méthodes et conditions d'implantation

Différents types d'ouvrages existent :

- **enrochements** (cf. figures 65 et 66) : un cœur constitué de matériau tout venant est recouvert de blocs de roche ;

Figure 65 : coupe d'un brise-lame en enrochements.

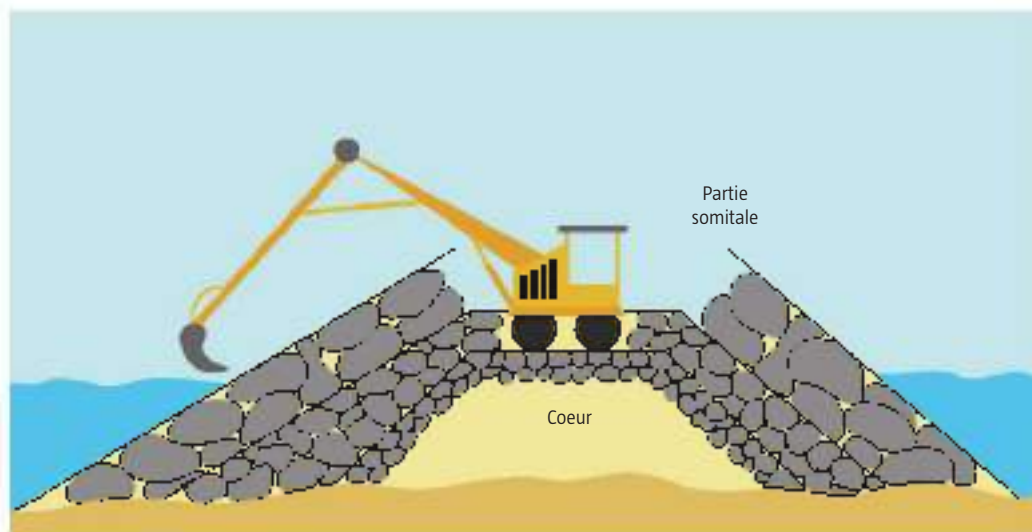


Figure 66 : brise-lame en blocs d'enrochement au large de la plage de Kersiny à Plouhinec.

- **boudins en géotextile** (cf. figure 67) : les tubes géotextiles sous-marins permettent de renforcer la barre d'avant-côte pour atténuer la houle. Les ouvrages en géotextiles ont un intérêt économique face aux ouvrages en enrochements. Ils peuvent être installés en un seul rang ou en double-rangée. Ils sont sensibles aux passages des quilles et des hélices des bateaux ainsi qu'aux bois flottés et autres objets déplacés lors des tempêtes qui peuvent provoquer leur déchirure.



Figure 67 : protection de la plage de l'Amélie à Soulac (33) par tubes brise-lames.

Autres paramètres :

- nombre de brise-lames dans le cas d'installation en batterie. Un brise-lame seul peut être installé ou segmenté sur une distance variable ;
- ouvrages émergés ou immergés : les ouvrages émergés engendrent, entre eux et la côte, une zone de calme qui favorise la sédimentation. Petit à petit, et si le sédiment est disponible en quantité suffisante, une queue de comète puis un tombolo peuvent se former derrière lui, entre la structure et la côte. Les ouvrages immergés limitent les volumes d'eau qui les franchissent et contraignent les houles à déferler avant d'atteindre le rivage. L'installation de brise-lames immergés permet une évolution de rivage plus homogène et plus rectiligne qu'avec des brise-lames émergés ;
- la longueur du ou des ouvrages : c'est le paramètre qui conditionne le plus directement la longueur de rivage protégée ;
- la distance entre le ou les ouvrages et le rivage ;
- la profondeur de son implantation ;
- l'orientation par rapport au rivage : certains ouvrages peuvent être légèrement obliques par rapport au rivage : dépend de l'orientation des houles dominantes ;
- la distance entre chaque ouvrage dans le cas d'une installation en batterie.

Effets de l'ouvrage

Intérêts

- Lorsque l'ouvrage est construit dans des conditions optimales, la protection est efficace immédiatement.
- Si des tombolos se forment, ils permettent de gagner en surface de plage : atténuation complémentaire de la houle, surface de déflation (et atout pour le tourisme).
- Hausse de la protection de la côte contre les submersions marines liées à l'élargissement de la plage.
- Selon le matériau choisi, certains constituent un substrat colonisé par la faune et la flore.

Limites

- Modification de la courantologie littorale au droit de chaque ouvrage et entre deux ouvrages.
- Division de la cellule hydrosédimentaire initiale en sous-cellules au droit des ouvrages.
- Les accumulations créées par les ouvrages (queue de comète, tombolo) peuvent se faire au détriment d'accumulations localisées en aval-dérive et auparavant alimentées par ces sédiments.
- La modification ou perturbation des courants peut créer des courants dangereux pour les baigneurs.
- Mauvaise intégration paysagère des ouvrages émergés.

Coûts

Type de brise-lame	Construction	Entretien
En enrochements	De 4 200 à 8 800 €/ml pour des hauteurs de 4 à 6 m (sur le fond et des structures émergées à semi-émergées). De l'ordre de 25 à 42 €/t de matériau.	3 à 5 % du coût de l'investissement par an.
En géotextile injecté de sable (géotube)	1500 €/ml 500 € (1,5 à 1,8 m) 2 500 €/ml (double rangée de 4 à 5 m) 20 à 30 % moins cher que les solutions classiques (sans études préalables, dont bathymétrie).	Pas de données.

Figure 68 : coûts indicatifs de la construction et de l'entretien de brise-lames.

Brise-lames en enrochements

Site de Valras-Plage (34)



Figure 69 : localisation du site de Valras-Plage (34).

Localisation et description du site

Valras-Plage est une commune littorale de l'Hérault en région Occitanie bordée par la Méditerranée. L'énergie de la houle dans la zone est modérée avec une hauteur significative de 0,7 m. Les houles dominantes viennent du Sud-Est. La dérive littorale est orientée d'Est en Ouest (cf. figure 69).

Le littoral de Valras-Plage qui mesure 3,5 km est délimité à l'ouest par Vendres et à l'est par Sérignan. La plage de Valras-Plage fait partie intégrante d'un long cordon littoral qui s'étire sur une vingtaine de kilomètres entre les embouchures de l'Hérault et de l'Aude. Sur le plan morphologique, les plages de la région sont bordées, à l'état naturel, par une avant-dune. Cependant, à Valras-Plage, l'avant-dune est totalement arasée par l'urbanisation. Le front de mer est urbanisé sur près de 2,5 km entre la limite avec la commune de Vendres à l'ouest et l'embouchure de l'Orb à l'est, puis se prolonge dans une zone naturelle depuis la plage des Orpellières sur plus d'1 km. La commune est également située dans la plaine inondable de l'Orb et du Libron et se trouve donc particulièrement exposée aux aléas littoraux et fluviaux. La commune fait partie du Territoire à Risque Important d'Inondation (TRI) de Béziers-Agde.

Historique des modes de gestion du site

Le développement de cette station balnéaire débute en 1846. A partir des années 1960-1970, la station balnéaire connaît un net essor avec l'aménagement touristique des rivages du Languedoc-Roussillon. Jusqu'à la fin des années 1960, la plage de Valras-Plage n'a jamais présenté de signe de fragilité face à l'érosion. La plage présentait même une dynamique d'accrétion, entre 1935 et 1954, sous l'influence des apports de la crue cinquantennale de l'Orb, en décembre 1953. Par la suite, elle est restée relativement stable jusqu'à la fin des années 1970.

- **A partir des années 1960** : les premiers signes d'érosion du littoral de Valras-Plage sont apparus après les travaux réalisés à l'embouchure de l'Orb. Une première jetée a été construite à l'est de l'embouchure. Elle a engendré immédiatement une forte progradation de la plage située au nord-est. Cet effet prouve que la jetée intercepte une partie des sédiments transitant par la dérive littorale dominante dirigée d'est en ouest.

Toutefois, la déstabilisation du littoral urbanisé de Valras-Plage n'a débuté qu'entre **1968 et 1981**, après la prolongation des jetées (cf. figure 70). Ces travaux ont été effectués pour éviter l'ensablement du chenal d'entrée du nouveau port de plaisance édifié en 1970 dans l'embouchure du fleuve ainsi que pour sécuriser son accès par mer agitée (les jetées sont courbes pour briser l'énergie des houles dominantes). Les jetées, qui mesurent 300 m (jetée « est ») et 400 m de long (jetée « ouest »), interceptent maintenant une grande partie des sédiments de la dérive littorale. De plus, leur forme courbe vers l'ouest, oriente les apports de sédiments de l'Orb vers l'est.

L'érosion de la plage devant la zone urbanisée a été ensuite très rapide. A 400 m au sud de l'Orb le recul dépasse 55 m de 1968 à 1981, dont 24 m entre 1977 et 1981. L'érosion décroît vers le sud, mais en 1981, plus de 2 km de linéaire côtier étaient touchés provoquant la perte de 50 000 m² de plage environ par rapport à 1968. Pourtant, cette période entre 1968 et 1981 n'est pas caractérisée par de fortes tempêtes. L'érosion est surtout due à la construction et l'allongement des jetées à l'embouchure de l'Orb.



Figure 70 : construction et allongement des jetées à l'embouchure de l'Orb entre 1968 et 1981 et localisation de la zone d'érosion créée à partir de 1981.



- **Du 6 au 8 novembre 1982**, une tempête importante, provoque des dégâts : la plage disparaît pratiquement sur près de 400 m, directement au sud de l'Orb. La zone urbanisée située en arrière est inondée sur plusieurs centaines de mètres de large. A la suite de cet événement, la municipalité fait construire, en 1985, un brise-lame de 200 m de long à 6 m de profondeur pour protéger la portion de plage la plus touchée. Dès 1989, une érosion est observée en aval dérive.
- **En 1992**, trois nouveaux brise-lames sont implantés au sud du premier pour remédier à l'érosion constatée en aval-dérive (cf. figure 71). Un rechargement sédimentaire de 50 000 m³ est également mis en place. A cette époque, la zone la plus touchée par l'érosion est située encore plus au sud, au niveau du casino. Le recul y est de 25 m entre 1989 et 1992. L'implantation de ces ouvrages en amont de ce site va accentuer davantage l'érosion devant la zone du casino, impliquant rapidement la mise en place d'un nouveau brise-lame.
- **En 1995**, ce nouveau brise-lame est implanté. Un épi est également construit au sud du brise-lame et un rechargement sédimentaire de 22 500 m³ est effectué. Le point d'érosion maximal est encore repoussé vers le sud. Ainsi, environ 200 m au sud de l'épi, est enregistré un recul de 60 m entre 1992 et 1998. A cet endroit, la plage ne mesure plus que 30 m en 1998 contrairement à 130 m en 1968.

La plage continue de s'éroder au sud de l'épi et reste exposée aux tempêtes. La zone urbaine en arrière s'est retrouvée inondée à plusieurs reprises. Certaines des zones inondées n'avaient subies aucun dommage lors de la tempête de 1982. Ces nouveaux incidents incitent la municipalité à agir à nouveau.



Figure 71 : le littoral de Valras-Plage en 1998.

- **En 1999**, 5 nouveaux brise-lames sont installés dans la continuité des précédents. Un rechargement sédimentaire de 55 000 m³ prélevé dans le lit de l'Orb accompagne les nouveaux ouvrages (cf. figure 72). Désormais, tout le linéaire côtier de Valras-Plage est protégé par des brise-lames, exceptés les 500 derniers mètres avant la commune de Vendres. Sur cette partie, le choix se porte sur la reconstitution artificielle d'un cordon dunaire à partir de sédiments prélevés dans le lit de l'Orb. Cette solution a pour but d'éviter la construction de nouveaux brise-lames et ainsi stopper l'engrenage de la mise en œuvre d'un ouvrage s'opposant aux processus naturels qui ne fait que déplacer le problème d'érosion.

Après ces aménagements, entre l'épi et l'embouchure de l'Orb, la plage se stabilise et les sédiments s'accumulent en formant même des tombolos entre la plage et les brise-lames. Cependant, en aval dérive de cette batterie de brise-lames, l'érosion continue, ce qui a poussé la commune à réaliser d'autres travaux en 2007.

- **En 2007**, 3 brise-lames supplémentaires sont installés. Ils sont associés à un rechargement sédimentaire de 45 000 m³ issu d'un gisement sous-marin situé en rive gauche de l'Orb. Par ailleurs, une digue de haut de plage, construite en urgence sur cette zone en 2003, a été retirée et le cordon dunaire a été reconstitué et protégé par des rangées de ganivelles.



Figure 72 : Valras-Plage en 2018.

Malgré ces ouvrages, le territoire littoral de la commune reste confronté, par sa faible altitude, surtout au niveau du casino, aux submersions marines. Les volumes d'eau et de sable franchissant le rivage sont importants lors des tempêtes d'occurrence décennales. Des bandes de précaution entre 35 m et 50 m sont appliquées en arrière du trait de côte sur cette zone.

Situation 2022

Les brise-lames installés sur la totalité du littoral de Valras-Plage assurent un certain amortissement de l'énergie des vagues. Cependant, sur la partie occidentale, en cas de tempête centennale, le cordon dunaire sera tout de même soumis à l'action des vagues avec des risques de franchissement par parquets de mer. Au niveau du casino, les vagues franchissent le trait de côte pour des tempêtes maritime d'occurrence supérieure à 10 ans. Par ailleurs, le problème d'érosion s'est déplacé à l'ouest des brise-lames installés en 2007, sur le littoral de Vendres.

Bibliographie

Artières O., Bougis J., Dunand M., Durand F., Vassal P. (2004). Protection côtière par tubes filtre conteneurs. Cas de la plage de l'Amélie. Actes des VIIIe Journées Nationales Génie Civil-Génie Côtier, Compiègne, pp. 769-775.

Bougis, J., (2000) Ouvrages de défense des littoraux. Cours de formation continue. 64 p. http://www.scs-ingenierie.com/pdf/cours/ouvrage_defense_littoraux.pdf

Direction départementale des territoires et de la mer (2019) Plan de prévention des risques naturels d'inondation et littoraux (submersion marine), commune de Valras-Plage, rapport de présentation. 107 p.

Durand, P., (2001) Érosion et protection du littoral de Valras-Plage (Languedoc, France). Un exemple de déstabilisation anthropique d'un système sableux. Dans Géomorphologie : relief, processus, environnement, pp : 55-68.

Fiche 4

Ouvrages de soutènement

Plage de Cleut Rouz | Fouesnant



Lieux d'implantation possibles

Côtes d'accumulation



Falaises meubles



Falaises rocheuses



Côtes anthropisées



Description

Un ouvrage de soutènement est un ouvrage longitudinal construit le long du trait de côte, verticalement, ou avec une certaine inclinaison, ou encore avec une concavité vers la mer (cf. figures 73 et 74). Il est construit en « T » inversé ou ancré dans la roche avec une semelle profonde. Il maintient le trait de côte en s'opposant, à la fois, à la poussée exercée par la masse des matériaux et la charge en eau du versant, d'un côté, et de l'autre côté, aux assauts de la mer sur le trait de côte. Dans certaines situations, il peut avoir aussi pour objectif de

diminuer les risques de submersion marine. Ces ouvrages peuvent être adaptés à tous les types de côte. Il existe aussi une très grande diversité de matériaux de construction : béton, palplanches, gabions, pierres sèches ou en maçonnerie, avec ou sans tirants.

Ces ouvrages ont un pouvoir de réflexion des houles important qui les rendent sensibles à l'affouillement à leur pied, pouvant provoquer d'importants désordres sur les ouvrages. Pour limiter ce phénomène, ils sont souvent construits sur une semelle et associés

à une protection de pied comme des enrochements ou un tapis anti-affouillement. D'autres processus, tels que l'action de l'eau de mer sur les joints entre les matériaux de l'ouvrage ainsi que les infiltrations d'eau au sein de la structure peuvent concourir à la dégradation de l'ouvrage. Les ouvrages de soutènements peuvent être surmontés d'un parapet pour éviter la projection de paquets de mer en arrière de l'ouvrage.

Objectifs

- Soutenir les terres situées derrière l'ouvrage.
- Stopper le recul du trait de côte.
- Avec un parapet au sommet de l'ouvrage, éviter la projection de paquets de mer en arrière de celui-ci.



Figure 73 : murs de soutènement le long du trait de côte : à gauche : plage de Trez Bellec à Telgruc-sur-Mer, soutènement ; à droite : plage de Primel-Trégastel à Plougasnou.

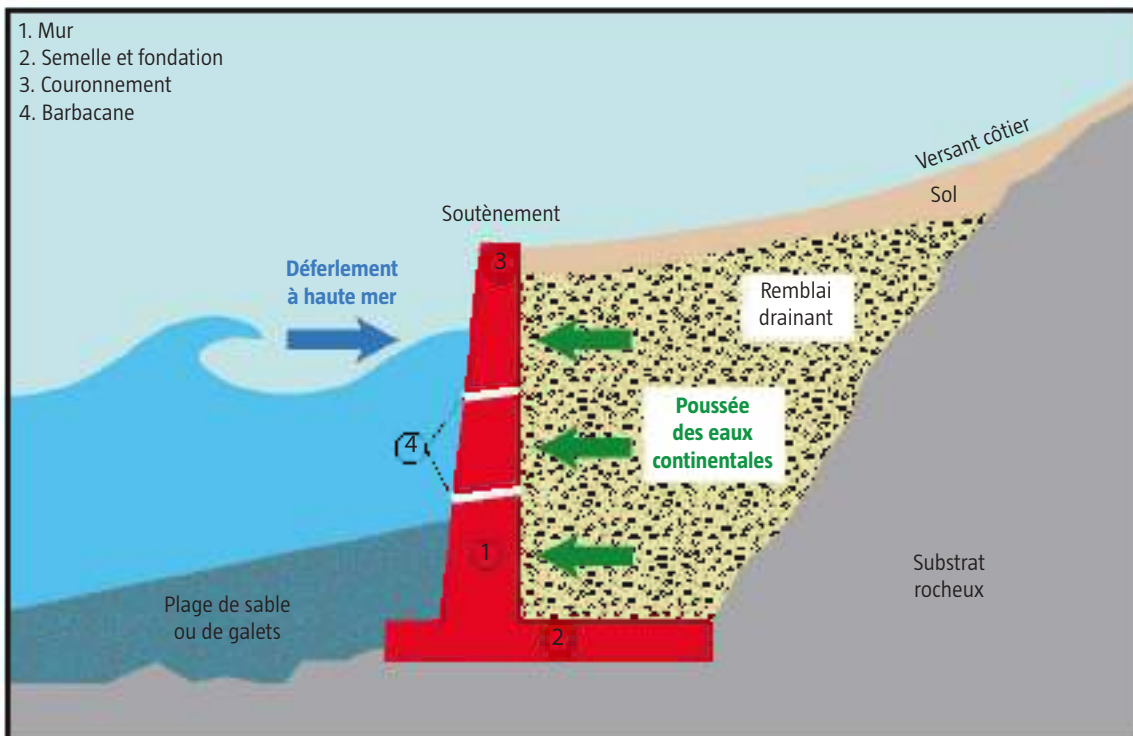


Figure 74 : schéma d'un ouvrage de soutènement.

Méthodes et conditions d'implantation

Différents types d'ouvrages :

- **mur maçonné** (cf. figure 75) : les murs maçonnés sont composés de pierres reliées par un liant plus ou moins résistant selon sa composition. Les parements superficiels de pierres ne préjugent pas de la constitution du corps de l'ouvrage qui peut être formé de matériaux différents : béton, parfois armé, blocs ;



Figure 75 : mur maçonné, Plougrescant (Côtes-d'Armor).

- **mur en béton** (cf. figure 76) : le béton peut être coulé et armé. Mais des structures préfabriquées peuvent également être employées et assemblées le long du trait de côte pour constituer l'ouvrage de soutènement ;



Figure 76 : mur en béton, plage de Poulluen à Loctudy.

- **mur concave** (pare-lame ou « chasse-mer ») (cf. figure 77) : les murs de béton sont parfois conçus avec une forme concave vers la mer de manière à limiter la réflexion des vagues sur la structure ainsi que le franchissement des déferlantes par paquets de mer ;



Figure 77 : mur concave à l'Île-de-Sein.

- **en gabions** (cf. figure 78) : un gabion est un contenant rigide constitué en caisson perméable, rempli de blocs ou de galets. Disposés à la manière d'un mur vertical ou en escalier, les caissons servent de rempart contre les assauts des vagues. Le contenant est, le plus souvent, une cage métallique grillagée. Moins coûteux que les enrochements, les gabions sont cependant plus fragiles. Le principal avantage des gabions réside dans leur facilité et leur rapidité de mise en œuvre. Ces structures sont principalement utilisées à court terme en raison de leur fragilité car leur résistance sur plusieurs années est relativement faible du fait de l'oxydation des structures grillagées ;



Figure 78 : gabions de soutènement sur la plage des Sables-Blancs à Douarnenez.

- **palplanches** (cf. figure 79) : les palplanches sont des profilés métalliques battus ou vibrofoncés dans le sol. Les palplanches s'embroient les unes dans les autres, permettant ainsi la réalisation de rideaux continus très étanches qui peuvent être rectilignes ou courbes. Les palplanches sont sujettes dans le temps à oxydation (possible protection cathodique) ;



Figure 79 : mur de soutènement de terre-plein sur le port du Moulin-Blanc à Brest.

Effets de l'ouvrage

Intérêts

- Fixation efficace et immédiate du trait de côte.
- Soutien des terres.
- Protection contre l'érosion du trait de côte.
- Protection contre les submersions marines.

Limites

- Forte réflectivité des ouvrages.
- Problème d'affouillement des ouvrages.
- Effondrement dû à la charge en eau et la mobilité du versant.
- Artificialisation du trait de côte.

Coûts

Type de soutènement	Construction	Entretien
<i>Estimation moyenne</i>	<i>de 2000 à 4000 €/ml.</i>	<i>1000 €/ml.</i>
<i>Mur maçonné</i>	<i>Pas de données.</i>	<i>1000 €/ml.</i>
<i>Mur béton</i>	<i>2800 €/ml.</i>	<i>Pas de données.</i>

Figure 80 : exemples de coûts de construction et d'entretien d'ouvrages de soutènement.



Mur de soutènement devant une falaise

Site de la plage du Portzic à Crozon (29)



Figure 81 : localisation du site de la plage du Portzic à Crozon.

Localisation et description du site

La circulation des sédiments dans l'anse de Morgat (cf. figure 81) a été profondément perturbée par la construction des ouvrages portuaires successifs du port de pêche, à la fin du XIX^{ème} siècle et au XX^{ème} siècle, puis, de manière plus marquée encore, par la jetée du port de plaisance à partir de 1970. Le long de la ligne de rivage, les sédiments transitent vers le sud depuis la pointe des Grottes, en direction de la pointe et du port de Morgat. A l'inverse, sur l'avant plage, les houles et les vagues, diffractées par le cap de la Chèvre dans la baie de Douarnenez, déterminent leur transport vers le nord de l'anse de Morgat, compensant ainsi les départs induits par la dérive littorale.

La cellule sédimentaire peut être considérée comme fermée mais la digue de 1970 joue désormais le rôle d'épi et retient une partie des sédiments en circulation. Les sédiments en transit s'accumulent en amont-dérive de la digue, dans le port et dans le sud de la plage qui tend à s'élargir (cf. figure 82). A Morgat, la végétation dunaire tend même à envahir la partie haute de la plage et la commune intervient régulièrement pour maintenir l'espace d'accueil des estivants. Par contre, dans le nord de l'anse, la plage du Portzic, encadrée par les deux pointes rocheuses de Rulianec et des Grottes, est exposée au déferlement des vagues de sud et de sud-est (y compris la réflexion des vagues sur les pointes rocheuses). Elle est fréquemment amaigrie après les périodes d'agitation météo-marine et souffre alors d'un déficit d'apport de sédiments pour compenser les départs opérés par la dérive littorale et les transits entre la plage et l'avant-plage. La plage étant en érosion, elle n'amortit plus aussi efficacement les houles et les vagues, ce qui, en haut de la plage, aurait pour effet d'exposer plus directement la base des falaises meubles aux actions de la mer et accélérerait leur retrait. Un ouvrage de soutènement maçonné a donc été édifié le long du trait de côte pour enrayer cette érosion.

Historique de la gestion du site

- A partir des années 1970, l'érosion de la plage du Porzic s'accroît et affecte les falaises.

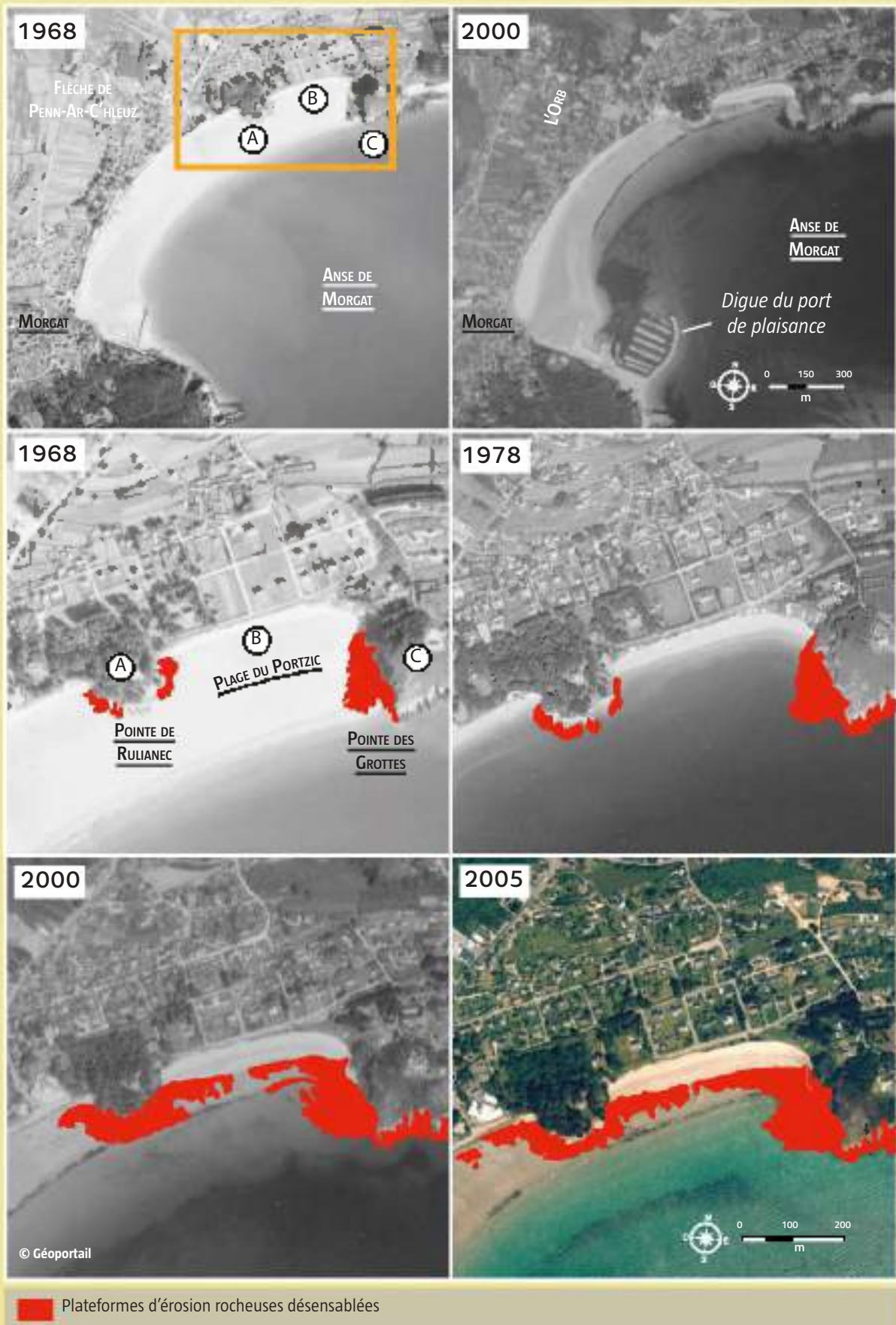


Figure 82 : évolutions de l'anse de Morgat et démaigrissement de la plage du Porzic entre 1968 et 2000.

1. Ensablement au sud et 2. abaissement du niveau de sable au Porzic mis en évidence par le désensablement des plate-formes rocheuses après la construction de la jetée du port de Morgat à Crozon.

Un mur a d'abord été construit afin d'éviter l'éboulement de la falaise sur la plage (source de dangers pour les usagers), et la protéger des vagues. Le mur de soutènement sera ensuite prolongé et réparé à plusieurs reprises avant d'être complété plus récemment par un ouvrage de soutènement supplémentaire. Entre-temps, divers types de travaux sont également entrepris pour enrayer l'érosion de la plage et de la falaise. Les sédiments issus des dragages du port sont utilisés pour engraisser la plage. En 2016, principalement pour régler le problème de l'ensablement du port et, conjointement, l'érosion de la plage du Portzic, la pose d'un épi de 300 à 400 m de long est envisagée à la pointe de Rulianec. Le projet sera abandonné.

- **Avant 1966**, la falaise meuble du Portzic, entaillée en paroi subverticale au sommet festonné par des zones de glissement, montre des signes d'une érosion active. Cette dynamique est probablement initiée par les processus continentaux, et sans doute aidée par les impacts anthropiques : eaux pluviales du versant urbanisé et cheminements liés à la fréquentation de cette plage du quartier balnéaire de Lesquiffinec qui se développe et se densifie depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale.
- **Entre 1966 et 1968**, la plage apparaît particulièrement amaigrie (clichés aériens de l'IGN). Deux épis perpendiculaires au rivage sont construits, à 100 m l'un de l'autre, vers le milieu de la plage du Portzic. Ces ouvrages tendraient à indiquer que l'amaigrissement de la plage ne serait pas uniquement une conséquence de la construction de la jetée du port de plaisance en 1970. Pour autant, seule une petite portion de mur édifiée dans l'alignement du trait de côte, sur une vingtaine de mètres soutient simplement l'accès principal à la plage.
- **Vers 1981**, les clichés aériens de l'IGN indiquent qu'un mur de soutènement d'une centaine de mètres a été édifié à la base des falaises meubles, à l'est de la plage.
- **En 2002** : le mur de soutènement est réparé et prolongé. Il s'étend alors jusqu'à l'accès à la plage. Seules les parties orientales et occidentales de la falaise, sur une centaine de mètres de part et d'autre du mur, ne sont pas aménagées.
- **En 2006** : la protection de la falaise par le prolongement du mur est votée au budget mais les travaux sont retardés à plusieurs reprises.
- **En 2007** : 42 000 m³ de sable dragués dans le port de Morgat sont déplacés vers la plage du Portzic.
- **En 2010-2011** : les gros galets situés sur la plage sont déplacés en pied de falaise.
- **En 2013-2014** : des travaux d'extension du mur sont réalisés. De 100 m de long et 4 m de haut il est en béton armé et habillé d'un parement en pierres. Le coût de l'opération s'est élevé à 337 000 € TTC.
- **En 2017** : un soutènement complémentaire a été ajouté avec un ouvrage en gabions. Son objectif est de limiter la saturation en eau de pluie du versant et les éboulements de la falaise qu'elle provoque.

Situation 2022

Les travaux étant récents (cf. figure 83), le bilan de cet aménagement complémentaire ne peut être encore établi. On observe néanmoins que les dernières décennies ont conduit à renforcer systématiquement l'aménagement et l'artificialisation de la falaise du Portzic.

Tous ces travaux tentent de remédier, d'une part, à l'amaigrissement de la plage, susceptible de renforcer les actions marines au pied de la falaise. Cependant, ils contribuent à augmenter la réflexion des vagues qui est préjudiciable au maintien de stock de sédiments sur le haut de la plage. D'autre part, les aménagements tentent de freiner le recul du versant entaillé en falaise dont la dynamique relève de processus continentaux de ruissellement superficiel et de saturation en eau des formations meubles qui la constituent.

L'érosion de la plage et de la falaise d'origine naturelle a certainement été renforcée par la création de la jetée du port de plaisance. Les impacts de l'urbanisation et de l'artificialisation consécutive du versant de Lesquiffinec depuis le début du XX^{ème} siècle et depuis la seconde moitié du XX^{ème} siècle ont probablement été également renforcés et mériteraient d'être considérés.



Figure 83 : mur de soutènement en maçonnerie (photo de gauche) ; partie supérieure constituée de gabions (photo de droite) sur la plage du Portzic à Crozon en mars 2022.

Bibliographie

Association du collectif de défense du port et de l'anse de Morgat : <https://crozon-collectif.monsite-orange.fr/>

Boullay R., 2009. *Méthode de recensement et de suivi des ouvrages et des structures naturelles de protection du littoral contre les risques côtiers*. Rapport de fin de stage : master 2 d'expertise et gestion de l'environnement littoral, Université de Bretagne occidentale. 164 p.

Cerema, 2011. *Préconisation pour le recensement des ouvrages et structures de défense contre les aléas côtiers*, notice méthodologique. 60 p.

Grunnet N., Chevalier C., 2006. *Étude hydrosédimentaire des plages de Morgat*. IX^{èmes} Journées Nationales Génie Civil. Génie Côtiers, 12 – 14 septembre 2006. Brest. Pp : 221-230. DOI: 10.5150/jngcg.2006.023-G

Ouest-France. *Travaux de sécurisation à la plage du Portzic*. Article publié le 06/06/2013. <https://www.ouest-france.fr/bretagne/chateaulin-29150/travaux-de-securisation-la-plage-du-portzic-794660>



Mur de soutènement | Plougonvelin

Fiche 5

Ouvrages de stabilisation des falaises

Port de Tréboul | Douarnenez



Lieux d'implantation possibles

Côtes d'accumulation



Falaises meubles



Falaises rocheuses



Côtes anthropisées



Description

Les falaises sont des formes littorales complexes (roches constitutives, pentes, exposition, hauteur...) soumises à l'érosion. Les falaises peuvent être instables en raison de l'intervention de divers facteurs : les processus marins en pied de falaise (vagues et courants) et les processus subaériens sur le sommet et le versant de la falaise (précipitations, infiltration, météorisation...). L'intensité de l'érosion des côtes à falaise dépend

en premier lieu de la nature du substrat : nature des roches et/ou des formations meubles de versant.

Les techniques de stabilisation des falaises tentent d'accompagner leur évolution régressive naturelle.

Des techniques de stabilisation de parois (cf. figure 84) sont régulièrement utilisées en zone de montagnes mais restent peu employées sur le littoral, bien que certaines puissent être transposées

à tout type de versant abrupt. Différents ouvrages de stabilisation de falaises sont possibles : les ancrages et boulonnages, les géogrilles renforcées ou encore les filets plaqués sur le versant en érosion. Des études géotechniques préalables sont nécessaires pour définir la technique adaptée au site érodé. La fissuration des falaises conditionne notamment la possibilité ou non de mise en œuvre.

Objectifs

- Stabiliser les blocs instables de versants rocheux.
- Éviter la propagation des blocs.



Figure 84 : à gauche : sécurisation en béton projeté sur la falaise de la plage du Liouquet à La Ciotat (13) (d'après BRGM, 2014) ; à droite : protection en filets grillagé contre la chute de blocs en sommet de falaise de granite très altéré à Plougonvelin (2022).

Techniques et conditions d'implantation

Différents types de dispositifs :

- **ancrage et boulonnage** (cf. figure 85) : la fixation d'une paroi instable peut être réalisée par l'implantation de barres métalliques, généralement en acier, qui traversent l'épaisseur de roche instable en surface pour s'ancrer dans la roche saine en profondeur. Le boulonnage de la tête d'ancrage met la roche en compression pour une meilleure stabilisation du compartiment rocheux. Cette méthode est surtout utilisée pour la protection d'enjeux situés en contrebas de la falaise. L'ancrage est peu cher par unité ou par mètre linéaire ce qui en fait une solution assez rentable sur le long terme. Cette méthode est adaptée pour des stabilisations ponctuelles et pour des volumes assez limités ;



Figure 85 : ancrage dans un mur à Douarnenez.

- **géogrille renforcée** (cf. figure 86) : une grille, parfois en polymère, est plaquée sur la paroi soumise aux effondrements et aux éboulements superficiels afin de contenir les éléments instables. La géogrille est fixée par des ancres courts, moins profonds que la technique précédente. Le but des géogrilles est de contrôler la trajectoire des blocs qui se détachent du versant et de maintenir le substrat. La géogrille favorise, dans des conditions d'exposition particulières, la végétalisation du versant rocheux sur le long terme mais doit être entretenue régulièrement ;



Figure 86 : géogrille renforcée en sommet de falaise à Plougonvelin.

- **filet plaqué** (cf. figure 87) : il s'agit de filet ou de grillage, métallique ou en PVC, plaqué contre la paroi. Ils sont destinés à éviter la chute de blocs en les piégeant lorsqu'ils se détachent. Ils sont plaqués sur la paroi à l'aide de câbles et d'ancrages repartis autour de la zone instable. Un placage efficace permet de retenir les blocs en place ou d'enrayer rapidement le mouvement après la rupture. Cette technique à un coût relativement faible et sa mise en œuvre est rapide. La maintenance consiste à purger régulièrement les éléments détachés. La durée de vie est de plusieurs décennies. Cette technique s'applique aux instabilités rocheuses de volume assez restreint.



Figure 87 : filet plaqué installé sur la falaise morte au port de Brest.

Effets des dispositifs l'ouvrage

Intérêts

- Pour les ancrages / Boulonnage : durabilité de la technique qui stabilise le front de falaise à moyen et long termes.
- Sécurisation des piétons, des ouvrages et autres enjeux situés au pied de la falaise instable.

Limites

- Mise en place difficile techniquement.
- Risque d'empirer la situation en fracturant davantage la roche.
- Perturbation du ruissellement interne de la falaise.
- Destruction de la faune et de la flore sur le versant.
- Besoin d'inspection régulières des ouvrages.
- Oxydation plus ou moins rapide des dispositifs selon l'exposition.

Coûts

Type de stabilisation	Construction	Entretien
<i>Ancrage et boulonnage</i>	<i>Pas de données.</i>	<i>Pas de données.</i>
<i>Géogrille renforcée</i>	<i>Pas de données.</i>	<i>Pas de données.</i>
<i>Filet plaqué</i>	<i>Pour un grillage métallique ancré au terrain à l'aide de pieux en acier : 8,16 €/m². Pour la fourniture et la pose d'un filet en acier zingué : entre 39 et 44,56 €/m².</i>	<i>Purge des éléments instables : 1,43 €/m².</i>
<i>Utilisation conjointe de filets, boulonnages et ancrages de la falaise</i>	<i>150 000 € pour environ 1 km de falaises (falaise du port de Brest). Soit en moyenne : 150 €/ml.</i>	<i>Pas de données.</i>

Figure 88 : coûts indiqués pour diverses opérations utilisant des dispositifs de stabilisation des falaises.

Stabilisation des falaises

Site de Saint-Quay-Portrieux (22)



Figure 89 : localisation du site de Saint-Quay-Portrieux (22).

Localisation et description du site

Saint-Quay-Portrieux (22) est une station balnéaire densément urbanisée de l'ouest de la Baie de Saint-Brieuc (cf. figure 89). Le long du littoral, les pointes et les falaises rocheuses alternent avec des falaises meubles entrecoupées de plages de sable et de criques. Au sommet des falaises, sillonne le sentier littoral GR34 et en arrière, les terrains sont très urbanisés (résidences privées, bâtiments de commerces et de loisirs...).

Historique des modes de gestion du site

Le trait de côte de la commune est globalement peu mobile mais, localement, les falaises meubles sont sensibles aux fortes précipitations, au ruissellement des eaux continentales et aux actions de la mer en pied de falaise. Comme c'est souvent le cas sur les secteurs de falaises meubles, particulièrement lorsque les versants dans lesquels elles sont taillées sont urbanisés, l'érosion est alors brutale. Bien que très localisé, le départ des matériaux peut alors concerner des volumes importants et déterminer un recul rapide du sommet des falaises qui met en danger les enjeux localisés immédiatement en arrière.

- **En mars 2016** : un recul important du trait de côte a eu lieu sur une portion de la falaise d'environ 25 m d'altitude, située au droit de l'hôtel Ker Moor, en face de l'île de la Comtesse. Le recul du sommet de la falaise a été évalué entre 6 et 10 m. Sur un linéaire de 25 m, il a concerné les 7,5 m du sommet du versant (cf. figure 90). Le phénomène a été attribué à l'action des eaux de ruissellement et à la surcharge en eau du versant due à la présence de canalisations d'assainissement non étanches.



Figure 90 : éboulement de la falaise au droit de l'hôtel Ker Moor en mars 2016 (BRGM, 2016).



Sous le grillage, des nattes en coco tressé accueilleront la végétation tandis qu'au second plan, la passerelle invite déjà à la pause pour admirer le large et l'île de la Comtesse.



Après la purge des premiers secteurs instables et l'installation de nouvelles canalisations d'eaux pluviales, des pieux de 5 à 7 mètres chacun ont été cloués dans la partie haute de la paroi pour la consolider. Au total 350 mètres linéaires de forages ont été réalisés.



Les ouvriers spécialisés fixent le grillage métallique sur les pieux. Un grillage qui remonte même sous le sentier, pour renforcer encore son ancrage.



Vue du ciel, la portion de côte concernée est impressionnante. Le coût global de l'opération s'élève à 210 000€ HT.



Construction de la passerelle, d'une largeur de 2,50 m, qui assure la continuité du GR 34 et sécurise le cheminement piéton.



En pied de falaise, une pelleteuse équipée d'un bras spécifique achève de déblayer les secteurs potentiellement instables de la zone.

Figure 91 : travaux sur la falaise à Saint-Quay-Portrieux en 2017 après l'éboulement de mars 2016.

(d'après Saint-Quay-Portrieux Magazine, 2017 - crédits photos M. Erwan Barbey-Chariou)

Le sentier côtier, fortement dégradé par l'affaissement de la falaise, a été immédiatement fermé afin de garantir la sécurité des personnes. Bien que le processus ait affecté le sommet de la falaise, un enrochement a quand même été aménagé au pied de la falaise. Les canalisations d'assainissement ont également été refaites.

Les préconisations de gestion issues de l'étude effectuée par la suite ont été mises en œuvre par la commune (cf. figure 91) :

- purge des éléments instables de la falaise ;
- cloutage de tirants de 7 à 10 m de long dans la partie haute de la paroi pour la consolider. Les tirants sont ancrés dans la roche saine située plus en profondeur ;
- installation d'un grillage métallique sur la paroi de la falaise ; le grillage est fixé grâce à plusieurs ancrages dont les têtes ressortent de la paroi ;
- des nattes de coco tressées sont placées sous le grillage pour favoriser la végétation qui améliorera l'aspect visuel de la falaise et stabilisera la paroi ;
- pose d'une passerelle en bois de 13 m de long et de 2,5 m de large pour remplacer le sentier côtier et sécuriser le cheminement piéton.

Le coût total de toute l'opération s'élève à 210 000 € HT.

- **Décembre 2020** : à la suite de quelques tempêtes hivernales et de fortes précipitations, notamment pendant la tempête Bella du 28 décembre, une forte érosion affecte à nouveau la falaise. Sur 18 m, sous le sentier GR 34 au droit de l'hôtel Ker-Moor, à proximité de la zone précédemment érodée et confortée en 2017, l'érosion se poursuit sur 15 m supplémentaires, sous l'escalier de descente à la plage.

Des travaux sont engagés à partir de l'automne 2021. Le sentier côtier est à nouveau fermé. Cette fois, il est envisagé de stabiliser le versant par un filet grillagé métallique fixé par des ancrages. Le filet sera associé à une géonatte anti-érosion qui permettra de favoriser la végétalisation.

Situation 2022

Le GR34 devait être réhabilité en 2022 entre la plage de la Comtesse et le Sémaphore car ce dernier comporte des zones fragilisées ayant subies des éboulements de falaise qui ont provoqué sa fermeture. Les travaux sont envisagés en deux parties : la première entre le sémaphore et l'escalier sous l'hôtel Ker-Moor ; la seconde, au-dessus de la plage de la Comtesse. Sur certaines portions, le sentier côtier sera reculé de quelques mètres, en empiétant sur les propriétés (en accord avec les riverains). Les travaux devaient démarrer en 2022, pour une durée de 2 ans et un coût global estimé à 600 000 € dont 150 000 € de subventions par France Vue mer-Sentier du Littoral), démarche lancée en mars 2021, dont l'objectif est de développer la continuité du sentier littoral en France.

Bibliographie

Basara N., 2019. *L'érosion des littoraux à falaises meuble en Bretagne : aléas, enjeux et gestion du risque*. Thèse, Géographie. Université de Bretagne occidentale, Brest.

BRGM, 2014. *Actualisation des connaissances et cartographie de l'aléa instabilités de falaises côtières sur le littoral des Bouches-du-Rhône*. Annexe 2 : Fiches descriptives sur secteurs homogènes, 59 fiches. Rapport final, RP- 62643-FR, Mars 2014, 122 p.

Direction de la prévention des risques hydro-géologiques, Assessorat du Territoire, RAVA, 2006. Interreg IIIA – *Projet 179 « RiskYdrogéol » : Risques hydro-géologiques en montagne : parades et surveillance*. Guide pratique. Investigation, instrumentation et parades en matière de risques hydro-géologique : état des connaissances dans l'Arc alpin. 366 p.

France Vue sur Mer : <https://www.mer.gouv.fr/france-vue-sur-mer-mobiliser-les-territoires-pour-valoriser-le-sentier-du-littoral>

La Presse d'Armor, 2017. *A Saint-Quay-Portrieux, le GR34 sécurisé suite à l'éboulement de la falaise*. Article de presse. Lien : A Saint-Quay-Portrieux, le GR34 sécurisé suite à l'éboulement de la falaise | La Presse d'Armor (actu.fr)

Le Roy S., Schroëtter J.-M., 2019. *Bilan des aléas gravitaires au niveau des falaises littorales de la commune de Saint-Quay-Portrieux*. Rapport final. BRGM/RP-69097-FR. 78 p.

Mairie Saint-Quay-Portrieux. *Saint-Quay-Portrieux Magazine*, n°72, juillet 2017. 20 p. https://saintquayportrieux.fr/wp-content/uploads/magazine/MAGAZINE_saint-quay-portrieux_juillet2017_web.pdf

Schroëtter J.-M., 2016. *Glissement de terrain sur le littoral, le 23 mars 2016 à Saint-Quay-Portrieux (22) : avis du BRGM*. Rapport d'expertise. Rapport BRGM/RP-65826-FR. 27 p. <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-65826-FR.pdf>

Fiche 6

Drainage de versants de falaise

Plage du Portzic | Crozon



Lieux d'implantation possibles

Côtes d'accumulation



Falaises meubles



Falaises rocheuses



Côtes anthropisées



Description

Il est possible d'agir contre l'érosion des falaises en modifiant le régime hydraulique des versants par son drainage qui consiste à éliminer les ruissellements et les infiltrations superficielles et/ou à rabattre la nappe phréatique. Ces actions permettent de réduire l'érosion superficielle et en réduisant la teneur en eau dans la falaise (cf. figure 92).

Objectif

- Éviter la déstabilisation des versants en diminuant la charge en eau des formations rocheuses.



Figure 92 : à gauche : système de drainage (barbacanes) dans un mur (Plage de Trez-Hir à Plougonvelin) ; à droite : drains dans un versant de falaise recouvert de béton projeté (Douarnenez).

Méthodes et conditions d'implantation

Différents types d'ouvrages :

- **drainage des eaux superficielles de ruissellement et d'infiltration** (cf. figure 93) : il est possible de mettre en place un système de rigoles drainantes en crête de falaise pour recueillir et évacuer les eaux de ruissellement avant qu'elles ne s'infiltrent. Ce procédé nécessite de créer un réseau de collecte des eaux en sommet de falaise ou sur son versant. Il est également possible de mettre en place un revêtement étanche sur la crête ou de colmater des fissures par lesquelles les eaux de ruissellement s'infiltrent. Certains végétaux spécifiques permettent également de protéger les sols contre l'érosion générée par le ruissellement ;
- **captage profond** (cf. figure 94) : des drains subhorizontaux, en métal ou en plastique, inclinés vers l'extérieur, peuvent être installés dans la falaise afin de faciliter l'écoulement de l'eau infiltrée dans le versant. Leur mise en place se fait par forage et introduction de tubes métalliques perforés recueillant l'eau. Les drains doivent être régulièrement entretenus afin d'éviter leur colmatage progressif. Des drains et des puits verticaux peuvent également être utilisés lorsque la nappe est trop profonde.



Figure 93 – Drainage des eaux continentales par une conduite déployée depuis le sommet de falaise à Trédrez-Loquémeau (22).



Figure 94 : forage de drains subhorizontaux dans une falaise.

Effets de l'ouvrage

Intérêts

- Impact visuel limité.
- Gestion des eaux d'infiltration ou des nappes d'eau dans le corps de la falaise.

Limite

- Nécessité d'un entretien régulier des installations.

Coûts

Type de stabilisation	Construction	Entretien
<i>Drainage des eaux superficielles</i>	<i>Pour un canal d'évacuation (caniveau, rigole) entre 28 et 70 €/m. L'intervention en falaise (personnel spécialisé, nacelle...) : entre 1 000 à 2 000 € par jour.</i>	<i>Pas de données.</i>
<i>Captage profond</i>	<i>Drain subhorizontal constitué d'un tube en PVC entouré d'une couche de protection filtrante : entre 25,43 et 38,16 €/m (pour un tube de diamètre entre 44,90 et 118 mm).</i>	<i>Pas de données.</i>

Figure 95 : exemples de coûts pour des travaux de drainage de falaises.

Bibliographie

Albinet V., 1995. *La gestion défensive des falaises en France : pratiques et carences d'une tradition persistante*. Hommes et Terres du Nord, n° thématique « Les milieux littoraux », pp.65-72. https://www.persee.fr/doc/htn_0018-439x_1995_num_1_1_2492

Anonyme, 2012. *Le confortement des falaises de Biarritz*. Géologues, n°156, Spécial Grand-Ouest 2, pp. 73-77.

Cerema, 1998. *Recommandations pour la conception et la réalisation des aménagements de défense du littoral contre l'action de la mer*. 541 p.

Direction de la prévention des risques hydro-géologiques, Assessorat du Territoire RAVA, 2006. Guide pratique. *Investigation, instrumentation et parades en matière de risques hydro-géologique : état des connaissances dans l'Arc alpin*. 366 p. <http://risknat.org/projets/riskydrogeo/riskydrogeo.html>

Pinot J.-P., 1998. *La gestion du littoral*. Institut Océanographique, Paris, 2 tomes, 759 p.

Fiche 7

Reprofilage de falaise

Côte des Basques | Biarritz



Lieux d'implantation possibles

Côtes d'accumulation



Falaises meubles



Falaises rocheuses



Côtes anthropisées



Description

Cette technique (cf. figures 96 et 97) est plutôt adaptée aux falaises meubles en arrière desquelles existent de forts enjeux. Elle peut être utilisée aussi sur des falaises rocheuses. Le but est d'améliorer la stabilité générale d'un versant en lui donnant une géométrie s'approchant du profil d'équilibre : l'abrupt est supprimé au profit d'une pente plus douce. En ce sens, sa mise en œuvre peut nécessiter de disposer d'un espace suffisant en haut de versant pour amoindrir la pente depuis sa base. Plusieurs techniques de reprofilage sont envisageables :

- le transfert du matériel sédimentaire du haut de la falaise vers le bas de la falaise pour réduire la verticalité de la base du versant ; la protection de ces matériaux transférés sera généralement indispensable ;
- la création de risbermes formant des terrasses à divers niveaux qui adoucissent la pente générale de la falaise, si le haut de falaise dispose d'espace libre.

Lorsqu'il est nécessaire d'évacuer les matériaux instables du versant, ceux-ci peuvent, s'ils sont de taille suffisante

(blocs), être utilisés pour protéger le pied de la falaise contre l'action de la mer. Pouvant être appliquée sur des falaises de hauteurs faible à importante, cette technique (cf. figures 96, 97 et 98) présente un fort impact écologique et paysager. Cette technique peut ne pas être applicable sur certains sites en fonction du degré d'instabilité du massif, des problèmes d'accessibilité ou encore de l'épaisseur de la formation géologique à purger.

Objectifs

- Purger les blocs ou les zones instables d'un versant.
- Redonner un profil d'équilibre à un versant.



Figure 96 : reprofilage de falaise sur la côte des Basques de Biarritz (64).
 (d'après l'Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, 2020)

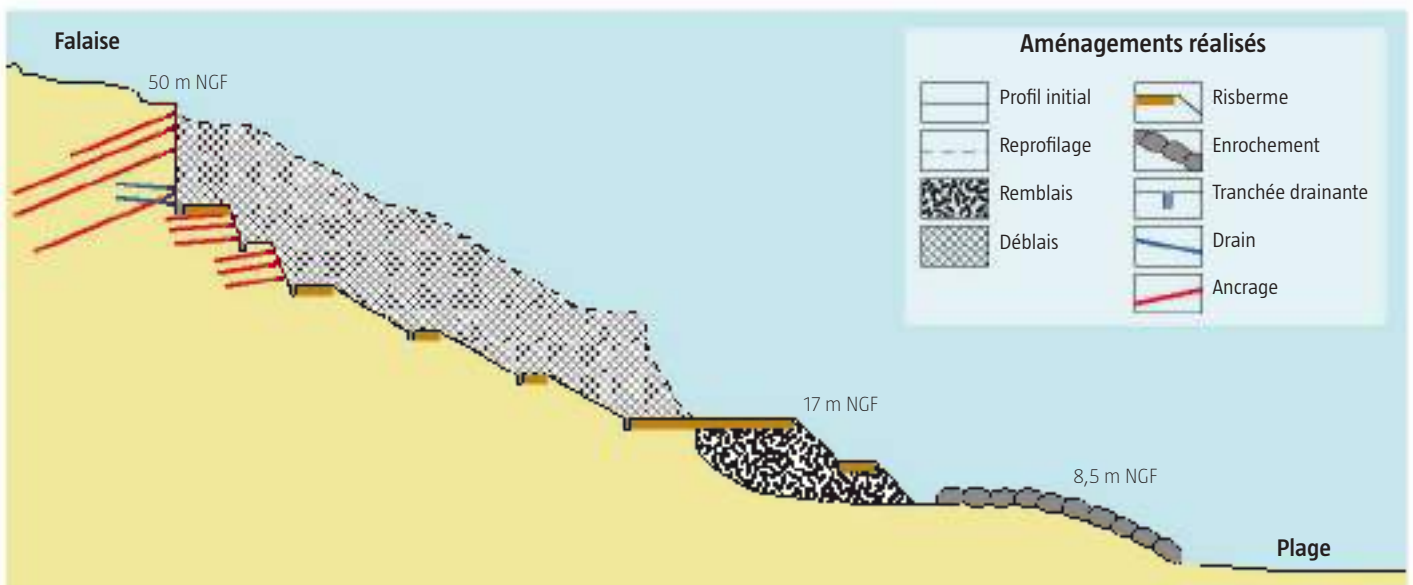


Figure 97 : confortement de la falaise à Biarritz : exemple de reprofilage par terrassements avec création de risbermes dans le nouveau profil et aménagements complémentaires.
 (d'après Antéa Group)

Méthodes et conditions d'implantation

Le choix de la technique de reprofilage dépend de plusieurs paramètres étudiés au préalable :

- la lithologie et les caractéristiques de la (des) roche (s) et des formations superficielles ;
- la teneur en eau des matériaux des falaises meubles (la pente d'équilibre de la falaise peut être plus abrupte quand la teneur en eau de la falaise est plus faible) ;
- l'espace disponible en haut et en pied de falaise pour le transfert du matériel sédimentaire.

Le reprofilage de falaise n'est jamais envisagé comme solution unique. Il est accompagné de techniques complémentaires :

- le drainage de la nappe et des eaux de pluie pour limiter les infiltrations ;
- la végétalisation du versant pour stabiliser la couche superficielle de la falaise par l'ancrage des racines des végétaux.

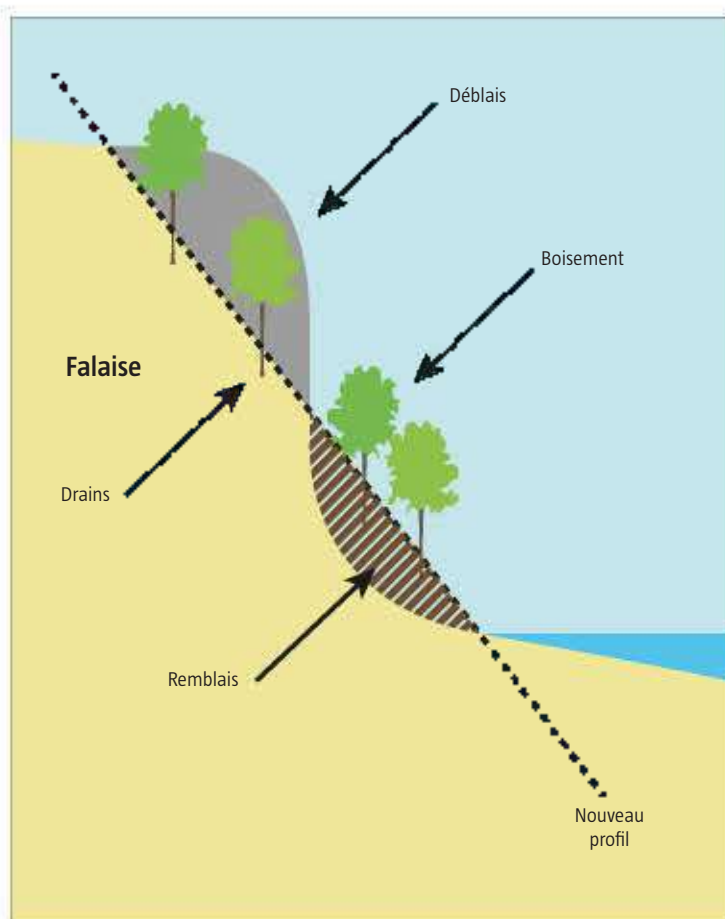


Figure 98 : exemple de reprofilage de falaise par déblais du haut de la falaise et remblais du bas de la falaise.

(d'après Bastone, et al., 2013)

Effets de l'ouvrage

Coûts

Intérêts

- La falaise a un profil d'équilibre plus stable.
- Ralentissement de l'érosion, et des processus de glissements et d'éboulement de la falaise.

Limites

- Fort impact paysager.
- Atteinte à la biodiversité lors des travaux.
- Nécessité de disposer de terrains libres en arrière du sommet de la falaise ou au pied de celle-ci.

Type de reprofilage	Construction
Avec terrassements	17 M€ pour 600 ml (sont inclus dans ce coût tous les aménagements complémentaires effectués).

Figure 99 : exemple de coût d'opération de reprofilage.

Reprofilage et opérations de drainage de la falaise

Site de la côte des Basques à Biarritz (64)

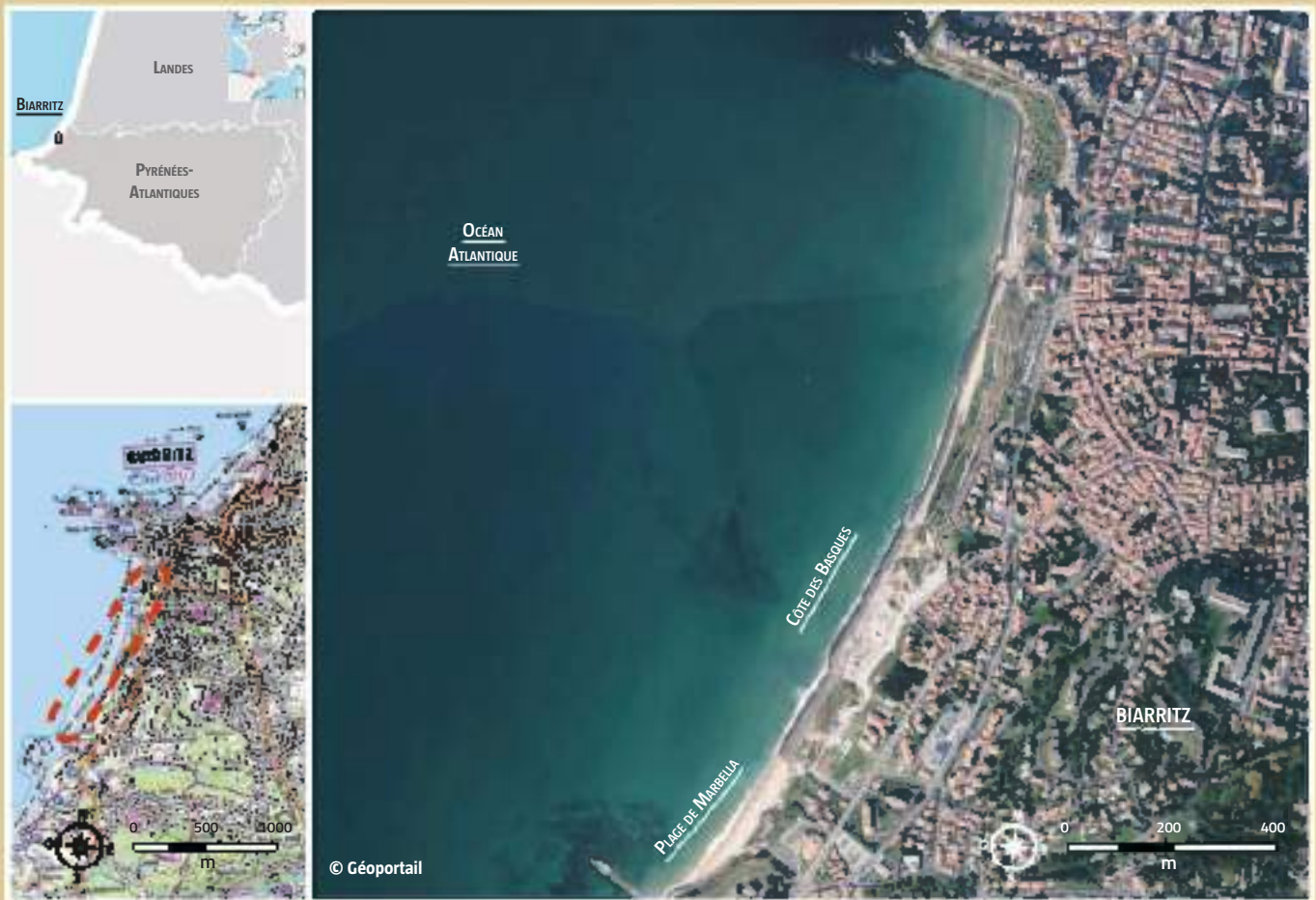


Figure 100 : localisation du site de la Côte des Basques à Biarritz (64).

Localisation et description du site

A Biarritz (64), sur 1, 2 km, la côte des Basques est constituée de falaises hautes de 40 à 50 m vers le nord et d'environ 30 m au sud, vers la plage de Marbella (cf. figure 100). Ces falaises meubles sont formées de marnes de l'Eocène surmontées par une dizaine de mètres d'alluvions. Les falaises sont, depuis longtemps, confrontées à des instabilités d'ampleur variable. L'eau continentale est un facteur d'érosion essentiel, d'une part, par son action chimique sur la roche qui provoque sa dégradation et modifie progressivement les propriétés cohésives des matériaux et, d'autre part, par l'action mécanique du ruissellement qui peut engendrer des épisodes érosifs rapides et brutaux.

Historique des modes de gestion du site

Au début des années 1980, de forts risques de chute de blocs menacent les usagers de la plage, les voies publiques, les réseaux et les bâtiments localisés en sommet de falaise. Le confortement des falaises devient un impératif. Les facteurs d'instabilité de la falaise sont divers : l'écoulement de la nappe phréatique et des eaux de surface, des fractures et des failles importantes qui engendrent des glissements de terrain, et l'érosion marine au pied de la falaise. La ville de Biarritz a, dès lors, entrepris des travaux de confortement et de reprofilage de la falaise afin de stopper durablement le processus d'érosion et sauvegarder les enjeux menacés.

Une étude globale de confortement hiérarchise les travaux. Sept tranches vont permettre de traiter les secteurs prioritaires et d'étaler le coût des opérations entre 1983 et 2008, pour un montant de près de 20 millions d'euros. Selon les secteurs, les terrassements, drainages, soutènements et protections du pied de falaise sont programmés (cf. figures 101 et 102) :

- **digue de pied** : cet ouvrage doit s'opposer à l'érosion du pied de la falaise par la mer. Elle est constituée d'un noyau de marne protégé par des enrochements ;
- **ouvrages de drainage** : des puits à drains de 4 m de diamètre traversent les 10 m d'alluvions pour s'ancrer de 1 à 2 m dans les marnes sous-jacentes. Chaque ouvrage comporte plusieurs lignes de drains subhorizontaux de 5 à 8 m de long et une série de barbacanes (densité : 1 / m²) ;
- **terrassement de la falaise** : la pente formée d'alluvions du haut de la falaise est terrassée sur une hauteur de 3 m. Les marnes sont également terrassées sur toute la falaise. Pour assurer la stabilité, des ouvrages de soutènement sont intercalés entre les terrassements ;
- **ouvrages de soutènement** : les alluvions sont soutenues par un mur en béton armé qui est ancré par des tirants. Le reste de la falaise, essentiellement formé dans les marnes, est soutenu par des murs cloutés. Ils sont constitués d'un parement en béton projeté. L'ancrage de ces murs correspond à 3 lignes de clous de 6 à 9 m de long espacés de 1,10 à 2,30 m. Des drains horizontaux et des barbacanes sont également mis en place pour éviter les surpressions hydrostatiques.

La structure est ensuite aménagée et arborée. Les cheminements de promenade sont aménagés sur les terrassements et les falaises sont végétalisées.



*Figure 101 : reprofilage d'une partie de la falaise de la côte des Basques à Biarritz (64).
(d'après Antea, 2006)*

Situation 2022

Le projet s'inscrit dans le programme général, esquissé dès 1984, de confortement des falaises de Biarritz, essentiellement sur la côte des Basques, dans un souci de lutte contre l'érosion marine et le recul du trait de côte. Il se poursuit encore aujourd'hui avec le confortement de 600 m de falaises supplémentaires d'ici 2025. Le coût du projet est de l'ordre de plus de 14 millions d'euros. En 2022, les travaux ont été cependant stoppés dans l'attente de l'arrivée des financements programmés.



*Figure 102 : reprofilage de la falaise en 2020.
(d'après Gilbert Guiguand, 2020)*

Bibliographie

Antea Group, non daté. *Exemple de travaux de lutte contre l'érosion côtière. Travaux de confortement de la côte des Basques à Biarritz (64)*. https://www.solscope.fr/medias/12%202%20CARPENTIER_Antea_CoteDesBasques_Erosion%20cotiere.pdf

Société géologique de France : <https://www.geosoc.fr/liens-docman/articles-documents-en-telechargement/amenagement-1/geotechnique/194-le-confortement-des-falaises-de-biarritz/file.html>

Association des Amis de la Côte des Basques : <https://www.amis-cote-des-basques.fr/>

Bastone V., De la Torre Y., Troadec R., Fontanel J.-L., Hardouin E., Lombard K., Latreille C., 2013. *Guide de gestion de l'érosion du littoral de La Réunion*. 32 p. <http://www.risquesnaturels.re/pdf/BRGM%20guide%2032p.pdf>

Cerema, 1998. *Recommandations pour la conception et la réalisation des aménagements de défense du littoral contre l'action de la mer*. 541 p.

Mallet C., Garnier C., Marçot N., 2013. *Gestion de l'érosion des côtes à falaises rocheuse*. Géosciences, BRGM, pp. 18-25. Hal-01062219

Mission régionale d'autorité environnementale, Région Nouvelle-Aquitaine (2018). *Avis délibéré de la Mission régionale d'autorité environnementale de la région Nouvelle-Aquitaine sur le projet de travaux de confortement des falaises de la côte des Basques sur la commune de Biarritz (Pyrénées Atlantiques)*. 7 p.



Falaises | Saint-Marc-sur-Mer (44)

Fiche 8

Confortement dunaire

Plage du Teven | Île-Tudy



Lieux d'implantation possibles

Côtes d'accumulation



Falaises meubles



Falaises rocheuses



Côtes anthropisées



Description

Le confortement dunaire permet de reconstituer une forme naturelle et le stock sableux d'une dune bordière ou d'un cordon dunaire. L'opération consiste à reconstituer un profil qui permet à la dune de rejouer, d'une part, son rôle d'amortissement de l'énergie des houles et des vagues, et, d'autre part, de zone de stockage des sédiments sous les effets de la déflation éolienne en période d'engraissement de la plage et de déstockage en période de démaigrissement (cf. figure 103). Le profil au vent est remodelé avec une pente

qui ne fait plus obstacle à la déflation, ce qui permet à la végétation de s'y développer naturellement (ou après revégétalisation) et aux sables vannés de s'y accumuler. Le confortement consiste conjointement à augmenter le stock sableux, en sommet de dune et sur le versant sous le vent, par des apports externes ou des prélèvements locaux opérés dans la plage ou l'avant-plage. Ces apports accroissent le stock sableux susceptible d'être emporté par le recul de la ligne de rivage lors d'épisodes érosifs. Le confortement contribue ainsi

à retarder l'érosion trop importante de la dune (qui menacerait alors des enjeux) lors d'événements météo-marins érosifs. Ce type d'opération est utilisé à la fois en solution d'urgence, pour récupérer le profil d'équilibre du cordon dunaire après une tempête, ou, pour une gestion à moyen terme, en effectuant des apports d'entretien réguliers. Cette technique est souvent combinée avec des plantations ou une couverture de branchages pour limiter la déflation éolienne.

Objectif

- Reconstituer la dune ou le cordon dunaire pour renforcer les stocks sableux mobilisables et lui rendre sa fonctionnalité initiale.



Figure 103 : confortement de la dune de Léhan à Treffiagat.

Mode d'implantation

Plusieurs procédés sont possibles en fonction des situations :

- dans le cas où l'érosion marine attaque le front du cordon dunaire, entaillant celui-ci en abrupt sableux sans remettre en cause la stabilité de la dune : le confortement concernera alors le haut de plage et le pied de dune. Il est assimilable à un rechargement de plage mais une attention particulière doit être néanmoins portée au reprofilage réalisé qui doit permettre à la déflation éolienne de jouer un rôle bénéfique au rechargement naturel de la dune. Le sable peut provenir du bas de plage où il a pu migré progressivement ou après une tempête, ou être rapporté depuis le secteur où il s'est déposé du fait transit sédimentaire longitudinal ;
- dans les cas où l'érosion marine est très forte et contribue à diminuer le rôle de protection de la dune ou du cordon : la reconstitution de la forme du cordon ou de la dune, voire son renforcement par élargissement de sa base et élévation de son sommet, sera réalisé par des apports massifs de sable en haut de plage, en sommet de dune mais également en arrière de la dune ;
- NB : dans certains cas, le confortement dunaire peut être réalisé en rebroussant intégralement le sable dunaire puis par la constitution d'un noyau de remblai dur (rocheux et argileux) à son emplacement initial. Sur ce noyau sont ensuite régalés les sables rebroussés. L'opération s'apparente à une reconstitution complète de cordon ou de dune. Elle a pu être réalisée dans certains cordons parce que des opérations de déroctage de bassins portuaires étaient effectuées à proximité de dunes largement érodées par de fortes tempêtes hivernales.

Effets de la technique

Intérêts

- Renforcer la dune naturelle pour protéger les espaces arrière-littoraux d'une submersion marine et/ou du recul du trait de côte.
- Redonner un profil d'équilibre au versant au vent du cordon dunaire et ré-initier les processus naturels de fonctionnement dunaire par engraissement/érosion.
- Faible impact paysager : préservation de la dune et retour progressif à une forme naturelle du littoral.

Limites

- Cette solution n'est pas pérenne et nécessite des entretiens réguliers.
- De nombreuses perturbations dues au trafic des engins de génie civil le temps des travaux (camions, pelle mécanique, tombereaux...) dans un milieu naturel sensible.

Coûts

9 € HT/m³ ou 250 € HT/ml (le coût varie en fonction de la localisation des gisements de sable disponibles et des quantités nécessaires).

Confortement d'un cordon littoral protégeant un polder

Site de la plage du Treustel à Combrit (29)

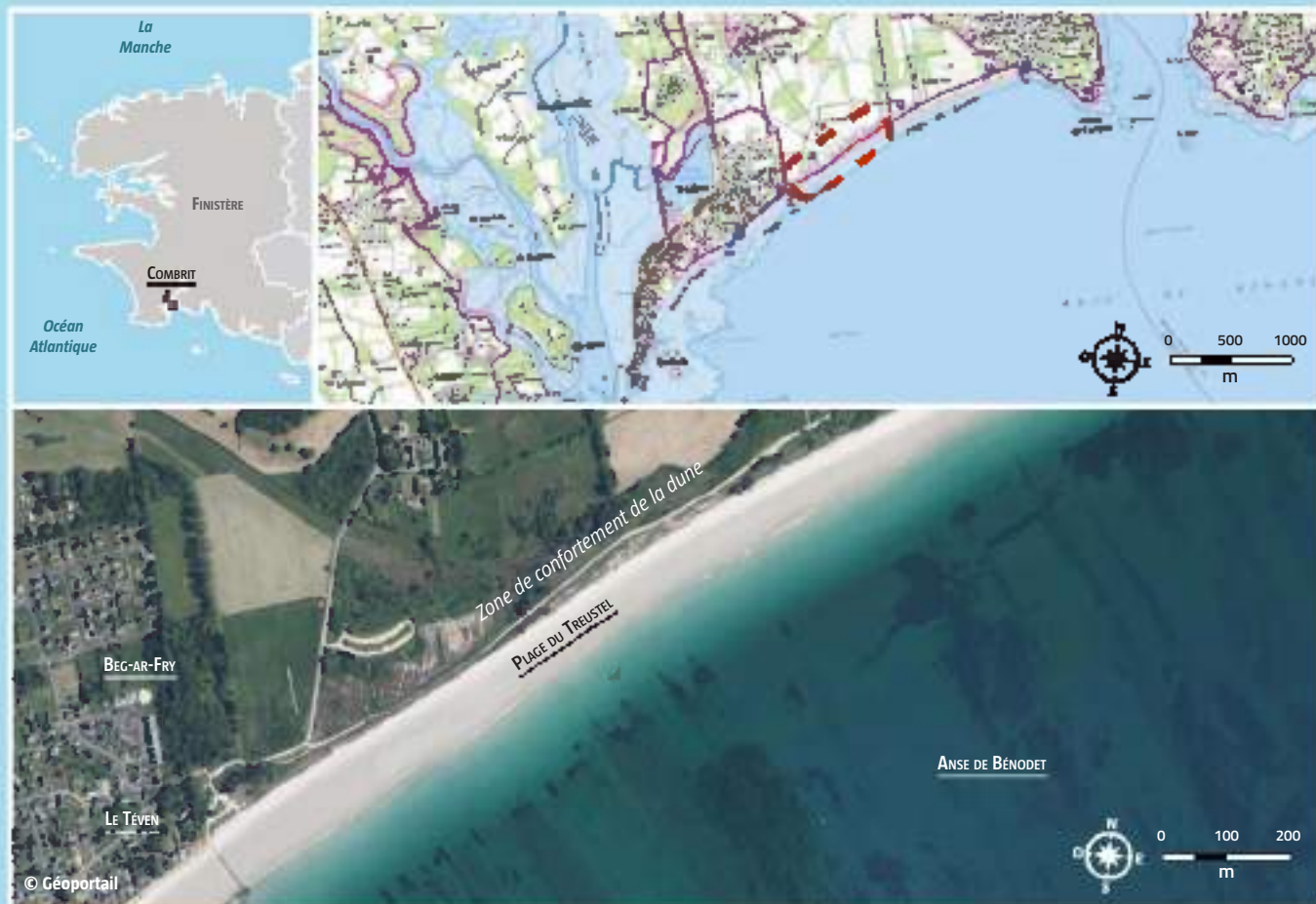


Figure 104 : localisation de la plage du Treustel à Combrit.

Localisation et description du site

Avec la digue de Kermor localisée dans la rivière de Pont-l'Abbé, le cordon dunaire de Combrit, entre la pointe de Sainte-Marine et le Treustel, dans le sud du Finistère, protège de la submersion le polder de Combrit-Île-Tudy et les 400 habitations qui y ont été construites (cf. figure 104). Le cordon occupe une position d'abri relatif car, localisé à l'est de la pointe de Langoz à Loctudy, dans l'anse de Bénodet, il est en retrait de la ligne générale du rivage du sud du Pays bigouden. Son orientation vers le sud-est le préserve quelque peu des houles de secteur ouest considérées comme dominantes localement. Néanmoins, depuis la poldérisation de l'ancienne lagune de Kermor au milieu du XIX^{ème} siècle, il est soumis à une érosion littorale soutenue qui ne cesse de le fragiliser. En 2004, 2008 et 2010, du fait de sa faible altitude et de son rétrécissement progressif, notamment au sud-ouest, au niveau du Treustel, des vagues ont pu dépasser sa crête en plusieurs points, des surverses ont également été constatées entre le Treustel et Kermor, et une brèche s'est ouverte au droit de la route d'accès.

Historique des modes de gestion du site

- **Depuis la poldérisation du XIX^{ème} siècle**, le cordon est entretenu et, dès lors qu'une brèche est susceptible de se produire ou que l'érosion est forte, des matériaux de remblai (tout-venant, déblais de chantier, terre végétale parfois) sont déversés sur le sommet, dans les brèches ou en arrière du cordon pour empêcher la submersion du polder. De très nombreuses tentatives de fixation du rivage ont été conjointement réalisées ponctuellement sur le linéaire de plage et du cordon (armature de boudins de géotextile ensablés dans la plage au Treustel, au milieu des années 1980 ; brise-vents en ganivelles sur la dune de Sainte-Marine et à Kermor dans les années 1990, enrochements de la dune du Téven à la fin des années 1990 puis construction de l'épi à l'est des enrochements du Téven) sans jamais toutefois annuler le risque de submersion par l'érosion du cordon.

- Depuis plusieurs décennies désormais, les communes de Combrit et de l'Île-Tudy procèdent à des rechargements limités du cordon par des apports de petits volumes de sable prélevés notamment sur la Grand-Plage de l'Île-Tudy, soit en prévision, soit à la suite des dommages occasionnés par les tempêtes hivernales.
- **Au début des années 2000**, l'opération de confortement du cordon dunaire du Treustel est inscrite dans le programme d'actions du schéma global de défense côtière du polder de Combrit. Ce dernier prévoit une protection combinée, utilisant en première défense naturelle contre la mer le cordon littoral renforcé, et en garantie arrière, une digue destinée à protéger le polder en cas d'ouverture de brèches dans le cordon. Ce scénario implique la poursuite des rechargements du cordon dunaire afin qu'il continue d'assurer la protection contre la submersion marine des zones basses et qu'il conserve un aspect naturel. Le projet est concrétisé à partir du début des années 2010 (cf. figure 105).

Figure 105 : le projet de défense côtière retenu en 2011.



- **En 2015** : une opération de confortement dunaire d'urgence est effectuée entre le Treustel et Kermor. 4 500 m³ sont prélevés dans une zone d'accrétion sédimentaire à l'est de la plage (plage de Penmorvan) à l'aide de pelleteuse et bulldozer. Ces sédiments sont amenés sur un tronçon de dune de 150 m au niveau du Treustel, en partie sur son sommet et le reste sur le versant côté mer. Des oyats seront ensuite plantés pour fixer le sable.
- **En 2016** : opération de confortement dunaire, en urgence, sur 230 m avec plus de 5 000 m³ de sable déplacés.
- **En 2017** : opération de confortement dunaire en urgence sur 300 m avec environ 6 000 m³ de sable déplacé. L'enlèvement d'un blockhaus et l'abatage de conifères présents sur la dune seront nécessaires car ils la fragilisent. Des ganivelles seront ensuite disposées pour délimiter le cordon dunaire et éviter les passages des piétons à travers celui-ci.
- **En 2019** : une opération de confortement dunaire d'urgence s'est déroulée le 14 et 15 novembre 2019 (cf. figure 106). Ces travaux d'urgence sont mis en œuvre après le fort recul du cordon dunaire constaté au droit du parking du Teven sur un linéaire de 50 m. Les sédiments sont prélevés sur une zone en accrétion de la Grand-Plage de l'Île-Tudy et transférés jusqu'à la zone en érosion pour conforter le cordon dunaire. La majeure partie des volumes de sédiment sera déposée à l'arrière du cordon pour l'élargir et le rehausser.

Les opérations de confortement dunaire sont souvent suivies de plantations d'oyats sur le replat sommital de la dune.



Figure 106 : travaux de confortement dunaire au Treustel en 2019.

Situation 2022

Les opérations de confortement dunaire continuent d'être la principale action mise en place dans le secteur pour limiter l'érosion du cordon dunaire. Le prochain PAPI, en 2023, devrait concrétiser une solution de protection combinée du polder de Combrit avec la création d'un digue retro-littorale et des rechargements dunaires réguliers.

Confortement d'un cordon dunaire

Site de la plage de Squividan à Treffiagat (29)



Figure 107 : localisation des plages de Pors-Treillen, Lehan, Squividan, Le Reun et Kersaux entre Treffiagat et Lesconil.

Localisation et description du site

Entre Léchiagat et Plobannalec-Lesconil, sur la plateforme rocheuse du Cap Caval, dans le sud du Pays bigouden, le littoral est bas (cf. figure 107). Localement, il est situé sous le niveau des plus hautes mers, notamment au niveau de l'aval des cours d'eau côtiers et des marais arrière-littoraux qu'un cordon littoral sableux a progressivement isolés de la mer au cours des derniers siècles. Le cordon, fréquemment dunifié à son sommet, est long de 4 km (cf. figure 108). Il s'est édifié sous l'effet de la dérive littorale d'ouest générée par les houles dominantes de secteur sud-ouest, et sous l'effet de la déflation éolienne également orientée d'ouest en est. Plusieurs pointes rocheuses intermédiaires constituent des points d'ancrage pour le cordon. D'ouest en est, elles délimitent aussi les plages de Pors-Treillen, Lehan, Squividan, Le Reun et Kersaux.

Les plages et le cordon sont soumis à l'érosion lors d'événements tempétueux. Le trait de côte recule et, à plusieurs reprises, des brèches se sont ouvertes, engendrant parfois des submersions marines. Ce fut le cas en 1969. D'autres ont suivi en 1978, 1979, 1984 et 1989, entre autres qui ont été associées à un fort recul du trait de côte.

Cette dynamique du cordon est naturelle, le cordon s'adaptant ainsi historiquement aux conditions météo-marines et à l'élévation progressive du niveau marin en roulant sur lui-même vers l'intérieur du continent. Cependant le processus a été largement accéléré par les activités humaines. En effet, des extractions légales et illégales de sable opérées massivement, dès le début du XX^{ème} siècle, sur la plage, dans le front et sur le revers du cordon ont engendré une importante réduction du volume de l'accumulation littorale qui n'est désormais plus compensée par des apports sédimentaires suffisants depuis l'ouest. A Lehan, au Reun et à Kersaux, la largeur du cordon est particulièrement réduite par les carrières exploitées dans le revers de la dune, notamment après la Seconde Guerre mondiale et jusqu'aux années 1970 environ. Cependant, au cours

de cette même période des dernières décennies, l'urbanisation s'est développée sur les terrains submersibles proches des marais ou immédiatement en arrière du cordon littoral (cf. figure 109). Les risques d'érosion et de submersion marine sont donc amplifiés, à la fois par l'exposition d'enjeux de plus en plus nombreux et par une sensibilité artificiellement accrue du cordon aux dynamiques littorales.

Historique des modes de gestion du site

La tempête du 16 au 17 décembre 1989 a ouvert deux brèches au Reun et à Kersauz, respectivement sur 50 m et de 200 m de long. Ce sont les secteurs les plus entaillés par les carrières sur le revers du cordon qui ont cédé les premiers (Bodéré et al., 1994). Elles ont engendré l'inondation de douze hectares de terres et trois habitations situées dans la zone basse (cf. figure 108).

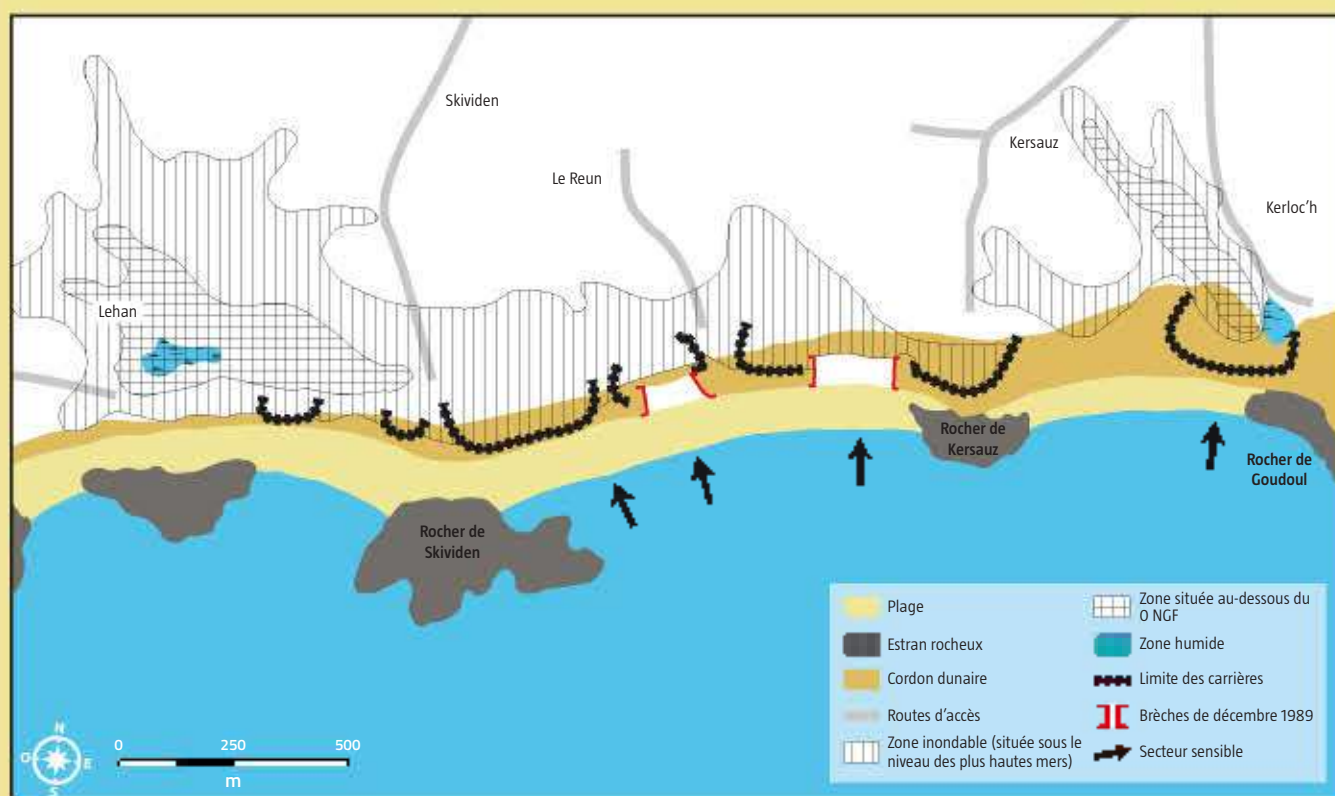


Figure 108 : situation des brèches produites par la tempête de décembre 1989 à Léchiagat et Plobanalec-Lesconil.
(d'après Bodéré et al., 1994)

Face à cette situation d'urgence, il a été nécessaire de ramener le sable étalé en arrière de la dune et de reformer le cordon pour colmater sommairement les brèches. Ce cordon nouvellement reconstitué est resté néanmoins très vulnérable car il disposait d'une crête de 5 m de large.

Une opportunité a été offerte aux gestionnaires. Les produits de dragage et de déroctage des ports de pêche du Guilvinec et de Lesconil, en cours d'aménagement à cette époque, encombraient les terre-pleins. Ces matériaux destinés à être déversés en mer devenaient, par ailleurs, une source de conflit entre les autorités portuaires et les marins-pêcheurs.

Il est donc décidé d'utiliser ces matériaux constitués d'arènes granitiques, de granulométrie équivalente aux sables du site, pour réhabiliter et conforter le cordon dans les secteurs du Reun, de Kersaux ainsi qu'à Kerloch-Goudoul. L'opération a consisté, après décapage des sables entassés en urgence dans les brèches, à déposer les matériaux issus du déroctage des ports après les avoir triés. Placé au cœur du cordon dunaire aux emplacements des brèches, et des anciennes carrières, ce noyau central a ensuite été recouvert par le sable originel du cordon (cf. figure 109). Les travaux sont achevés en 1991. Cette opération a été complétée en 1992 par des techniques de canalisation de la fréquentation avec la limitation de la circulation automobile et l'utilisation de ganivelles pour limiter le piétinement et favoriser la colonisation du cordon par la végétation.

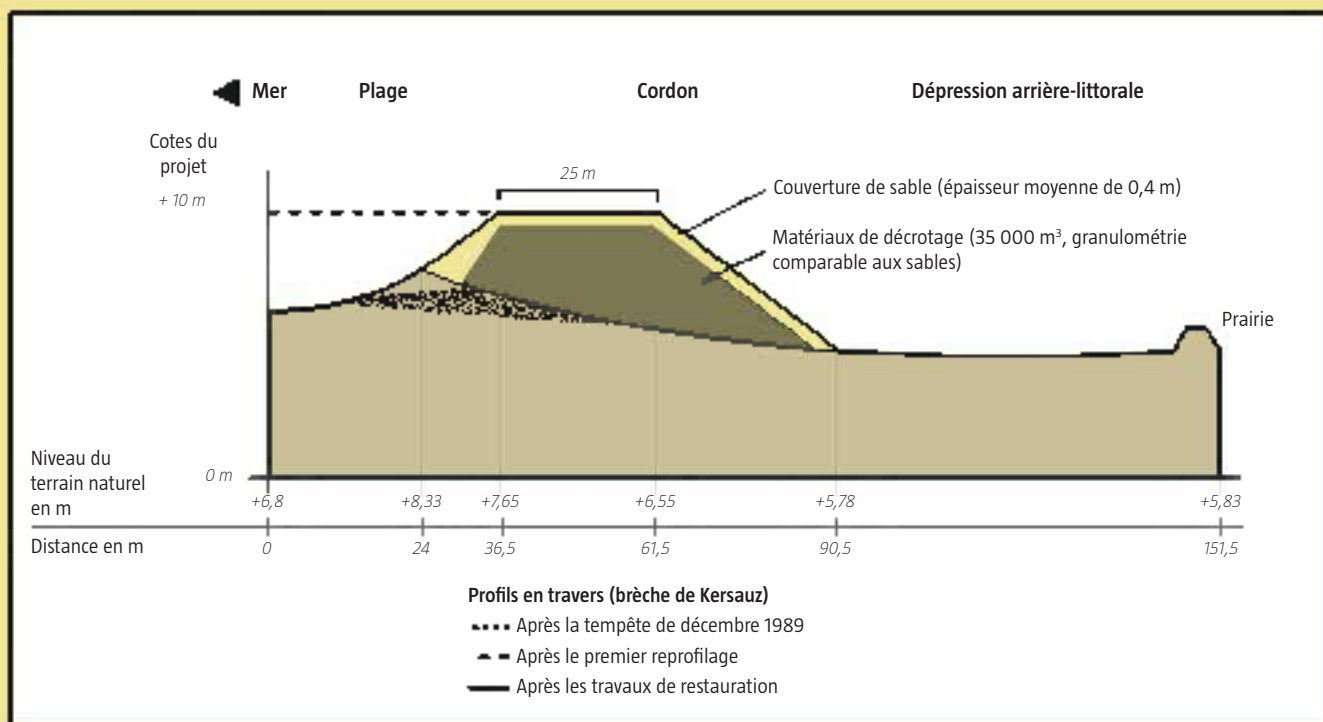


Figure 109 : schéma de l'opération de confortement dunaire de 1990 sur le cordon dunaire de Kersauz.

Situation 2022

Aujourd'hui, ce cordon littoral reste fragile face aux tempêtes hivernales et fait l'objet de rechargements ponctuels.

Bibliographie

- Bodéré J.-C., Hallégouet B., Meur C., Victor F., Hénaff A., 1994. *A propos d'initiatives empiriques en matière de renforcement des cordons littoraux : l'utilisation des produits de dragage et de déroctage des ports de pêche sud-finistériens*. Cahier Nantais, 41-42, pp. 179-185.
- Bouffort J.M., Ferrand J.P., Le Cornec E., Hénaff A., 2011. *Défense côtière du polder de Combrit. Schéma de confortement à court, moyen et long terme du cordon dunaire*. Rapport d'étude, 45 p.
- Jabbar M., Hénaff A., Deschamps A., 2015. *Dynamiques et évolutions morpho-sédimentaires de l'avant-plage du secteur littoral de Combrit – Ile-Tudy entre le XIX^{ème} et le XXI^{ème} siècle*. Géomorphologie, 21, 1, pp. 45-56.
- Communauté de communes Pays Bigouden Sud. *Confortement dunaire du Treustel, travaux de confortement d'urgence. Cordon dunaire du Treustel Travaux de confortement d'urgence*
- Garnier G., 1993. *Réhabilitation d'un cordon dunaire dégradé*. Actes du colloque « Le Pays Bigouden à la croisée des chemins », 19-21 novembre 1992, Pont L'abbé, Revue Cap Caval, p. 307-312.
- Egis, 2015. *Plan de Prévention des Risques Naturels Littoraux, département du Finistère. PPRN-L 1 : Penmarc'h, Le Guilvinec, Treffiagat, Plobannalec-Lesconil, Loctudy, Pont-L'Abbé, Ile-Tudy et Combrit. Phase 1 : analyse préalable du site*. 419 p. http://webissimo.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/PPRL1-1-Rapport_phase1_HISTORIQUE_Vdef_cle58dc74.pdf

Confortement dunaire par utilisation des stocks accumulés en aval de la dérive littorale

Site de la plage de Léhan à Treffiagat (29)



Figure 110 : localisation de la plage, du cordon sableux et du secteur urbanisé de Léhan à Treffiagat.

Localisation et description du site

La plage et le cordon littoral de Léhan, à Treffiagat, dans le sud du Finistère (cf. figure 110), constituent une partie de l'accumulation littorale qui s'étend de Léchiagat à la pointe de Kersauz. A Léhan, l'accumulation protège une quinzaine d'habitations des risques de submersion. Au droit des habitations, le cordon littoral est étroit (moins d'une vingtaine de mètres localement) puis il s'élargit progressivement vers l'est en direction des pointes de Skividan et de Kersauz.

Le littoral est exposé aux houles de secteurs sud à sud-ouest qui engendrent une dérive littorale principale orientée d'ouest en est, parfois compensée, temporairement, par des transits inverses résultant de mers de vent du sud-est. La dérive littorale principale explique en partie l'élargissement du cordon vers l'est mais indique aussi une insuffisance d'entrée de sédiments dans le système littoral à l'ouest. Les vents forts d'ouest à sud-ouest entraînent, par déflation éolienne, un abaissement de la dune dans les zones où elle n'est pas couverte par la végétation. La forte fréquentation touristique et le piétinement provoquent une dégradation de la végétation dunaire et augmentent ainsi la déflation éolienne. Mais ce n'est là qu'une cause mineure et, sans doute, assez récente des problèmes d'érosion de ce secteur de côte.

Les extractions de sable pratiquées avant et après la Seconde Guerre mondiale sur la plage et sur le revers du cordon ont participé bien plus largement au déficit du bilan sédimentaire. Elles se traduisent, aujourd'hui, par le recul marqué du trait de côte, l'amaigrissement de la plage et du cordon ainsi que le rétrécissement de sa largeur et de son altitude en de nombreux points. Cette activité a été intensifiée dans les années 1950 avec l'urbanisation croissante du littoral du sud du Pays Bigouden. En effet, le sable quartzueux des dunes de Treffiagat est un matériau de très bonne qualité pour la construction. En 1956, l'extraction de sédiments sur le littoral de Treffiagat a été interdite, mais le cordon était déjà très affaibli.

Cette situation n'a cependant pas empêché la construction d'habitations dans la zone arrière-littorale, dans les années 1960 et 1970 notamment. Par la suite, des brèches se sont créées, à plusieurs reprises, au niveau des anciennes carrières, lors des tempêtes de 1978 et 1989, rendant le recul du trait de côte problématique vis-à-vis des enjeux exposés.

Pour remédier à cette situation, un enrochement a été installé, au début des années 1990 sur une partie de la dune au droit de l'étang de Léhan. Mais l'effet de bout de l'enrochement a accentué progressivement l'érosion du cordon à l'est, devant les habitations. Les tempêtes de l'hiver 2013-2014 ont provoqué une érosion importante du rivage. Devant les habitations, le recul maximum, au cours de l'hiver, a été de l'ordre de 20 m, érosion indubitablement accentuée par la présence de l'enrochement à l'ouest de la plage, en amont-dérive.

Historique de la gestion du site

A Treffiagat, l'érosion du littoral au cours du XX^{ème} et depuis le début du XXI^{ème} siècles a toujours été gérée par l'implantation d'ouvrages. Les premiers sont construits à la pointe de Léchiagat. Ils s'étendent progressivement en direction de Léhan, c'est-à-dire dans le sens de la dérive littorale (et de l'urbanisation arrière-littorale). L'échelonnement de ces ouvrages dans le temps montre qu'ils constituent systématiquement la seule réponse apportée aux phénomènes météo-marins érosifs. Les problèmes d'érosion ont donc été progressivement déportés de l'ouest vers l'est, traduisant à la fois le bilan sédimentaire déficitaire de ce secteur littoral et les impacts successifs des ouvrages de fixation du trait de côte sur les secteurs de côte localisés immédiatement en aval-dérive, qui nécessitent alors d'être protégés.

- **Après des violentes tempêtes de 1935 à 1938**, des murs de 1 m de haut sont édifiés sur 600 m de long. Ils représentent alors la seule protection de l'agglomération de Léchiagat. Ces ouvrages sont fortement endommagés lors de tempêtes en 1945.
- **A partir de 1946**, un mur de protection est à nouveau construit et est, par la suite, prolongé par étape d'ouest en est.
- **En 1953-1954**, les protections sont prolongées par un mur de 200 m de long.
- **En 1956-1957**, des ouvrages en gabions sont posés pour protéger les murs et la dune.
- **En 1973-1974**, prolongement, sur 500 m, du mur en gabions jusqu'au lieu-dit Léhan.
- Au cours de tempêtes de 1978-1979, la mer franchit la dune, inondant la route communale.
- **En 1978**, le reprofilage de la dune et des plantations aux endroits vulnérables, sont réalisés par la commune. Ces travaux sont anéantis lors des tempêtes suivantes.
- **Après la tempête du 15-16 décembre 1989**, le cordon dunaire est renforcé entre Léhan et Lesconil. Les brèches sont colmatées et la dune est reprofilée. La pose de ganivelles, d'enrochements et de divers autres aménagements (gabions, confortement de la dune) est réalisée de 1990 à 1992 puis de 1995 et 1996.
- **A la suite des tempêtes de 2009**, « l'effet de bout » des derniers enrochements mis en place à l'ouest de la plage de Léhan s'est beaucoup accentué. La commune a alors décidé d'entreprendre des travaux d'urgence pour prévenir le risque d'inondation du quartier de Léhan. Un ouvrage longitudinal en tube de géotextile rempli de sable est posé en pied de cordon sur 70 m de long au niveau de la partie la plus érodée de la dune. Il est associé à une nappe anti-affouillement posée en pied d'ouvrage et une nappe supérieure végétalisable. Le dispositif destiné à limiter l'érosion du cordon est dégradé et déchiré est parti en morceaux lors des tempêtes de début d'année 2014.
- **En 2015**, après les dégâts causés par les tempêtes de l'hiver 2013-2014 sur le cordon, des travaux d'urgence sont menés. Un rechargement de près de 20 000 m³ de sédiments est réalisé par camions (l'équivalent de 1500 camions) ; il se compose de 15 000 m³ de remblais pour reprofiler et renforcer la dune et d'environ 3 000 m³ de sable de couverture. Cependant, les tempêtes de l'hiver 2015-2016 emportent une partie du rechargement. En parallèle, la commune a engagé une étude de protection du littoral de Treffiagat dans le but de définir une solution de gestion pérenne. Cette étude a préconisé une solution combinée constituée d'un confortement dunaire et de la construction d'une digue rétro-littorale. Cette solution n'a toutefois pas été mise en œuvre.
- **En 2016**, l'érosion se poursuivant à un rythme inquiétant, la commune décide d'installer des pieux hydrauliques sur la partie haute de la plage, à l'extrémité de l'enrochement afin de casser la houle avant qu'elle n'atteigne la dune et ainsi favoriser le dépôt des sédiments. Pour accompagner ces ouvrages, un rechargement sédimentaire de 3 000 m³ est également réalisé sur la plage de Léhan dans le but de créer un tampon sédimentaire pour limiter l'impact des assauts de la mer sur la dune.
- **En fin d'année 2020**, face au constat de la poursuite d'une érosion importante de la dune, la pose d'enrochements au pied de la dune est réalisée en urgence avant l'hiver.

Situation 2022

De nombreux rechargements sédimentaires de la plage ou de la dune ont été effectués à plusieurs reprises de 1989 à 2020 pour remédier à la forte érosion du cordon et de la plage, qui menace directement le quartier situé en arrière. Les sédiments étaient prélevés sur les secteurs d'accumulation à l'est de la cellule hydrosédimentaire, sur les plages du Reun et de Kerzaux. Les travaux d'urgence ont été efficaces à court terme (quelques années) voire à très court terme (un hiver) car ils ont permis à chaque fois de renforcer l'accumulation mais ils n'ont jamais été suffisants ni pérennes à moyen terme du fait du bilan sédimentaire déficitaire chronique de ce secteur de côte.

Les photos suivantes (cf. figure 111) montrent l'état de la plage, devant la dune de Léhan, et des ouvrages en novembre 2021.



Figure 111 : la plage de Léhan à Treffiagat vue vers l'ouest en novembre 2021.

La communauté de communes du Pays Bigouden Sud, dans le cadre du PAPI Littoral Sud Finistère, a souhaité compléter l'étude lancée en 2016 pour rechercher une solution de gestion pérenne du site.

Fiche 9

Rechargement sédimentaire

Plage du Squividan | Treffiagat



Lieux d'implantation possibles

Côtes d'accumulation



Falaises meubles



Falaises rocheuses



Côtes anthropisées



Description

Le rechargement sédimentaire (cf. figure 112) consiste à rétablir (ou accroître) artificiellement le volume initial d'une accumulation littorale (une plage en général) en érosion et, par conséquent, l'altitude générale de l'accumulation par des apports de sédiments de caractéristiques au moins équivalentes (granulométrie, notamment) prélevés dans une zone source (carrière, lit de fleuve, en mer, sur l'avant-plage, sur la plage ou une autre plage). L'opération consiste donc à rééquilibrer le bilan sédimentaire déficitaire de l'accumulation (cf. guide méthodologie : p. 40 du volet 1 et p. 118 du volet 2) afin de compenser l'érosion de la plage. Ces rechargements sont généralement

prescrits lorsque la plage (et/ou le cordon dunaire) connaît une érosion continue sur une longue période ; ils devront alors être renouvelés périodiquement. Ils peuvent aussi être préconisés ponctuellement, à la suite d'une érosion importante de la plage résultant d'un événement météo-marin violent. Certaines opérations peuvent n'avoir pour objectif que d'augmenter la valeur récréative d'une plage en augmentant sa surface. Toutefois, un rechargement permet de protéger le trait de côte et les zones basses arrière-littorales, en amortissant les houles, notamment celles associées aux tempêtes. La présence, à proximité, d'une source de sédiments compatibles

avec la zone à recharger est un critère important car plus la source de sédiment est éloignée de la zone à recharger, plus les coûts augmentent.

Le by-pass est un dérivé du rechargement sédimentaire car il permet le transfert longitudinal de sédiment d'une côte dont le transport sédimentaire est bloqué par un obstacle naturel (cap rocheux, débouché d'un cours d'eau...) ou anthropique (épi, cale...) vers le secteur déficitaire en aval-dérive. Ce procédé permet de compenser la coupure du transit associée à la dérive littorale (Prat et Clus-Aubry, 2006).

Objectifs

- **Compenser le déficit sédimentaire d'une plage en apportant des sédiments.**
- **Protéger le trait de côte de l'érosion en augmentant la largeur et l'altitude de la plage.**
- **Améliorer l'attractivité de la plage, et donc sa fréquentation, en augmentant la surface de plage sèche à basse mer en haut d'estran.**



Figure 112 : opération de rechargement de plage : refoulement des sédiments prélevés en mer par la drague et régamage sur la plage par pelles mécaniques.

Méthodes et conditions d'implantation

- **Matériaux.** Le sédiment de rechargement dépend du sable d'origine du site. Un calibre de préférence légèrement plus grossier que le sédiment d'origine est nécessaire. Un sédiment semblable ou plus fin sera exporté de la plage par dispersion sous l'action des vagues et des courants (ou du vent, pour les sables). De façon très secondaire, pour l'esthétisme de la plage, la couleur des sédiments prélevés doit, de préférence, être la même que les sédiments d'origine. Les matériaux peuvent être d'origine terrestre (fluviales, carrières alluvionnaires et de granulats) ou marine (cas le plus répandu). Dans le cas de prélèvements de sédiments marins, ils peuvent être :
 - allochtones : ils ne proviennent pas de la cellule hydrosédimentaire du site à recharger. Le gisement externe doit alors être suffisamment important pour répondre aux besoins (en volume et en granulométrie) du site à recharger ;
 - autochtones : ils proviennent de la même cellule hydrosédimentaire que le site à recharger. Ainsi, au sein d'une cellule sédimentaire, la dérive littorale engendre une accumulation de sédiments en aval de la dérive et constitue un stock sédimentaire exploitable pour un rechargement. Un stock d'avant-plage issu de transits cross-shore prédominants vers le large peut aussi être exploité dans ce but.
- **Volume de matériau et fréquence des rechargements.** Un premier rechargement initial (souvent massif et qui vise à donner un profil d'équilibre au cordon dunaire, à la plage et/ou à l'avant-plage) est suivi par des rechargements d'entretiens, de moindres volumes, car le sable ou les galets se dispersent au fil du temps. La fréquence des rechargements d'entretien dépend de la dynamique du site et de la vitesse d'érosion de la plage. Le volume des sédiments à recharger dépend de la morphologie du dépôt de sable (longueur, surface, hauteur) à effectuer sur la zone rechargée. La morphologie du dépôt doit permettre à la plage d'absorber efficacement l'énergie des vagues et, dans le cas d'une plage de sable, offrir une aire de déflation en haut estran permettant d'alimenter la dune en sable.
- **Zones de dépôt des sédiments et techniques de rechargement.** Selon les effets souhaités, le rechargement peut se faire à différents endroits sur la côte mais il convient de disposer de conditions météo-marines adaptées lors de l'opération (généralement, hors période d'agitation excessive de la mer). Une fenêtre de durée minimale de 15 jours est généralement recherchée pour un bon tassage des sédiments déposés en cas de rechargement par camions (tassage naturel en plus de l'intervention des engins) afin d'éviter la remobilisation trop rapide du rechargement par la mer.
- **Le rechargement direct de la plage émergée** reste la pratique la plus couramment utilisée et permet d'accroître immédiatement la surface et l'altitude de la plage. Le rechargement est réalisé soit par camions soit à l'aide d'une pompe et de conduits qui refoulent les sédiments sur la plage depuis le stock-source. Une pelle mécanique répartit et étale les sédiments sur la plage en fonction d'un profil altimétrique prédéfini. Il peut être choisi de laisser les vagues disperser les sédiments naturellement le long de la plage selon son profil naturel d'équilibre. Des rechargements d'avant-plage peuvent être mis en œuvre sur des plages à fort déficit sédimentaire et à profil pentu. Lors des marées montantes qui suivent le rechargement, l'action mécanique des vagues va remonter les sédiments sur la plage selon une pente naturelle et créera des bancs de sédiments dans les petits fonds.

Un rechargement sédimentaire peut se faire par voie terrestre ou nautique :

- moyen terrestre : des camions permettent d'acheminer le sable ou les galets par la route jusqu'au site de rechargement ;
- moyen nautique : le plus souvent utilisé car généralement les sédiments de rechargement proviennent de gisements au large. Les deux principaux types d'engins sont la drague stationnaire (utilisée pour les petits chantiers) et la drague aspiratrice en marche déployée pour les opérations de rechargement massifs. Les sédiments prélevés sont ensuite refoulés sur la plage puis des engins terrestres assurent la répartition du sable à terre (cf. figure 113).

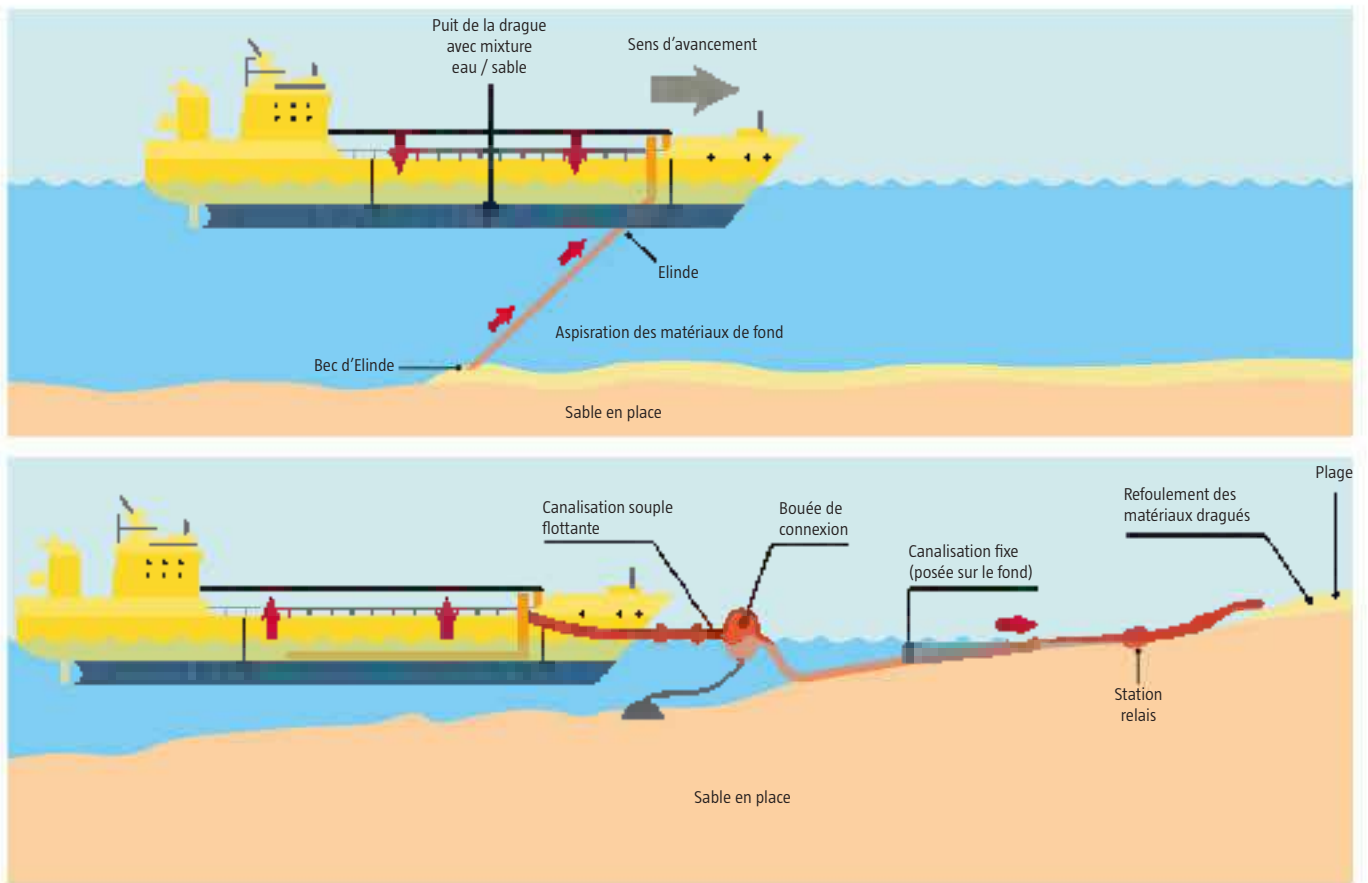


Figure 113 : opérations de dragage (1) et de refoulement (2) par une drague aspiratrice en marche.
(d'après Ifremer, in Artelia, 2013)

- Le by-pass peut être réalisé :
 - de manière mécanique à terre : le transfert de sédiment est réalisé par camions et permet de déplacer le sable du site source en amont de l'ouvrage (à l'origine de la perturbation de la dérive littorale) vers la zone en aval de l'ouvrage ; Cette technique est généralement réservée aux opérations de faible ampleur (volume inférieur à 20 000 m³) ;
 - de manière mécanique en mer : le transfert de sédiment se fait alors par l'intermédiaire d'une drague, depuis un bateau ;
 - de manière hydraulique : le transit sédimentaire est rétabli de manière artificielle à l'aide de buses et de pompes en passant sous ou à travers l'ouvrage.

Les techniques de by-pass mécaniques (à terre ou en mer) sont efficaces à court terme mais doivent être réitérées régulièrement. En revanche, le by-pass hydraulique rétablit artificiellement la dérive littorale de manière permanente mais constitue une technique plus onéreuse (installation, fonctionnement et entretien).

Intérêts

- Pas de fixation du trait de côte.
- Dégradation paysagère limitée au premiers mois suivant le rechargement (maintien de l'aspect naturel de la plage).
- Élévation de l'altitude de la plage : les vagues atteignent moins fréquemment la ligne de rivage antérieure et une surface de déflation en haut d'estran peut être créée (selon le dimensionnement du rechargement) qui permet l'alimentation de la dune.
- La côte et les espaces arrière-littoraux sont mieux protégés des aléas côtiers.
- Extension de la plage : impacts paysager et touristique positifs.

Limites

- Disponibilité en sédiments compatibles (granulométrie) avec ceux de la zone à recharger.
- Impacts sur l'environnement des extractions de sédiments en mer (augmentation de la turbidité de l'eau néfaste pour les herbiers).
- Dépendance vis-à-vis des conditions météo-marines et marégraphiques.
- Pérennité parfois faible de l'opération (cas d'un événement tempétueux qui peut déplacer la totalité du volume rechargé).
- Nécessité de pratiquer des rechargements d'entretien réguliers (cas des sites en déficit chronique).
- Impact sur la faune et la flore de la plage ou de l'avant-plage à court terme ; celles-ci pourront recoloniser la plage progressivement par la suite. A long terme, cet impact peut persister si la taille et la nature du sédiment apporté sont différents du sédiment originel.

Coûts

Les estimations de coûts sont issues de divers projets de rechargement sédimentaire. Le coût de l'opération (cf. figure 114) varie en fonction de différents paramètres tels que la distance entre le site source et la plage à recharger, par exemple.

Type de rechargement	Construction
<i>Estimation moyenne</i>	<i>2 000 €/ml (rechargement massif).</i>
<i>Apport par voie terrestre et remodelage in-situ</i>	<i>Entre 6,4 et 18 €/m³ pour des sources situées entre 20 et 30 km du site à recharger. Fonction de la quantité et du type de sédiments (sables, galets) à transporter.</i>
<i>Apport par drague aspiratrice stationnaire</i>	<i>De 11 à 20 €/m³ pour des sites d'extraction localisés entre 0,2 et 7,7 km du site à recharger et des rechargements de 5 000 à 80 000 m³.</i>
<i>Apport par drague aspiratrice en marche</i>	<i>De 1,8 et 10 €/m³ pour des sites localisés entre 0,3 et 10 km du site à recharger et des volumes compris entre 100 000 et 1M m³.</i>
<i>By-pass hydraulique (un seul exemple : Capbreton)</i>	<i>Pour un volume de 100 000 m³/an : 3 231 €/ml. Investissement : 4 200 000 €. Fonctionnement 2,8 €/m³.</i>

Figure 114 : exemples de coûts des opérations de rechargement sédimentaire.

Rechargement par utilisation d'un stock d'avant-plage au sein de la cellule hydrosédimentaire

Plage de Saint-Anne-du-Portzic à Brest (29)



Figure 115 : Localisation de la plage de Sainte-Anne-du-Portzic à Brest.

Localisation et description du site

Historiquement, la plage de Sainte-Anne-du-Portzic située entre les communes de Brest et de Plouzané (cf. figure 115) est la seule plage naturellement sableuse de la rade de Brest. Elle est très fréquentée depuis le début du XX^{ème} siècle. A cette époque, le trait de côte est constitué d'un cordon de galets traversé par ruisseau qui débouche sur la plage. Avant les aménagements récents de l'anse, les houles d'ouest déferlaient perpendiculairement au trait de côte, induisant des rides de sable parallèles au trait de côte et des mouvements sédimentaires entre les parties hautes et basses de l'estran.

Historique de la gestion du site

Le développement du tourisme balnéaire, au début du XX^{ème} siècle, entraîne la construction de plusieurs hôtels et restaurants en front de mer. Ils sont protégés par des perrés maçonnés. Une route est construite au sommet du cordon de galets après la Seconde Guerre mondiale.

- **A partir de 1963**, le perré vertical actuel remplace entièrement le trait de côte naturel. Ces aménagements n'ont alors aucune conséquence sur la plage, sa surface sableuse reste inchangée voire même légèrement augmentée dans un premier temps.
- **En 1970**, l'exutoire du ruisseau est busé jusqu'au niveau de mi-marée sur la plage.
- **En 1968**, IFREMER implante une jetée de 350 m de long à l'extrémité occidentale de la plage, dans le but d'accueillir les navires océanographiques. Jamais utilisé à ces fins, cet ouvrage a cependant totalement bouleversé l'hydrodynamisme du site. En effet, les houles incidentes sont diffractées et déferlent désormais de manière oblique à la côte créant ainsi sur la plage une dérive littorale du nord-est vers le sud-ouest.

Ces modifications hydrodynamiques ont engendré des changements dans la sédimentologie du site. En effet, la plage auparavant entièrement sableuse est désormais majoritairement rocheuse ou couverte de cailloux et blocs anguleux exhumés après le départ du sable. Le sable n'est présent qu'en haut d'estran, au sud-ouest et sous le niveau des basses mer moyennes (cf. figures 116 et 117). L'attractivité et donc la fréquentation du site ont largement diminué.

Les conséquences combinées des ouvrages (perrés, exutoire et jetée) ont entraîné le départ du sable en bas d'estran et dans la zone subtidale proche. Pour y remédier, divers modes de gestion ont été tentés :

- **à la fin des années 1990** : deux épis transversaux en gros blocs (renforcés en 2004) sont implantés pour ralentir la dérive littorale et piéger des sédiments. Ces ouvrages ont été sans effet car le stock sédimentaire a déjà presque totalement disparu de la plage ;
- **en 2007** : la buse est allongée de 35 m pour que les eaux du ruisseau n'entraînent plus les sédiments vers le large au terme de la dérive littorale ;
- **en 2008** : une étude de faisabilité d'un rechargement sédimentaire est initiée. Elle vise à définir le volume nécessaire au rechargement, la disponibilité locale du sable et sa compatibilité granulométrique. Cette étude est complétée par une modélisation qui permet de déterminer la zone préférentielle de dépôt des sédiments (Fichaut, Suanez, 2008). Suite à l'étude, un volume de rechargement de 1 300 à 1 350 m³ est défini. Les sédiments seront prélevés dans le banc de sable situé sous le niveau des basses mers de mortes eaux (par la remontée des sédiments de la zone subtidale vers le haut de plage) et complétés par des apports allochtones (sables des Loire).



Figure 116 : localisation des stocks sableux de la plage de Sainte-Anne-du-Portzic en 1966 et 2018.



Figure 117 : évolution de la plage de Saint-Anne-du-Portzic de 1910 à 2007.

- les 21 et 22 mars 2011, le rechargement sédimentaire a lieu par basse mer de coefficients 114 et 118. A l'aide de pelles mécaniques, tracteurs et camions, les sédiments sont déplacés de la zone subtidale vers l'est de la plage en vue de leur redistribution naturelle vers l'ouest par la dérive littorale (cf. figure 118).

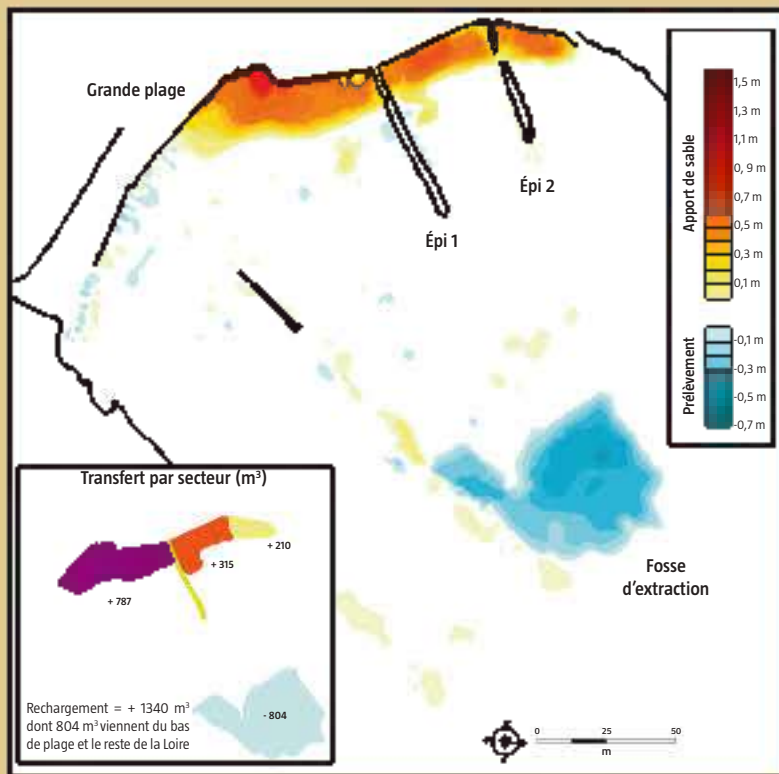


Figure 118 : volumes de sable transférés sur la plage de Saint-Anne-du-Portzic lors du rechargement sédimentaire des 21 et 22 mars 2011. (d'après Fichaut et al., 2011)

Effets de la technique

Le suivi morphosédimentaire de la plage après le rechargement permet de dresser le bilan de l'efficacité de l'opération entre le 23 mars 2011 et le 26 juin 2012 et de définir la périodicité des rechargements d'entretien.

Cette étude a mis en évidence une redistribution spatiale des sédiments en 3 phases (cf. figure 119) :

- 1 | au cours du premier mois suivant le rechargement, 20 % du stock sédimentaire rechargé est déplacé vers le milieu de l'estran ainsi que vers l'ouest, par la dérive littorale, conformément aux attendus de l'étude ;
- 2 | un an après le rechargement sédimentaire, les transferts sédimentaires se poursuivent en direction du milieu de l'estran ainsi que vers l'ouest, sous l'effet de la dérive littorale, sans arriver jusqu'à l'extrémité occidentale de la plage ;
- 3 | d'avril à juin 2012, les sédiments ont tendance à remonter vers le haut de l'estran sur toute la plage. Le stock sédimentaire de la plage semble avoir atteint une position d'équilibre.

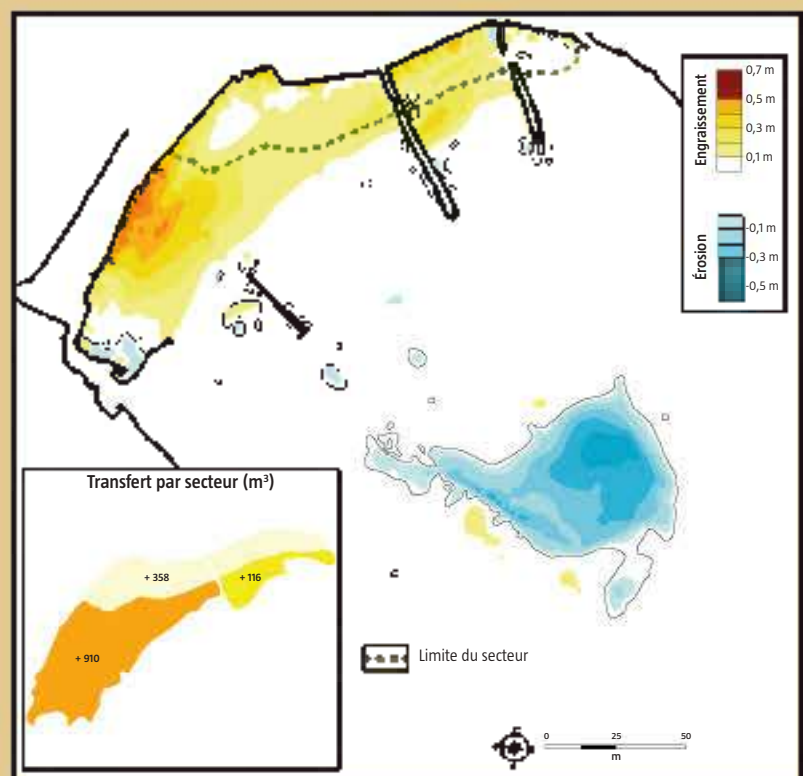


Figure 119 : bilan sédimentaire réalisé 15 mois après le rechargement de mars 2011. (d'après Fichaut et al., 2011)

Ainsi, 15 mois après le rechargement sédimentaire, les sédiments se sont répartis dans les parties haute et médiane de la plage.

Situation 2022

En septembre 2020, une deuxième opération de rechargement sédimentaire a eu lieu. Comme en 2011, le sable a été prélevé en bas de l'estran pour être remonté vers le haut de plage, sur la partie est. Le sable est déposé en tas afin d'être étalé naturellement par la marée et les courants. Cet exemple montre que le rechargement sédimentaire peut constituer une solution de gestion durable mais nécessite d'être reproduite régulièrement. La photo suivante (cf. figure 120) montre l'état de la plage en mars 2022.



Figure 120 : plage de Sainte-Anne-du-Portzic en mars 2022.

Rechargement par apports massifs depuis des stocks allochtones

Site de la plage de Châtelailon-Plage (17)

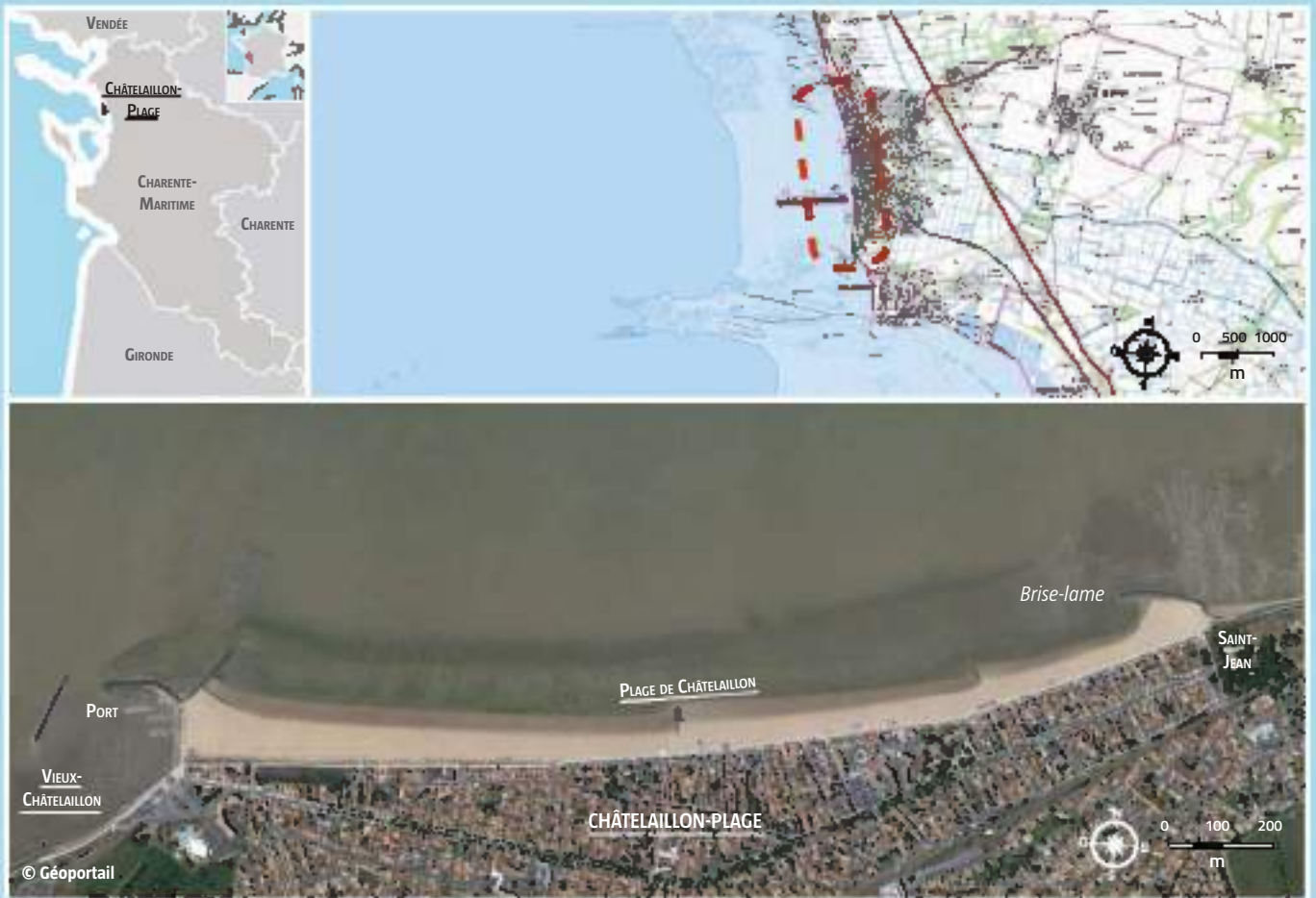


Figure 121 : localisation du site de Châtelailon-Plage en Charente-Maritime.

Localisation et description du site

La plage de Châtelailon est située au sud de La Rochelle, à Châtelailon-Plage (Charente-Maritime) (cf. figure 121). Entre Saint-Jean-des-Sables, au nord, et le Vieux-Châtelailon et la pointe des Boucholeurs, au sud, la plage de sable qui mesure 2,5 km de long est exposée à l'ouest et soumise à une dérive littorale orientée du nord vers le sud. Dans la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle, la station balnéaire a été progressivement édifiée sur le cordon dunaire. Cependant, la côte étant déjà en érosion, il a été rapidement nécessaire de protéger le cordon. Aujourd'hui, le trait de côte est désormais entièrement artificialisé par un perré et un brise-lame complète les défenses à son extrémité nord. Au sud, la jetée de l'Eperon, le brise-lame et les quais du port de plaisance finalisent l'artificialisation de la côte.

Historique des modes de gestion du site

- **1857** : construction de l'épi de l'Eperon au niveau de la pointe de Châtelailon. Il a pour conséquence de retenir les sédiments apportés par la dérive littorale. La partie sud de la plage s'engraisse et s'élargit au nord de l'ouvrage. L'épi est ensuite modifié, allongé et rehaussé avant d'aboutir à sa configuration actuelle de digue du port de plaisance depuis 1995 (cf. figure 122).
- **1888** : un premier perré bétonné de haut de plage avec une paroi lisse du côté mer est construit au nord puis progressivement prolongé vers le sud. Cet ouvrage engendre l'interruption des échanges sédimentaires entre la plage et le cordon dunaire. Sa face fortement inclinée favorise la réflexion des vagues sur l'ouvrage ce qui entraîne un départ volumineux de sédiment de la plage vers l'avant-plage et le large. La plage est alors rétrécie et abaissée.



Figure 122 : au sud de la plage de Châtelailillon, évolution de l'épi de l'Eperon et du littoral entre 1950 et 2018. La flèche jaune souligne l'accumulation sédimentaire créée par la jetée-épi.

- **1947** : une batterie d'épis en palplanches est installée au pied du mur pour tenter de retenir les sédiments qui transitent sous l'effet de la dérive littorale. Cet aménagement ne donne cependant pas les résultats escomptés. Aujourd'hui ces épis n'existent plus.
- **1962** : le perré est régulièrement attaqué par les vagues de tempête qui l'abîment progressivement suite à la fuite des sédiments et du rétrécissement de la largeur de la plage,. Un enrochement est positionné devant le perré pour le protéger des vagues. Les premières protections installées nécessitent donc d'être elles-mêmes protégées contre la mer. Malgré les tentatives pour maintenir les sables de la plage, cette dernière avait quasiment disparu et l'activité de station balnéaire avait fortement décliné (cf. figure 123).



Figure 123 : la plage en 1969 et en 2018 : la faible largeur de la plage et l'absence de plage sèche en 1969 a impacté l'activité de station balnéaire.

- **A la fin des années 1980**, face au constat de l'inefficacité des techniques « dures » utilisées jusque-là, la commune décide de recourir au rechargement sédimentaire de la plage. La première opération s'est déroulée de 1989 à 1991 avec un rechargement volumineux de 330 000 m³ de sédiments, sur une longueur de 1 200 m, prélevés par une drague flottante à 25 km au large et à 25 m de profondeur sur les bancs de sable de Chassiron. Les sédiments, de granulométrie légèrement supérieure à ceux du site, sont ensuite refoulés par une pompe sur l'estran. Le coût de ces travaux est de 3 800 000 € (subventionnés à hauteur de 40 % par le Conseil Général de Charente-Maritime). Après ce premier rechargement massif, des rechargements sont régulièrement effectués afin de maintenir la morphologie de la plage. De plus, la commune effectue, presque annuellement, un transfert des sédiments par camions du sud vers le nord de la plage pour compenser la dérive littorale des sables.
- **En 1998**, un second rechargement de la plage est réalisé : 110 000 m³ de sédiments sont apportés sur une longueur de 600 m. Les sédiments sont prélevés cette fois-ci dans le chenal de la Perrotine, à Boyardville (Île d'Oléron) qui a tendance à s'ensabler. Ces travaux ont un coût de 1 100 000 €. Ils sont subventionnés à hauteur de 40 % par le Conseil Général et la commune de Saint-Georges-d'Oléron a pris en charge le dragage, soit un tiers du montant total des travaux.
Dans un secteur de côte anthropisée, où le tourisme balnéaire constitue une activité économique essentielle, les rechargements sédimentaires volumineux et coûteux ont permis de réengraisser la plage et de compenser le déficit chronique du bilan sédimentaire. En redonnant une largeur suffisante à la plage, l'attractivité de la station touristique a été redynamisée. Le nombre de touristes est passé de 4 000/an en 1984 à 44 000/an en 2000. De plus, l'altitude de certains secteurs de plage a été rehaussé, notamment au sud, empêchant les vagues de franchir le perré et d'inonder la ville lors d'événements tempétueux. Pour autant, il reste nécessaire de compenser régulièrement les pertes de sédiments par des rechargements d'entretien.
- **En 2004**, un autre rechargement de 60 000 m³ a lieu.
- **En 2015**, un rechargement de 80 000 m³ est à nouveau effectué.
- **En mai 2020**, dans le cadre du PAPI, un rechargement sédimentaire supplémentaire est nécessaire : un total de 100 000 m³ sur une période de 3 mois sont apportés à la plage. Il est fait par refoulement des sédiments prélevés au large. Une drague est positionnée en mer, au large de l'île d'Oléron, sur un banc de sable en face de Boyardville. Les sédiments sont rejetés par une conduite sur la plage puis étalés par des engins sur la plage. Quelques mois plus tard, en novembre 2020, la tempête Alex frappe le littoral de Charente-Maritime et emporte le sable de la plage de Châtelailon. La moitié basse de l'estran est amaigri sur une hauteur de 1 m. Près de la moitié du sable apporté quelques mois auparavant a ainsi été reprise à la plage pendant ce seul événement.

Situation 2022

Ces rechargements à répétition ont été initiés pour redynamiser la station balnéaire. Ils ont toujours vocation à maintenir l'attractivité touristique dont dépend l'économie de la commune. Si ces rechargements coûteux visent, en premier lieu, à maintenir cette attractivité, ils garantissent aussi la protection de la ville contre les submersions marines¹. Pour assurer ce niveau de protection, des rechargements réguliers de la plage sont effectués par la commune depuis de nombreuses années. De plus, entre deux rechargements, le sable qui a migré vers le sud de la plage est transféré par camion vers le nord et à nouveau réparti sur la plage et un retroussage hivernal est également réalisé.

¹ La commune a été touchée par les tempêtes Martin en 1999 (forte dégradation de certains ouvrages de protection en bord de mer, surverse quasi généralisée de la protection, submersions importantes sur de nombreuses zones basses de la commune) et Xynthia en 2010 (2 décès).

Bibliographie

- Artelia, 2013. *Opération de protection et de mise en valeur du lido de Frontignan*. Résumé non technique. 43 p. <https://www.herault.gouv.fr/content/download/11197/66862/file/E-1711870R5-RNT-Op>
- Fichaut B., Suanez S., 2008. *Le rechargement de la plage de Sainte Anne du Portzic (Brest-Finistère) : quand la recherche fondamentale se met au service d'une gestion cohérente du littoral*. Norois, pp 29-44. Hal-00342391
- Fichaut B., Suanez S., 2011. *Suivi morpho-sédimentaire de la plage de Sainte-Anne-du-Portzic (communes de Brest et de Plouzané) après le rechargement en sable de mars 2011*. Rapport d'expertise scientifique (UBO/CNRS), 23 p. hal-00724188
- Préfecture du Finistère, 1999. *Plan de prévention des risques naturels majeurs – Inondation par submersion marine – Commune de Tréffiagat*. Rapport de présentation. 157 p.
- Département du Finistère, 2016. Commission permanente, séance du lundi 7 novembre 2016, délibération. *Subventions inondation sur les territoires à risque important d'inondation Quimper littoral sud, de l'Aulne, de l'ouest Cornouaille et du Léon-Trégor*. 8 p.
- Blaise E., 2017. *Étude des dynamiques du trait de côte de la région Bretagne à différentes échelles spatio-temporelles*. Thèse de géographie, Université de Bretagne Occidentale. 302 p. HAL Id : tel-01563652.
- Dugor J., CASAGEC INGENIERIE, 2019. *Analyse d'un système d'endiguement complexe, exemple de Châtelaiillon-Plage*. 3^{ème} colloque sur les digues maritimes et fluviales de protection contre les inondations. 29 p.
- Paskoff R., Prat M-C., 2004. *Le réensablement de la plage de Châtelaiillon*. Atelier des 31 mars et 1er avril 2004, Charente-Maritime. 2 p.
- Prat M.-C., Clus-Auby C., 2006. *Le rétablissement du transit sédimentaire par by-pass hydraulique*. Atelier de Capbreton (6-7 Avril 2006). 2 p. <http://www.euccfrance.fr/images/Pdf/CR%20Atelier%20de%20Capbreton2.pdf>
- Proust W., 2004. *Gestion intégrée des sédiments sur le littoral Charentais*. VIII^{èmes} Journées Nationales Génie Civil – Génie Côtier, Compiègne, 7-9 septembre 2004, 13 p. https://www.paralia.fr/Files/08_89_13p_proust.pdf
- Mairie de Châtelaiillon-Plage. *Fin des travaux de réensablement de la plage*. <https://www.chatelaiillonplage.fr/Les-actualites/FIN-DES-TRAVAUX-DE-REENSABLEMENT-DE-LA-PLAGE>

Fiche 10

Pieux hydrauliques

Plage de Lehan | Treffiagat



Lieux d'implantation possibles

Côtes d'accumulation



Falaises meubles



Falaises rocheuses



Côtes anthropisées



Description

Le système de pieux hydrauliques, aussi dénommé « ganivelles hydrauliques », constitue une palissade de pieux battus verticalement dans le haut de plage, disposés en une ou plusieurs lignes parallèles au trait de côte en avant d'un littoral d'accumulation en érosion (cf. figures 124 et 125).

Il n'existe pas de principes d'implantation rigoureux, les dispositifs existant relevant de l'expérimentation et de l'adaptation à chaque secteur de côte concerné. Néanmoins, des troncs d'arbre, des fûts ou des poteaux de bois sont enfoncés dans la plage à raison de deux tiers d'enfoncement pour un tiers émergé. Ainsi, toutes les plages ne sont donc pas propices à leur utilisation. Les pieux sont alignés de manière régulière en rangées parallèles ou, plus généralement, disposés en quinconce. Ces obstacles

forment un dispositif d'atténuation de l'énergie des vagues sur le haut de plage en réduisant successivement, dans le déferlement, la force érosive du jet de rive puis celle de la nappe de retrait. Le sable mobilisé est donc conduit à se déposer entre le rideau de pieux et le trait de côte.

Un tel système est aussi utilisé pour atténuer l'énergie des vagues déferlant contre une digue, comme c'est le cas sur la plage du Sillon, à Saint-Malo (cf. figure 125).

L'espace entre les pieux est réduit : les masses d'eau déferlées doivent pouvoir franchir le rideau de pieux en dissipant leur énergie au passage de l'obstacle, mais la réflexion des vagues sur la palissade doit être minimisée pour ne pas entraîner le départ de sédiment en avant d'elle.

A l'image des ganivelles utilisées pour réduire la vitesse du vent et forcer la sédimentation sur les dunes, les pieux hydrauliques ont pour objectif de conforter l'accumulation de sédiments à la base de la dune et sur le haut de plage, entre le système et le linéaire littoral en érosion (cf. figure 126). Le stock sédimentaire ainsi constitué élève l'altitude du haut de plage et le préserve de l'érosion par les vagues ordinaires. Ce stock peut également être transféré par le vent vers la dune pour la renforcer. Enfin, en période d'agitation météo-marine extrême le stock constitué en avant de la dune joue le rôle de réserve sédimentaire consommée par l'érosion marine avant que l'érosion atteigne la ligne de rivage.

Objectifs

- Favoriser la sédimentation en haut de plage, entre le dispositif et le linéaire en érosion et limiter le recul du rivage.
- Réduire l'énergie du jet de rive avant qu'il atteigne la ligne de rivage.
- Réduire l'énergie de la nappe de retrait lorsqu'elle redescend la pente de la plage, sauf au droit des pieux.
- Atténuer l'énergie des vagues incidentes et réfléchies sur les ouvrages lorsque les pieux sont disposés en avant d'une digue ou d'un perré.



Figure 124 : systèmes de pieux hydrauliques implantés en quinconce selon deux alignements parallèles au trait de côte, à Treffiogat, en avant de la dune en cours de confortement. Les dispositifs de pieux sont positionnés dans le secteur en érosion accélérée, à l'extrémité d'enrochements. La dénivellation visible de part et d'autre de la rangée de pieux la plus basse sur la plage montre qu'une accumulation de sable s'est bien produite en arrière d'eux sur le haut de plage. Pour autant, le trait de côte est toujours en érosion rapide.

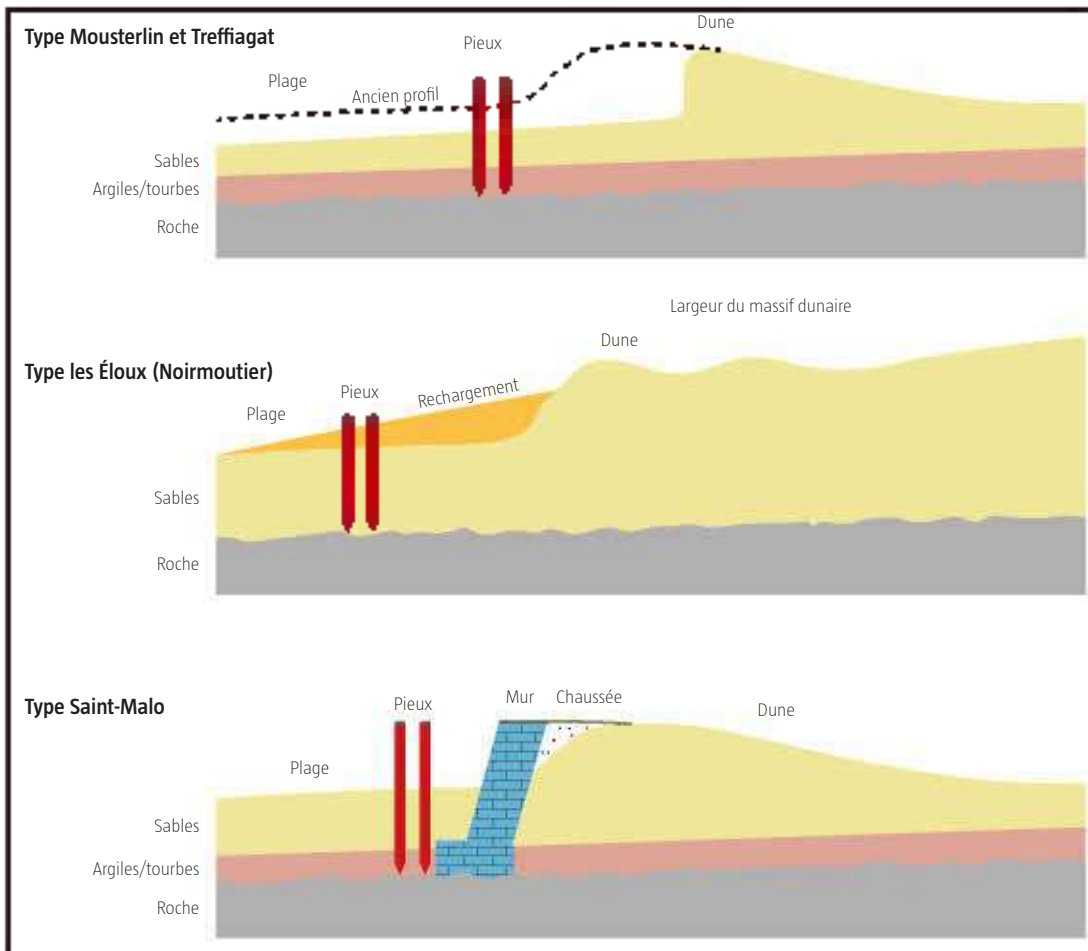
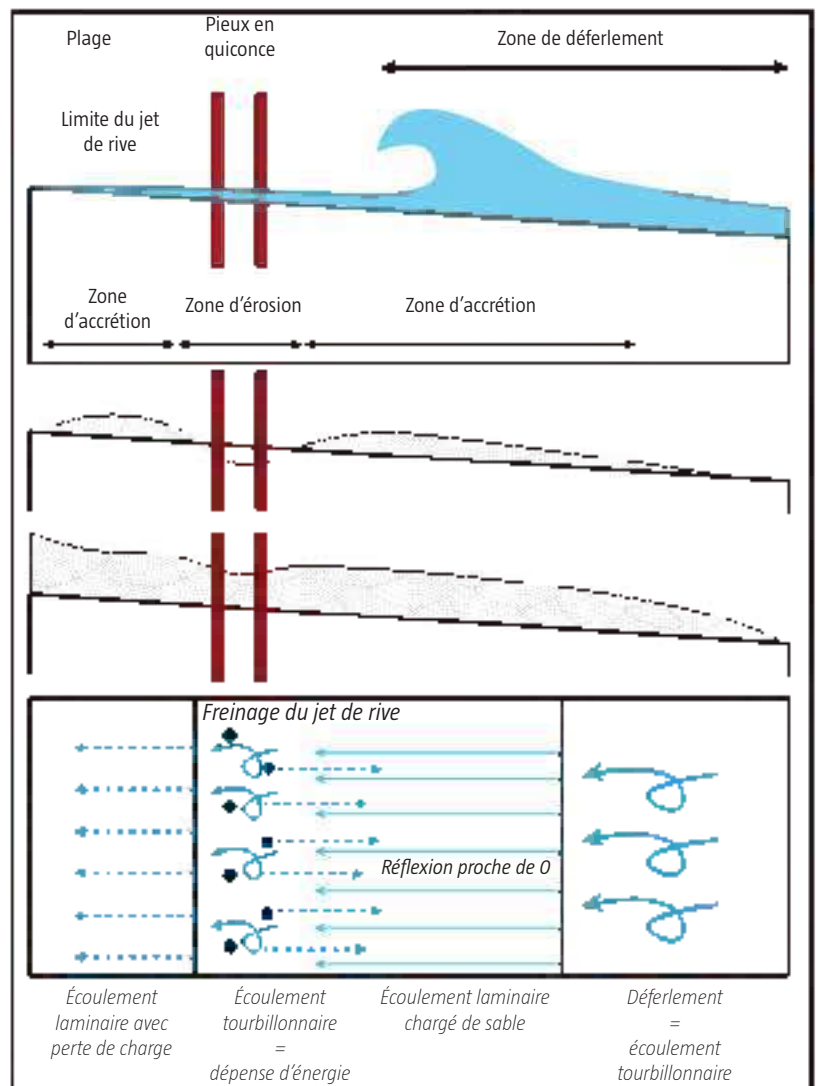


Figure 125 : utilisations diverses des rideaux de pieux.

Moustérlin et Treffiagat : atténuation des effets de bout d'un enrochement.
 Les Eloux : même utilisation avec mesure complémentaire de réensablement de plage.
 Saint-Malo : atténuateur d'énergie de la houle devant une structure rigide de protection.
 (d'après Hénaff, 2018)

Figure 126 : principe des ganivelles hydrauliques.
 (d'après le service Maritime et de Navigation du Verdon)



Intérêts

- Dispositif localement efficace en conditions d'énergie moyenne et faible des vagues en avant d'un trait de côte dunaire en érosion.
- Apparaît efficace pour atténuer l'énergie des vagues devant un ouvrage en dur (digue, perré).
- Esthétique discutable, parfois jugée plus satisfaisante que d'autres types de structures protection d'opposition aux processus naturels.

Limites

- Absence de règles de construction bien déterminées et adaptables à chaque cas de figure.
- Fixité du dispositif en avant de la dune qui perd son intérêt lorsque le trait de côte et l'accumulation dunaire reculent.
- Stabilité des pieux fortement sensible à l'abaissement de l'altitude de la plage et à la thixotropie.
- Inenvisageable pour des accumulations intertidales de trop faible épaisseur sédimentaire.
- Comme toute structure rigide de protection, le dispositif peut engendrer un effet de bout en aval-dérive.
- Entretien et contrôle réguliers de la stabilité des pieux.
- Inefficace en période de forte agitation de la mer.
- Produit une paroi de réflexion des vagues susceptible d'aggraver l'érosion de la plage en avant du dispositif.
- Barrière à la circulation piétonne (ou des secours) entre le haut de la plage et la mer.
- Coût relativement faible des matériaux mais battage onéreux (temps et engins).
- Gestion difficile des pieux arrachés qui peuvent dériver en mer et provoquer des incidents.
- Nombreuses déceptions localement lors de l'utilisation de ce dispositif.

Perspectives

Ce système est généralement associé à des rechargements de plage pour être rendu efficace. Il peut être envisagé comme dispositif de protection temporaire d'un littoral d'accumulation. En protection de structure de défense rigide, il semble avoir fait ses preuves localement en réduisant l'énergie des vagues avant l'impact contre la défense. Cependant, il n'est pas efficace sur des zones exposées lors de forts événements météo-marins et où l'érosion est trop forte. En l'absence de principes de construction clairement établis, les implantations restent toujours d'ordre expérimental et sont souvent réalisées au jugé. Dans ces conditions, un dispositif de pieux hydrauliques peut même aboutir à l'accroissement de l'érosion.



Pieux hydrauliques en haut de plage

Expérimentations

En France, les expériences d'utilisation de pieux hydrauliques menées dans l'objectif de la réduction de l'érosion des plages et le retrait du trait de côte dunaire concernent des littoraux de l'Atlantique et de la Manche. Les expérimentations ne semblent pas avoir été menées sur les littoraux de Méditerranée, en conditions micro-tidales. Les sites les plus médiatisés et documentés sont localisés à Noirmoutier (dunes de l'Homée et des Eloux), à Blainville et à Wissant (dune d'Aval) en particulier. D'autres expérimentations ont pu avoir lieu sans qu'il en soit fait autant écho (Platier d'Oye, pointe des Doux sur la commune de Château d'Oléron, entre autres).

Le recensement à travers les sources consultées fait état de quelques 18 expériences menées en France métropolitaine dans des conditions d'exposition aux houles très diversifiées. Les plus anciennes dont on retrouve encore des descriptions ont été réalisées vers les années 1950 (Mimizan) ou au début des années 1960. La plupart d'entre elles sont plus récentes (à partir des années 1990 et 2010). En Bretagne, les sites de Fouesnant (Mousterlin est et ouest), Mesquer (commune de Mesquer-Quimiac, dans le Morbihan) et Treffiagat sont ceux où ces dispositifs sont testés depuis peu.

Une revue de différentes expériences in situ met en évidence la diversité des moyens mis en œuvre et leurs résultats. Les linéaires de littoral concernés par ces expérimentations sont généralement de quelques centaines de mètres tout au plus. Les dispositifs sont généralement constitués de deux rangées de pieux (troncs d'arbre) disposés régulièrement en quinconce en pied de dune ou sur le haut de plage. Ces expérimentations conservent toujours un caractère « expérimental » et n'ont jamais donné lieu à une mise en œuvre à grande échelle. La plupart de ces expériences est tentée dans le cas de côtes subissant une érosion accélérée par la présence d'une structure antérieure de protection du littoral construite en dur (épi, extrémité d'enrochement, perré maçonné). Il s'agit donc souvent de tenter de gérer, par un procédé autre que la poursuite des techniques « dures » sur la dune, les effets de bout de ces structures. Les mises en place de ces structures sont généralement accompagnées d'un rechargement volumineux de la dune et de la plage en sable.

D'une manière générale, les expériences montrent que :

1 | Cette manière de gérer l'érosion littorale connaît très localement, au cours des dernières années/décennies, un certain engouement, entre autres, pour des raisons économiques, en réponse à la demande des riverains de solutions plus « écologiques » que les enrochements. Les expérimentations se multiplient sur différents sites.

Elles suscitent beaucoup d'enthousiasme de la part des gestionnaires et des défenseurs de l'environnement en général au démarrage des opérations. Les réactions sont généralement de plus en plus modérées progressivement dans le temps. En général, les premières tempêtes conduisent à des désagréments engendrés par la chute de pieux, les dégradations de la structure, éventuellement l'abaissement de la plage du fait de la réflexion des vagues en avant de la structure et les conduisent souvent à l'abandon de cette expérimentation. Les expériences réalisées en Angleterre (plutôt sur plage de galets) ont été progressivement abandonnées car ces dispositifs sont généralement très exigeants en termes d'entretien ;

2 | Les dispositifs mis en place dans diverses situations semblent fonctionner en conditions d'agitation calmes à modérées. Ils peuvent être quelque peu efficaces jusqu'à un certain niveau d'agitation du plan d'eau. Ils apparaissent totalement inefficaces lors d'agitations extrêmes (conditions de tempête) durant lesquelles, les gains (engraissement du haut de plage) engendrés, parfois sur plusieurs années, sont perdus très rapidement à l'occasion d'un seul événement météo-marine. Aux Eloux (Noirmoutier), par exemple, durant l'hiver 2013-2014, la structure n'a pas été efficace pour protéger le trait de côte pourtant enroché. L'enrochement a été mis à mal et a dû être remonté en urgence entre deux tempêtes. La question est cependant rarement posée de connaître ce qu'il se serait produit lors de tels événements en l'absence de cette structure (pas d'effet supplémentaire ou augmentation du recul du rivage ?).

3 | Les dispositifs semblent également efficaces lorsqu'une dérive littorale alimente encore en sédiments la plage en érosion, même si cette alimentation est insuffisante ;

4 | Les plages semblent bénéficier d'un certain retour des sables : l'engraissement est modéré à faible mais réel en dehors des périodes de tempête qui peuvent tout remettre en question ; par contre le trait côte continue de s'éroder et les reculs continuent. Au fur et à mesure, le dispositif de pieux est donc de plus en plus éloigné du trait de côte et n'agit plus de la même manière que lors de la mise en œuvre initiale ;

5 | La plupart des expériences utilisant ce type de dispositif est accompagnée d'un rechargement plus ou moins massif en sable de la plage et de la dune ;

6 | Le dispositif mis en place nécessite d'être régulièrement contrôlé et entretenu. La déstabilisation et la chute des pieux constituent un problème inhérent, presque normal. Elles surviennent en condition d'agitation maximale du plan d'eau. Elles sont généralement liées à la profondeur d'enfoncement et donc à la nature du substrat sous-jacent à l'accumulation de sable et à l'épaisseur d'évolution de la plage (battement du niveau de plage). Cette profondeur est accentuée en période d'agitation du plan d'eau durant laquelle d'importante quantité de sable sont enlevées du profil de la plage. Enfin, la liquéfaction des sables intervient également sous l'effet des vibrations engendrées par les vagues percutant les pieux.

Si l'amoinissement de la compétence du jet de rive peut être obtenue au passage de ces rideaux de pieux, plusieurs questions se posent quant à leurs effets positifs et négatifs sur les plages.

1 | Ainsi, la mise en place d'un pieu dans un substrat sableux produit un surcreusement (affouillement) du sédiment autour de sa base (scouring) du fait des turbulences générées par les flux d'eau au passage des obstacles que constituent chaque pieu (cf. figures 127 et 128). Ce surcreusement est connu et peut être prédit (au moins qualitativement, si ce n'est quantitativement) pour toute structure implantée dans des sédiments meubles.

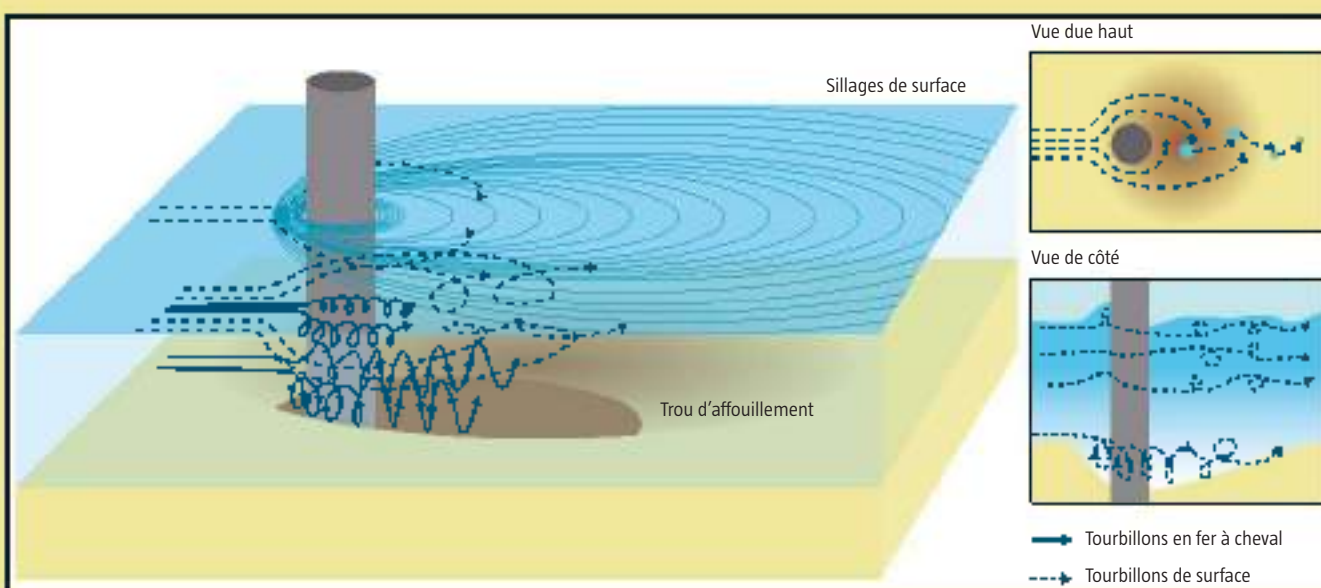


Figure 127 : phénomène d'affouillement au pied d'une pile de pont.
(d'après http://mo.water.usgs.gov/current_studies/Scour/images/LocalScour.gif ;
In : <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD1011/bei/beiere/groupe2/node/137>)

Figure 128 :
affouillement à la
base des pieux à
Saint-Malo (35).



2 | Les mouvements verticaux associés à l'engraissement et l'amaigrissement naturels de la plage dans laquelle sont implantés les pieux posent des problèmes de stabilité, les pieux pouvant être basculés, déchaussés et être emportés par les vagues de tempête (cf. figure 129). Se pose alors la question de la profondeur d'enfoncement nécessaire (proportion de longueur de pieu enfouie dans le sédiment par rapport à la longueur aérienne) et donc celle de la profondeur à laquelle le substrat rocheux sous-jacent se trouve. Ces questions ne sont cependant pas résolues partout et nécessiteraient des observations sur le long-terme permettant de connaître les épaisseurs de sédiment concernées par ces mouvements verticaux tout comme celle de la profondeur du substrat. À cet égard, les tempêtes à répétition de l'hiver 2013-2014 qui ont causé le départ massif de sable sur les plages en Bretagne ont permis d'observer la réapparition de structures datant de la Seconde Guerre mondiale enfouies profondément dans l'épaisseur de la plage (Concarneau, Erdeven, Plouharnel). De tels amaigrissements doivent nécessairement être pris en compte lors de l'implantation de ces dispositifs.

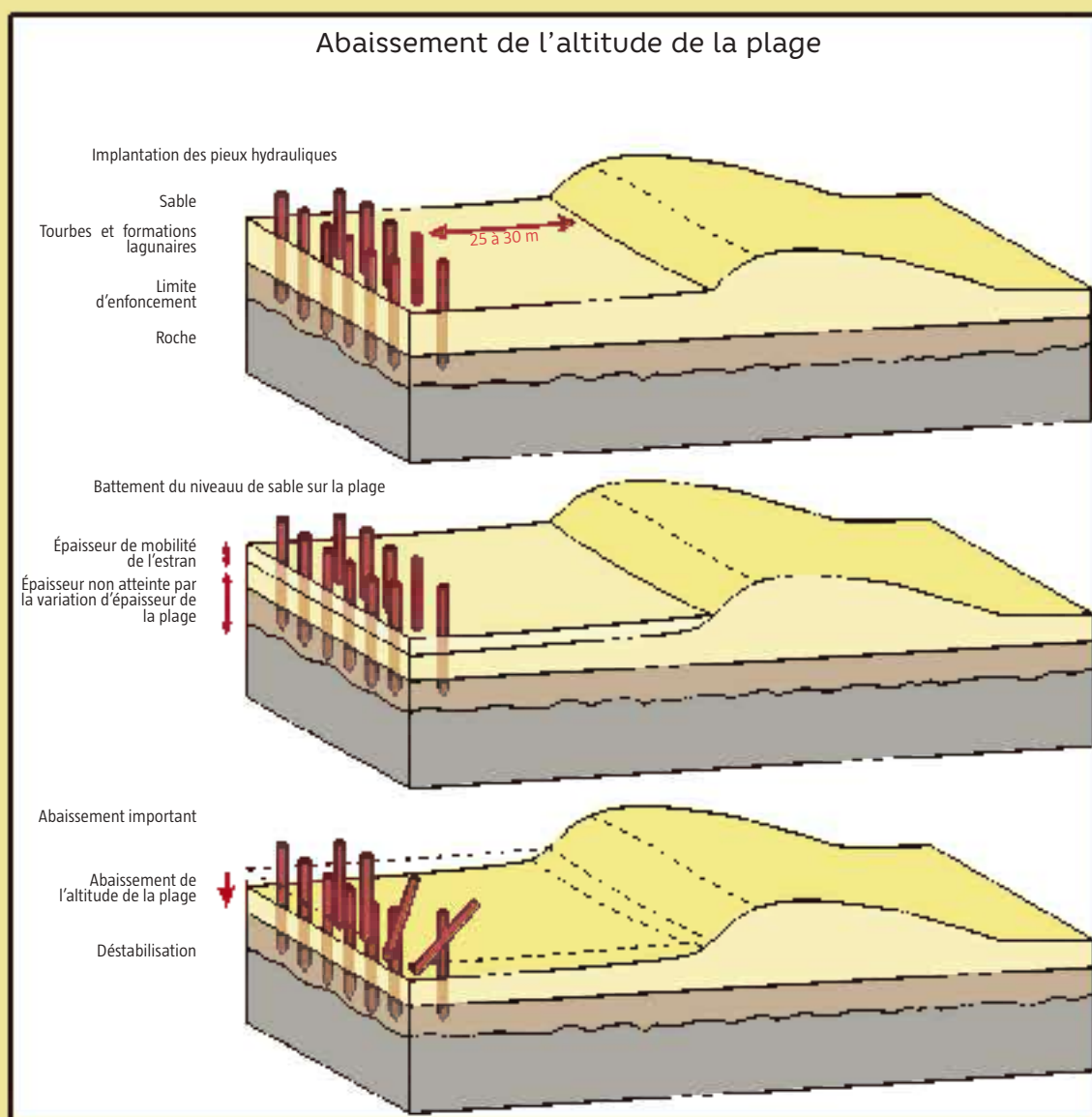
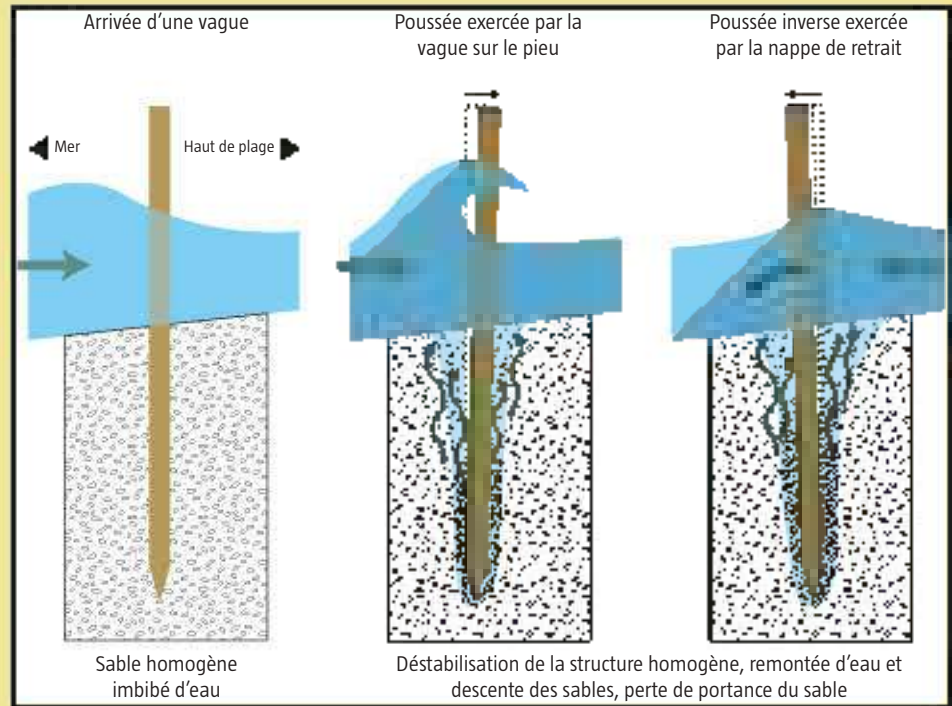


Figure 129 : instabilité des pieux lors de l'engraissement et de l'amaigrissement de la plage où ils sont implantés.
(d'après Hénaff, 2018)

3 | En complément des variations de l'altitude de la plage, les effets sur le substrat des mouvements vibratoires des pieux soumis aux impacts plus ou moins réguliers des vagues doivent être considérés. L'effet de « sables mouvants », c'est-à-dire de thixotropie engendré par ces vibrations définies par la période de la houle à chaque impact de vague et à ceux de la nappe de retrait de sens inverse contribue à la liquéfaction des sables. Ces sables sont le siège de courants verticaux ascendants de l'eau interstitielle, sous l'effet d'une mise en charge locale, qui mettent le sable en suspension. Ce dernier perd ainsi toute portance (cf. figure 130) et contribue à la déstabilisation puis au déchaussement des pieux.

Figure 130 : perte de portance des sables par thixotropie générée par l'ébranlement, les vibrations et les poussées successives exercées par les vagues incidentes et les nappes de retrait sur les pieux.
(d'après Hénaff, 2018)



4 | Comme toute surface rigide, le rideau de pieux, bien que perméable du fait des espaces inter-pieux, offre également une paroi de réflexion aux vagues dont les effets peuvent se répercuter sur la surface de plage en avant d'eux (comme pour toute paroi rigide), le sédiment étant entraîné par le départ de la masse d'eau réfléchi. Selon les conditions d'implantation de la structure, le transfert des sables vers le bas de plage peut avoir pour effet d'élever l'altitude de cette partie basse de la plage et de forcer le déferlement à se produire plus tôt et ainsi permettre d'atténuer la puissance des vagues sur la partie haute de la plage. Cependant, dans ce cas, il n'y aura pas forcément de bénéfice pour le haut de plage et le bilan sédimentaire de la dune n'en est pas amélioré.

5 | En l'absence d'indication, le positionnement de ces dispositifs paraît actuellement relever de l'intuition plus que de calculs préalables qui sont généralement intégrés aux démarches d'implantation d'autres structures. Une distance de 25 à 30 m du pied de dune est souvent « recommandée » mais jamais expliquée. De ce fait, les effets de la structure au regard de la mobilité du rivage (recul et/ou avancée) en arrière n'est jamais considérée (cf. figure 131). Quelle est l'efficacité des pieux lorsque le rivage recule ? leur stabilité est-elle remise en question ? Inversement, jusqu'à quelle distance du pied de dune les effets bénéfiques sont-ils possibles avant qu'ils ne deviennent éventuellement néfastes ?

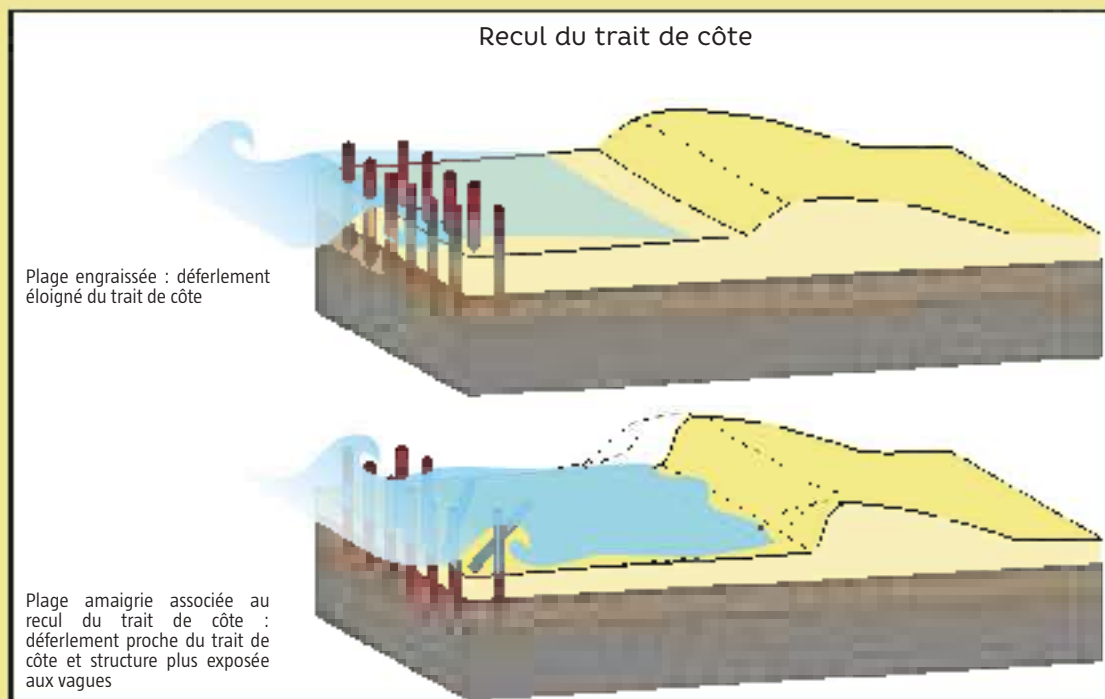


Figure 131 : effet du recul de la dune sur l'efficacité des pieux et sur leur stabilité.
(d'après Hénaff, 2018)

6 | Des questions se posent également sur la hauteur aérienne nécessaire pour que ces rideaux de pieux soient efficaces, quelles que soient les conditions, pour atténuer les hauteurs de vagues susceptibles de dépasser la hauteur des pieux et de la crête de dune par overwash (cf. figure 132). Dans les descriptions de l'utilisation de cette technique, il n'est jamais fait état des variations du niveau du plan d'eau pourtant permanentes, ne serait-ce que du fait des marées. Or, trois types de situation vis-à-vis des pieux hydrauliques par rapport aux vagues se présentent : i) jusqu'à un certain niveau de la marée, les vagues ont déferlé en avant des pieux et c'est la masse d'eau du jet de rive qui percute les pieux avant de monter vers le haut de plage après avoir traversé la structure. Une part d'énergie des vagues incidentes est alors déjà dépensée dans ce déferlement ; ii) le déferlement se produit au niveau des pieux (déferlement forcé par la structure ?) ; une part d'énergie des vagues incidentes est également perdue dans ce mouvement ; iii) les vagues, du fait d'un niveau d'eau important (marée haute, surcote, vagues fortes poussées par le vent, les trois pouvant éventuellement être conjuguées) dépassent la hauteur des pieux ou, en tout cas, ne sont affectées que par la partie supérieure de la structure. L'énergie des vagues est alors dépensée en arrière de la structure, c'est-à-dire, sur la partie de plage et de dune à protéger. Dans ces trois cas (cf. figure 130), l'énergie des vagues est très différente quand elles parviennent sur le haut de plage et le pied de dune ; l'impact n'est donc pas identique en termes de bilan érosion/sédimentation sur cette partie de plage que l'on veut protéger. Le dispositif est cependant fixe dans la plage et ne s'adapte pas aux différentes situations.

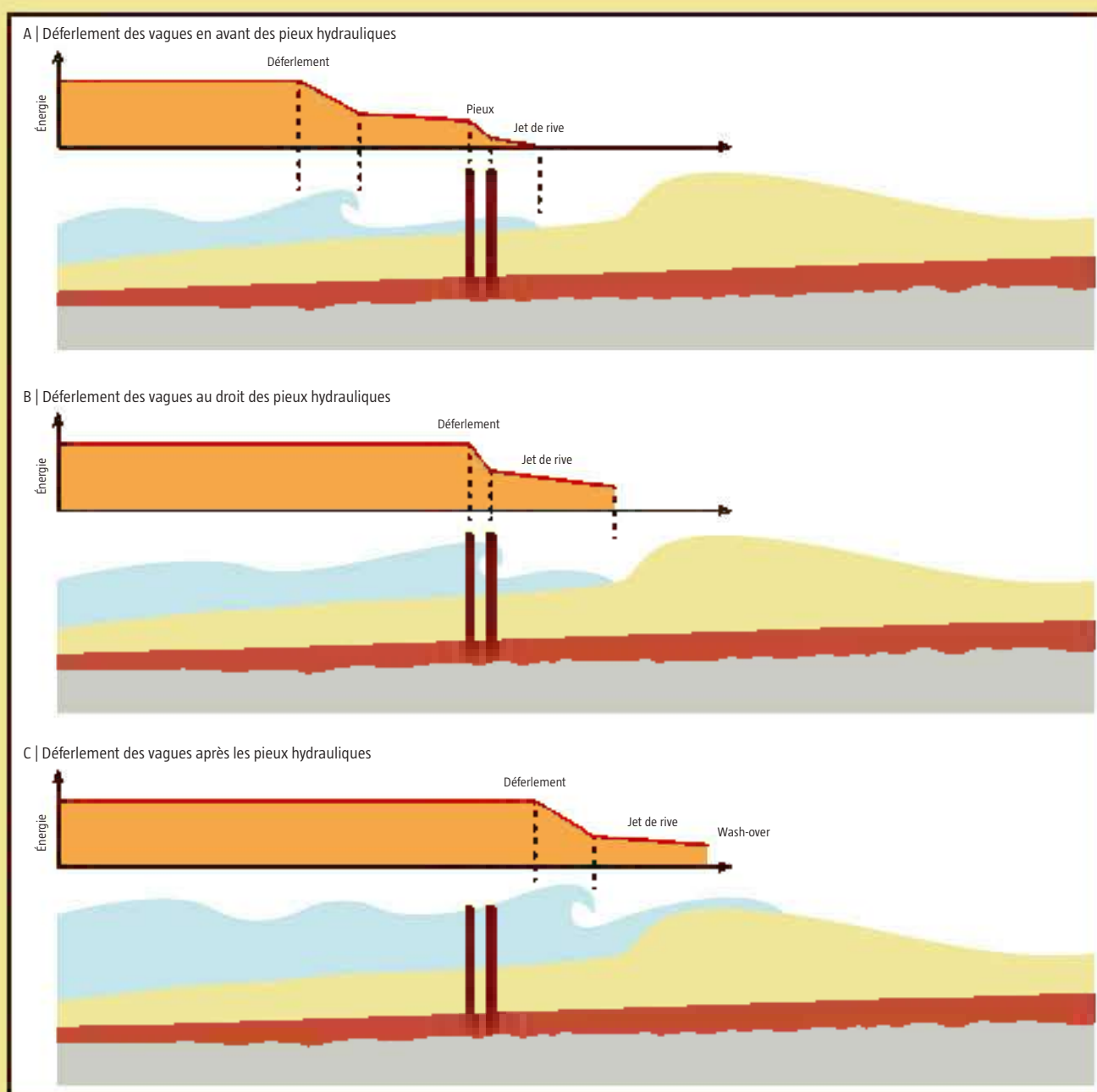


Figure 132 : perte d'énergie des vagues incidentes sur un dispositif de pieux : trois cas de figures théoriques.

Bibliographie

- Alexandre A., Mallet C., Le Nindre Y.M., Benhammouda S., 2003. *Evolution du littoral aquitain et impact des ouvrages de protection : secteurs de Biscarosse, Mimizan et Capbreton*. Rap. BRGM :rp-51877-FR, 79 p.
- ARCADIS, 2013. Communauté de Communes de l'Île de Noirmoutier. *Réalisation d'aménagements de stabilisation du trait de côte. Étude réglementaire. Étude d'impact valant dossier d'incidence Loi sur l'eau et Natura 2000*. 151 p.
- Coastal Research Group, Environmental Science, University of Ulster, 2003. *Copranet case study. Coastal geomorphology and coastal change in Dundrum bay : management implications*. 000231_07, 10 p.
- Costello R.D., 1952. *Damping of water waves by vertical circular cylinders*. Transaction American Geophysical Union. Vol.33 (4), 513-519.
- Environment Agency (2012). *Coastal Trends Report North Norfolk (Old Hunstanton to Kelling)*. RP028/L/2011, October 2012
- Environment Agency, 2012. *Greater working with natural processes in flood and coastal erosion risk management*. A response to Pitt Review Recommendation 27. Reference number/code : GEHO0811BUCI-E-E, 43 p.
- Environment Agency, 2009. *Coastal Morphology Report*. Holme-next-the-Sea, North Norfolk. RP009/N/2009, March 2009, 53 p.
- GEOS, DHI, 2013. *Plan de prévention des risques littoraux de la commune de Saint-Malo. Étape 1 : compréhension du fonctionnement du littoral*. Rapport, 140 p.
- Gous W., 2014. *Configurations of a piled row breakwater for a protected shallow water marina*. Thèse, Science in Engineering, Faculty of Engineering, Stellenbosch University, 135 p.
- Hagiwara K., 1984. *Analysis of upright structure for wave dissipation using integral equation*. Proc. 19th Coastal Engineering Conference, Houston, Texas, published by ASCE, New York, N.Y., 2810- 2826.
- Herbich J.B., Douglas B., 1988. *Wave transmission through a double row of pile breakwater*. Proc. 21st Coastal Engineering Conference, Torremolinos, Spain, Published by ASCE, New York, N. Y., 2229-2241.
- HR Wallingford, 2008. *Understanding the lowering of beaches in front of coastal defence structures, Phase 2 : Mitigation methods*. Technical Note CBS0726/08 Release 4.0, 48 p.
- IDRA, 2015. *Étude de faisabilité d'un aménagement de stabilisation à court terme de la dune d'Aval à Wissant. Rapport pour le pôle métropolitain de la Côte d'Opale*. 93 p.
- Koftis T., Prinos P., Aftias M., 2012. *Experimental study of multiple-row pile breakwater*. 4th Int. Conf. on the Application of Physical Modelling to Port and Coastal Protection, Coastlab12At: Ghent, Belgium.
- Mani J.S., 1989. *Wave damping characteristics of pile breakwaters*. Proc. Third Nat. Conf. on Dock and Harb. Engrg., Dept. of Appl. Mech. KREC, India, 181-188.
- Musereau J., 2009. *Approche de la gestion des cordons littoraux : Mise au point et application d'un indice d'érosion (Zone des Pertuis Charentais, France)*. Sciences de l'Homme et Société. Université Rennes 2. <tel-00422116>, 306 p.
- Pye K., Saye S., Blott S., 2007. *Sand dune processes and management for flood and coastal defence. Part 4: Techniques for sand dune management*. R&D Technical Report FD1392/TR, Joint Defra/EA Flood and Coastal Erosion Risk Management R&D Programme, 89 p.
- Quan R., 2014. *Experiment on pile fence to enhance dune resiliency*. Thèse, Master of Civil Engineering, Faculty of the University of Delaware. 108 p.
- Quan R., Kobayashi N., Ayat B., 2014. *Pile fence to enhance dune resiliency*. Coastal Engineering 2014 Proc., p 1-14.
- Rao S., 1999. *Studies on the performance of perforated pile breakwaters*. Thèse, Mangalore University, 226 p. <http://shodhganga.inflibnet.ac.in/handle/10603/132356>
- Rao S., Shirlal G. K., Rao N.B.S., 2002. *Wave transmission and reflection for two rows of perforated hollow piles*. Indian Journal of Marine Sciences, vol. 31 (4), pp. 283-289.
- Reedijk B., Muttray M., 2007. *Pile row breakwaters at Langkawi, Malaysia, 10 years of beach development*. Proc. Coastal Structures 2007, World Scientific, Singapore, 562-573.
- Schreck Reis C., * Antunes do Carmo J., Freitas H., 2003. *Copranet Case study. Coastal protection of the Leisora sand dunes system*. 000218_000213, 13 p.
- Sollit C. K., Cross R. H., 1972. *Wave transmission through permeable breakwaters*. 13th Coastal Engineering Conference, Vancouver, B.C., Canada. Published by ASCE, New York, N.Y., 1827-1846.
- Tanimoto K., Takahashi S., Kaneko T., Shiota K., 1986. *Impulsive breaking wave force on an inclined pile exerted by random waves*. Chapter 168, Coastal Engineering, 1986, p. 2288-2302.
- Van Weele, J., Herbich, J.B., 1972. *Wave reflection and transmission for pile arrays*. Proc. 13th Coastal Engineering Conference, Vancouver, B.C., Canada. Published by ASCE, New York, N.Y., 1935-1953.
- Veloso Gomes F., Taveira Pinto F., 2003. *Estela (Portugal)*. EUROSION Case study. 00147, 20 p.
- Wiegel R.L., 1960. *Transmission of waves past a rigid vertical thin barrier*. J.Wtrwy. and Harb. Div., ASCE, 86 (1), 1-12.
- Wiegel R.L., 1961. *Closely spaced Piles as Breakwater*. Dock and Harbour Authority, Vol. 42 (491), 150.

Fiche 11

Drainage de plage

Plage de l'Aber | Crozon



Lieux d'implantation possibles

Côtes d'accumulation



Falaises meubles



Falaises rocheuses



Côtes anthropisées



Description

Le drainage de plage s'appuie sur les principes d'infiltration et d'écoulement de la nappe de retrait pour éviter l'érosion du profil. En effet, lorsqu'une vague déferle sur une plage, le jet de rive possède une énergie qui lui permet de déplacer des sédiments du bas vers le haut de la plage, puis lorsque la nappe de retrait se retire, elle emporte des sédiments avec elle dans l'autre sens. Le drainage de la plage consiste à placer un drain sous l'estran afin que ce dernier augmente le taux d'infiltration de l'eau dans le sol (cf. figure 133). Ainsi, la nappe de retrait s'infiltrer plus facilement et perd de son énergie et emporte moins de sédiment vers le bas de la plage.

Le drainage de plage est une technique de lutte contre l'érosion des plages et de ré engraissement naturel de celle-ci. Ce sable supplémentaire déposé en haut de plage atténue les effets érosifs des vagues sur le trait de côte (cf. figure 134). Cette technique est indiquée comme une possible solution aux problèmes d'érosion lente et continue.

Le système de drainage présente différents composants :

- un ou plusieurs drains : ils sont installés parallèlement au trait de côte, à environ 2 m de profondeur sous le sable de la plage. Leur but est de désaturer d'eau l'accumulation en facilitant l'infiltration de l'eau apportée par le déferlement des vagues, permettant ainsi une meilleure captation des sédiments sur le haut de plage ;
- des puits collecteurs et des canalisations de transport : ils permettent d'évacuer l'eau captée par les drains jusqu'à une station de pompage localisée sur l'arrière-côte ;
- une station de pompage : placée en haut de plage elle va filtrer l'eau de mer et l'évacuer en mer ou vers des dispositifs récréatifs (piscine, thalassothérapie, par exemple) vers des de proximité).

Le système de drainage est invisible, silencieux et n'a aucun impact sur le

paysage une fois installé. Cependant, les travaux nécessitent le déploiement de moyens lourds.

Ce système peut se substituer à des rechargements de plage répétitifs dans certains cas. Il permet aussi de protéger les ouvrages situés sur le trait de côte en diminuant l'impact des vagues sur ceux-ci et donc diminuer les opérations d'entretien et de réparation. Cependant, il n'est pas efficace sur des zones exposées à de forts événements météorologiques et où l'érosion est trop forte.

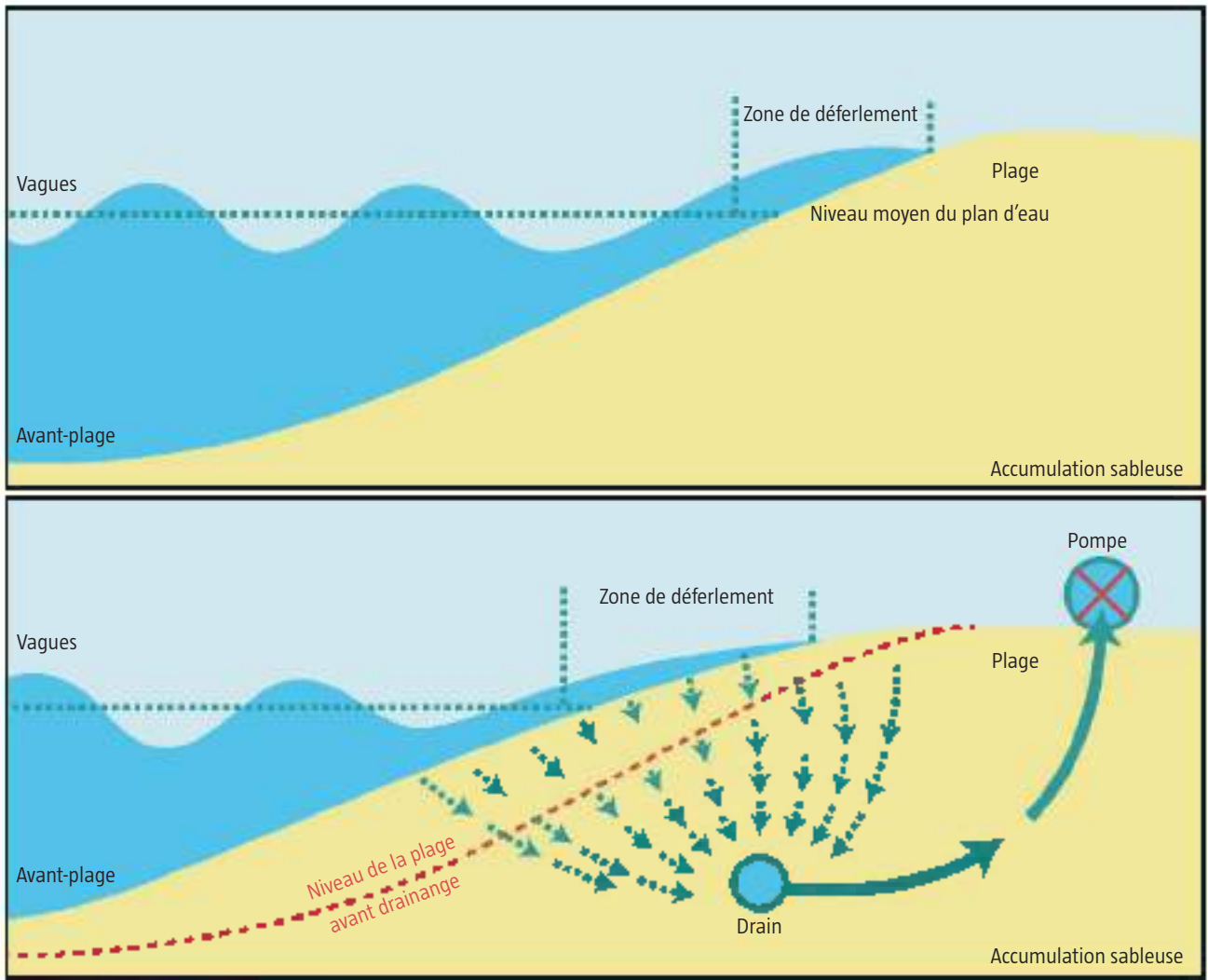


Figure 133 : principes du fonctionnement du système de drainage de plage.
(d'après Université de Caen, 2007)



Figure 134 : plage de Villers-sur-Mer (14), un an après l'implantation du procédé de drainage.

Objectifs :

- Diminuer les départs de sable causés par la nappe de retrait ou la force de reflux des vagues.
- Augmenter le dépôt des sédiments transportés par les vagues.
- Constituer une réserve de sable en haut de plage qui sert de « stock tampon » pour protéger le trait de côte de l'assaut des vagues.

Intérêts

- Efficacité avérée à court ou moyen terme.
- Système invisible (hors affouillement) qui présente une très bonne intégration paysagère.
- L'engraissement de la plage forme une zone tampon qui aide à l'atténuation des vagues.
- Augmentation de la surface de la plage sèche.

Limites

- Installation uniquement sur des sites présentant une érosion lente et continue.
- Efficacité nuancée pendant les tempêtes.
- Risque de désensablement de l'installation lors d'événements tempétueux engendrant une forte érosion.
- Efficacité sur du sédiment assez grossier (au moins 0,1 à 0,5 mm de diamètre).
- La plage ne doit pas être trop exposée aux vagues.



Plage du Gratz | Porspoder

Expérimentations

Aujourd'hui, de l'ordre d'une dizaine de sites français sont équipés de ce système à des fins principales de réengraissement de plages (cf. figure 135).

Plage	Département	Technique(s) antérieure(s)	Date de mise en plage du drainage	Objectifs	Longueur de la plage	Volume d'eau de mer pompé
Merlimont	Pas-de-Calais	6 épis mis en place dans les années 1980	2014	Lutte contre l'érosion, réensablement, assèchement de la plage.	900 m	Non indiqué (rejet en mer)
Plage de Quend-les-Pin, Quend	Somme	Ouvrages longitudinaux de haut de plage	2008	Contre la perte d'attractivité de la plage.	900 m	Non indiqué
Villers-sur-Mer	Calvados	4 épis	2002	Lutte contre l'érosion, réensablement, assèchement de la plage.	300 m	2 pompes 600 m ³ /h
Les Sables d'Olonne	Vendée	Ouvrages longitudinaux de haut de plage	1999 puis 2003	Lutte contre l'érosion, réensablement, assèchement de la plage.	600 m (milieu de plage) 700 m (haut de plage)	2 pompes 500 m ³ /h (rejet en mer)
Grande Plage de Saint-Gilles-Croix-de-Vie	Vendée	Ouvrages longitudinaux de haut de plage	2013	Lutte contre l'érosion, réensablement et assèchement de la plage. Alimentation de 12 000 habitants en eau potable, chauffage de 100 appartements et alimentation des douches de plages.	700 m	500 m ³ /h
Sète	Hérault	Épis	2012	Inclus dans le projet de relocalisation de la route côtière. Lutte contre l'érosion littorale et la submersion. Récupération d'une largeur de plage capable d'amortir l'énergie des houles, associée à des dispositifs atténuateurs de houle en géotube sur l'avant-plage.	700 m Deux faisceaux de drains	480 m ³ /h
Saint-Raphaël Agay	Vaucluse	Recharge annuelle en sable	2003	Lutte contre l'érosion, réensablement, assèchement de la plage.	600 m	Collecteur gravitaire (rejet en mer)
Plage de la Garonnette, Sainte-Maxime	Vaucluse	Recharge annuelle en sable	2004	Lutte contre l'érosion, réensablement, assèchement de la plage.	300 m (2 drains)	Collecteur gravitaire (rejet en mer)

Figure 135 : sites d'implantation de dispositifs de drainage de plage en France : objectifs et caractéristiques. (d'après Eco-plage)



Drainage de plage

Site des Sables d'Olonne (85)

Le développement de la station balnéaire et la forte urbanisation de la plage des Sables-d'Olonne a progressivement engendré l'artificialisation du front de mer et la disparition de la dune bordière. A pleine mer et par des coefficients de 70 et plus, la majeure partie de la plage est submergée par les vagues. La commune des Sables-d'Olonne a choisi de mettre en place un drainage de plage.

La pose des drains s'est déroulée en deux temps :

- **en avril 1999** : installation d'un premier drain de 300 m de long à 2 m de profondeur et situé à 70 m du haut de plage, dans la partie la plus humide et la plus érodée de la plage ;
- **en avril 2002** : deux drains sont installés. Un premier de 300 m de long presque dans le prolongement du précédent et un autre de 700 m de long et situé à 30 m du haut de plage.

Un suivi scientifique a été réalisé, dès les premières années de drainage de la plage, par l'Institut de Géographie et d'Aménagement Régional de Nantes (IGARUN) : des levés topographiques sont effectués deux fois par an, en avril après la période hivernale et en septembre après la période estivale. Des calculs de transport sédimentaire sont également réalisés.

Trois années après l'installation du premier drain, le bilan est positif, avec près de 5 000 m³ de sable transportés du bas vers le haut de plage. Le système a un effet positif moins marqué ensuite car, depuis la mise en place du second drain et depuis 2003, la plage est stabilisée et sa largeur à marée haute a augmenté d'au moins 10 m. Enfin, l'assèchement de la partie drainée est net et le haut de plage s'est élevé.

Des pertes de sédiments sont tout de même observées pendant les événements tempétueux. De même, les périodes hivernales sont naturellement marquées par un abaissement du niveau de la plage qui peut atteindre de l'ordre de 1 m selon les conditions météo-océaniques. En hiver, le sable s'éloignerait ainsi sur l'avant-plage, entre 50 et 150 m vers le large, en baie des Sables, avant de revenir sur la côte avec les conditions de moindre agitation de la saison estivale. Une étude menée, juste après la tempête Xynthia en 2010 a également montré que, depuis 30 ans, la quantité de sable sur les plages sablaises n'a pas évolué significativement. Des suivis topographiques sont désormais menés mensuellement et un survol LIDAR est effectué annuellement par l'Observatoire Régional des Risques Côtiers (OR2C) (Vendée-Journal, 2021).

A noter que lors de la violente tempête du 10 mars 2008, un cargo céréalier néerlandais (l'Artemis), s'est échoué sur la Grande plage des Sables-d'Olonne. Il avait alors endommagé entre 10 et 20 m de drains.

- **Coût.** Le coût des travaux s'est élevé à 726 000 €. 20 % sont financés par l'État, 40 % par la Région, 20 % par le Département et 20 % par la Ville des Sables-d'Olonnes. Le coût annuel de fonctionnement du système est de 16 600 € par an (2021), et se répartit en un coût de gestion du poste de relèvement confiée à une société privée (1 600 €) et la consommation d'électricité (15 000 €).



Drainage de plage

Site de la plage de Merlimont (62)

Merlimont est une station balnéaire du département du Pas-de-Calais. Le front de mer est sensible aux actions de la mer et donc à l'érosion. En effet le recul du trait de côte est net et la plage voit son niveau baisser.

- **En 2014**, la commune a choisi de mettre en place un dispositif de drainage pour lutter contre l'érosion de la plage. Le système est installé sur un linéaire de 900 m et à 2 m de profondeur. Avant la pose des drains, la commune a décidé de retirer 5 des 6 épis en enrochement en place depuis 1980. Inefficaces pour lutter contre l'érosion, ils représentaient un danger pour les utilisateurs de la plage. Le coût total des travaux s'élève à 1 276 925 € HT dont 51 925 € HT pour le retrait des 5 épis et 1 225 000 € HT pour l'installation du système de drainage.
- A l'issue de la première année de suivi, **en 2015**, l'efficacité du système est observée : la plage a gagné naturellement en sédiments, en été notamment.
- Cependant, **quelques années après**, la plage se dégrade. Au niveau du perré en haut de plage, elle s'est abaissée de 1,5 m. En effet, le front de mer est très réfléchissant et engendre des affouillements importants au pied du trait de côte artificialisé. De plus, les coups de vent forts rapprochés dans le temps, ne permettent pas à la plage de se reconstituer efficacement grâce au système de drainage. Dans ce cas de figure, le système de drainage de plage installé n'a pas suffi pour lutter contre l'érosion de la plage.
- **En 2017**, un premier rechargement sédimentaire est réalisé ainsi que la pose de ganivelles en haut de plage pour favoriser la sédimentation.
- **En 2021**, une nouvelle opération de rechargement sédimentaire a eu lieu pour renforcer la protection du perré de haut de plage.

Bibliographie

Artelia, 2019. *Reconstruction du perré et requalification du front de mer de Merlimont*. Déclaration d'intention. 29 p. <https://www.pas-de-calais.gouv.fr/content/download/7803/43789/file/Rapport.pdf>

Fattal. P., Walker. P., 2008. *Le drainage de plage : une méthode douce de stabilisation d'un littoral meuble – étude de cas aux Sables d'Olonne (Vendée)*. X^{ème} Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, 14-16 octobre 2008. Pp : 243-252.

Groupe de Recherche sur les Environnements Sédimentaires Aménagés et les Risques Côtiers, Université de Caen, 2007. *Mise au point d'un modèle prévisionnel d'évolution d'une plage macrotidale sous l'effet d'un procédé de drainage*, rapport final. 29 p.

Société ECOPLAGE : <https://www.ecoplage.fr/fr>

Fiche 12

Canalisation de la fréquentation

Plage de Cleut Rouz | Fouesnant



Lieux d'implantation possibles

Côtes d'accumulation



Falaises meubles



Falaises rocheuses



Côtes anthropisées



Description

La circulation piétonne répétée le long des littoraux naturels ainsi que dans les accès à la mer provoquent une importante dégradation des milieux. Ils favorisent, en effet, une érosion accélérée du littoral, en particulier :

- en sommet et sur les versants de falaise ;
- sur le sommet, le versant exposé des dunes et sur leur revers.

En dégarnissant les cheminements de leur couvert végétal, en incisant les lieux de passage, en tassant ou en

déstructurant les sols, en canalisant les écoulements et en provoquant des mouvements gravitaires, elle prépare la déflation éolienne dans les dunes et accentue l'érosion hydrique des sols de sommet de falaise. Ce sont autant de facteurs de déstabilisation des versants littoraux complémentaires des processus naturels d'érosion. Canaliser et organiser les flux de circulation des usagers permet donc de contrôler et de limiter fortement cette érosion.

Les dispositifs de canalisation des

usagers (cf. figure 136) sont nombreux et diversifiés (permanents, mobiles, temporaires, dissuasifs ou contraignant), généralement peu coûteux, même s'ils nécessitent de fréquentes opérations d'entretien. Leur efficacité s'appuie aussi beaucoup sur la conscience de la fragilité des littoraux et donc le respect des milieux de la part des usagers. De ce fait, ils sont fréquemment associés à des outils d'information et de sensibilisation du public.

Objectifs

- Canaliser les usagers sur des cheminements délimités.
- Éviter le piétinement de la végétation par les cheminements épars qui favorisent leur dégradation.



Figure 136 : dispositifs de canalisation de la fréquentation dans les dunes. A gauche : accès à la plage canalisé par des ganivelles sur la plage du Bellangenet à Clohars-Carnoët ; à droite : des cheminements encadrés par des clôtures filaires basses à Meneham à Kerlouan.

Les différents outils

- **Rideau de ganivelles** (cf. figure 137) : clôture perméable constituée de lattes de châtaigniers verticales d'environ 1 m de hauteur, reliées par un treillage de fils de fertorsadés. Elles s'appuient sur des piquets de bois régulièrement espacés. L'avantage des clôtures de ganivelles est d'être, la plupart du temps, infranchissables. Dans certaines situations, elles n'ont pas seulement une action de canalisation de la fréquentation, mais également un rôle de brise-vent et de piégeage des sédiments (cf. fiche « brise-vents »). Elles s'intègrent mieux dans les paysages boisés que dans des secteurs ouverts.



Figure 137 : rideau de ganivelles sur la plage de Mesperleuc à Plouhinec.

- **Clôture filaire** (cf. figure 138) : dispositif dissuasif, constitué d'un ou plusieurs fils de fer tendus entre des poteaux de bois de moins de 2 m de hauteur. Les clôtures filaires présentent une grande perméabilité au vent et respectent les dynamiques naturelles. Selon, le nombre de fils et leur disposition, la clôture peut ne pas bloquer entièrement le passage (clôtures basses avec un seul fil -appelé clôture mono-fil) peuvent facilement être franchies. Très discrètes, les clôtures permettent de limiter l'impact paysager, notamment en milieu ouvert. Facilement franchissables, elles sont plutôt utilisées dans des sites peu vulnérables ou à faible fréquentation.



Figure 138 : clôture filaire sur la plage de Cleut-Rouz à Fouesnant.

- **Clôtures grillagées** (cf. figure 139) : elles ont une hauteur variable comprise entre 1 m et 1,20 m en fil de fer galvanisé essentiellement à maille carrée. Elles sont très perméables au vent et aucun rôle de piégeage de sédiments. Leur impact paysager est plus important que les clôtures filaires mais elles ne sont pas franchissables. Elles seront privilégiées dans des sites très sensibles et à forte fréquentation.



Figure 139 : clôture grillagée.

- **Renforcement des cheminements** (cf. figure 140) : les dispositifs de renforcement des cheminements peuvent être de différentes nature : du géotextile synthétique, des structures en nid d'abeille, des copeaux de bois, du platelage en bois (sur pilotis ou non). Dans certains secteurs de falaise de très forte fréquentation, on optera pour un revêtement de surface (empierrement, stabilisé...)

Les dispositifs tels que les platelages permettent de canaliser la fréquentation piétonne et d'éviter le piétinement d'habitats naturels.



Figure 140 : platelage en bois à l'île Saint-Nicolas des Glénan en 2019.

Méthodes d'implantation

- **Une réflexion préalable sur l'organisation des cheminements est essentielle** : orientation des accès en fonction des vents dominants dans les dunes et de l'orientation des houles dominantes, des aires de stationnements, des habitudes constatées sur le site...
- **Choix du dispositif** : il est fonction de la dynamique du site et sa fréquentation. Sur des sites à fort transit sableux, on privilégiera des matériaux perméables (les clôtures filaires) afin de limiter leur ensablement, et augmenter leur efficacité. Sur certains sites où la reconstitution d'un cordon dunaire est recherchée, on pourra utiliser des matériaux peu perméables comme les ganivelles qui vont jouer un rôle de piège à sable en plus de leur rôle de canalisation de la fréquentation.
- **Le suivi** : il est nécessaire de suivre régulièrement la zone et le fonctionnement du site pour corriger les erreurs éventuelles. En effet, si les clôtures sont trop basses et que des incivilités sont commises, il peut être nécessaire de relever leur niveau ou de revoir les systèmes de clôture.
- **Signalétique** : une signalétique claire permet de guider correctement le public et de l'informer sur la préservation des espaces naturels. Elle permet d'éviter les cheminements sauvages ainsi que de sensibiliser le public.

Effets de l'ouvrage

Intérêts

- Pas de modification des dynamiques naturelles (sauf si les ganivelles ont aussi un rôle brise-vent).
- Facilité et rapidité de mise en œuvre.
- Faible coût.

Limite

- Franchissement aisé et risque de non-respect du cheminement pour les structures de faible hauteur.

Coûts

Type de canalisation	Construction	Entretien
Rideau de ganivelles	Structures de 1,20 m de haut en lattes refendues : entre 12 et 15 €/ml. Opérations ponctuelles, fourniture et de mise en œuvre : jusqu'à 20 €/ml.	entre 1,5 et 2,5 €/ml
Clôtures filaires	A 3 fils : coût moyen de 7 €/ml. Variable en fonction des frais de déplacements et des quantités à poser.	1,2 €/ml
Clôtures grillagées	Sensiblement équivalent aux clôtures filaires. En moyenne : 8 €/ml.	2 €/ml

Figure 141 : exemples de coûts pour la canalisation des cheminements.



Plage de Bonne Source | Pornichet (44)

Organisation et gestion de la fréquentation

Site de l'île de Saint-Nicolas des Glénan (29)



Figure 142 : localisation de l'île de Saint-Nicolas des Glénan à Fouesnant.

Localisation et description du site

L'île Saint-Nicolas (cf. figure 142) est l'île principale de l'archipel des Glénan (commune de Fouesnant). Elle correspond à deux plateformes rocheuses surbaissées reliées par des cordons dunaires dominant une dépression centrale. Deux petits tombolos submersibles (80 à 120 m de long) relie, à marée basse, la plage nord-ouest de l'île à deux îlots. Un tombolo plus conséquent raccorde l'île à celle de Bananec qui est le sommet d'un autre plateau rocheux.

L'île est soumise à des conditions climatiques à caractère océanique : les précipitations sont moins importantes que sur le continent mais les vents y sont plus forts. Les vents dominants, souvent associés à des perturbations océaniques, sont de secteurs nord-ouest à sud-ouest.

Le tourisme, le nautisme de plaisance, la plongée, et la pêche professionnelle constituent les activités principales. Pendant la période estivale, sept navettes réalisent quotidiennement une à deux, voire trois, rotations entre le continent et l'île. La forte fréquentation estivale de l'île entraîne un piétinement important qui se traduit par une dégradation du tapis végétal.

Le Conseil départemental du Finistère est propriétaire de cet espace naturel sensible qui bénéficie d'une protection réglementaire forte. La Réserve naturelle nationale de Saint-Nicolas-des Glénan occupe la partie sud-est de l'île. Sa gestion est confiée à l'Association Bretagne Vivante. L'île est également localisée dans le périmètre du site Natura 2000 Archipel des Glénan.

Historique de la gestion du site

L'île est soumise à des mouvements sédimentaires directement liés aux phénomènes météorologiques et océaniques affectant les accumulations des petits fonds et les accumulations littorales (cf. figure 143). De plus, jusqu'en 2011, des extractions de maërl au large de l'archipel engendraient une érosion du rivage et des habitats dunaires du fait de la modification des fonds marins et donc des conditions hydrodynamiques locales. Ces facteurs engendrent une évolution du trait de côte assez rapide de l'île (cf. figure 144). L'érosion est également produite par la très forte fréquentation touristique estivale. Le piétinement des dunes par les visiteurs participe à la dégradation du couvert végétal. La dune ainsi mise à nue devient plus sensible à la déflation éolienne.



Figure 143 : les mouvements sédimentaires liés aux phénomènes océaniques et météorologiques sur l'île de Saint-Nicolas.



Figure 144 : évolution du trait de côte de Saint-Nicolas des Glénan entre 1840 et 2002.
(d'après Hallégouët, 2001)

L'enjeu de la gestion de l'érosion et de la dégradation du couvert végétal sur ce site est d'autant plus important que des habitats et écosystèmes dunaires riches et exceptionnels sont présents. L'espèce emblématique du site est le Narcisse des Glénan, une fleur rare et protégée sur les îles de l'archipel des Glénan.

- **2007** : installation d'un platelage d'environ 1 km de long permettant de faire le tour de l'île sans nuire à l'écosystème. Constitué de planches de pin sylvestre de 2 m de large vissées sur des traverses en chêne, ce platelage est destiné à limiter la divagation des promeneurs sur les dunes, réduire le nombre de sentiers et ainsi éviter le piétinement de la végétation et donc réduire l'érosion éolienne. Ce dispositif a bien fonctionné puisque la dune grise s'est progressivement restaurée. La surveillance et la maintenance de cet équipement sont effectués chaque année pour s'assurer de son bon état.
- **2014** : au sud-est de Saint-Nicolas, au droit du tombolo de Bananec, une centaine de mètres de platelage est reculée d'une dizaine de mètres vers l'intérieur du fait de l'érosion de la dune (entre 7 et 13 m de recul) sur le seul hiver 2013-2014.
- **2019** : fermeture et suppression de 200 m du platelage qui longe la côte nord en sommet de dune et création, en remplacement, d'un nouveau platelage de 280 m dans la partie centrale de l'île. Cette décision a été prise du fait du recul rapide du trait de côte et après les dégradations du platelage observées lors d'événements tempétueux et pour protéger les habitats dunaires remarquables présents sur la côte nord (cf. figure 145).



Figure 145 : gestion des circulations sur platelage à Saint-Nicolas ; à gauche : modification du platelage en 2020 ; à droite : installation d'un nouveau platelage en 2020.

Situation 2022

Chaque année, les gestionnaires du site (CD29, commune de Fouesnant, Communauté de Communes du Pays Fouesnantais, Bretagne Vivante) se réunissent sur l'île pour établir la liste des travaux à réaliser avant la période estivale : remise en état des platelages, remplacement ou pose de ganivelles et de clôtures. Certains rideaux de ganivelles sont, en effet, déposés durant l'hiver afin d'éviter qu'ils soient détruits par les tempêtes et installés à nouveau au printemps, notamment au pied des dunes dans le but d'empêcher le passage des piétons pendant la période estivale. Par exemple, en 2020, 100 m de ganivelles ont ainsi été posés au printemps puis déposés à l'automne.

Organisation et gestion de la fréquentation automobile et piétonne anarchique

Site de la plage des Kaolins à Ploemeur (56)

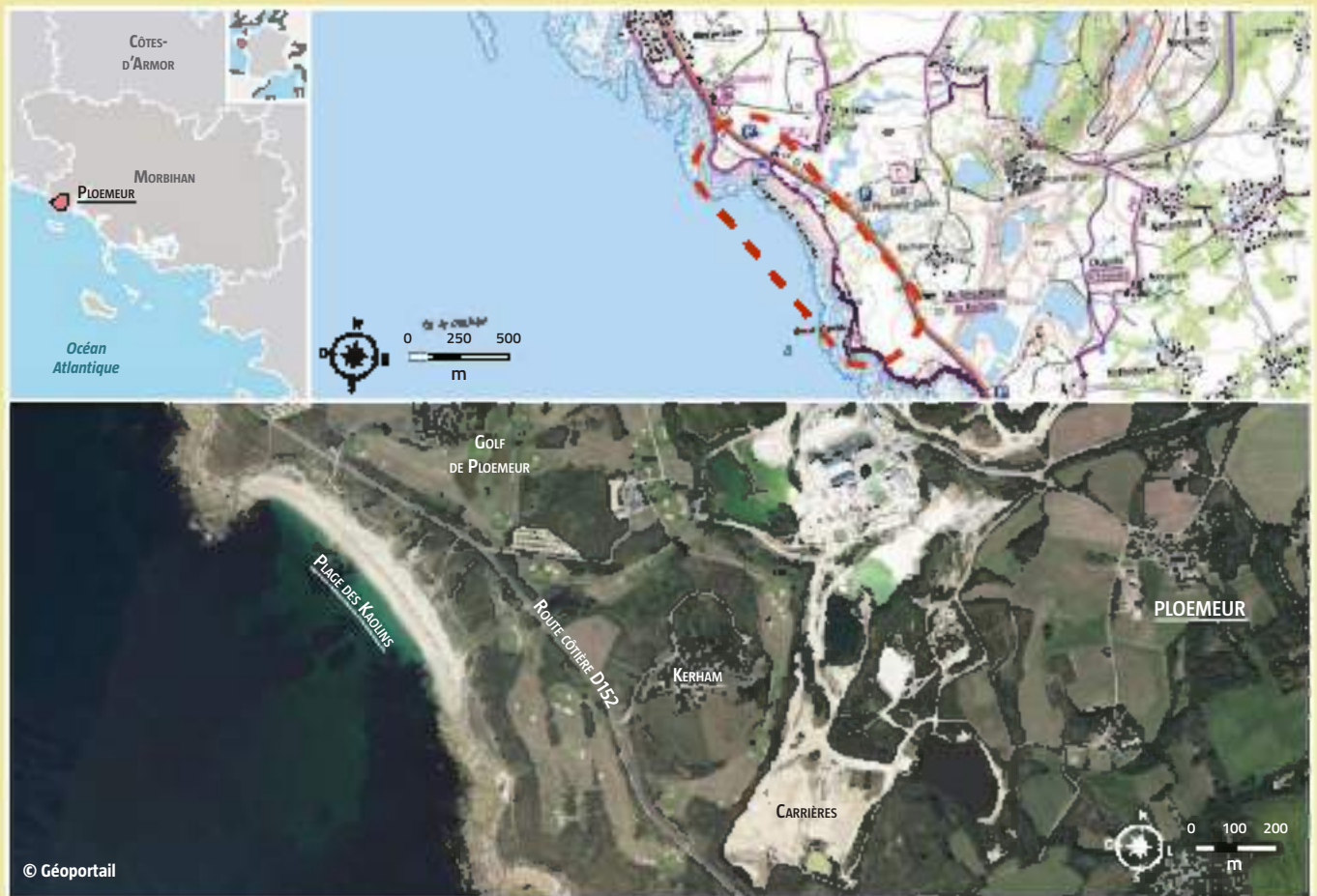


Figure 146 : localisation de la plage des Kaolins à Ploemeur (56).

Localisation et description du site

La plage des Kaolins, dans la commune Ploemeur (Morbihan) est une plage de sable artificielle de 500 m de long exposée au sud-ouest (cf. figure 146). Édifiée progressivement à partir du début du XX^{ème} siècle par les apports des déblais des carrières de kaolin de Ploemeur, la plage et l'accumulation arrière-littorale assimilée à un massif dunaire constituent désormais des lieux incontournables pour de nombreuses activités de loisirs. Bien que d'origine anthropique, l'accumulation est intégrée dans le dispositif Natura 2000 littoral de Guidel-Ploemeur « Rivière Laïta, Pointe du Talud, étangs du Loc'h et de Lannéec ». Cette plage est très fréquentée car elle est localisée à proximité de l'agglomération de Lorient et en bordure de la route départementale côtière ouverte en 1955 entre Kerroc'h et Guidel. L'accès au site se fait donc essentiellement en voiture.

Historique des modes de gestion du site

Le stationnement des véhicules et les cheminements vers la plage se faisaient auparavant de manière désorganisée sur la dune. L'accumulation littorale et la « dune » ont été fortement dégradées par les stationnements et les circulations piétonnes anarchiques entre la route côtière et le rivage. Tous ont contribué à l'extension de vastes aires sans végétation, offertes à la déflation éolienne.

En 1996, avant la mise en place du réseau Natura 2000, Lorient-Agglomération engage un programme de protection et de réhabilitation du littoral de Guidel-Ploemeur. Le but est de concilier la protection et la préservation d'un espace naturel fragile tout en maintenant son attractivité touristique et son ouverture au public.

Depuis 1998, les actions ont été menées pour :

- exclure la circulation automobile de l'espace côtier entre la route et le rivage ;
- réduire le nombre de cheminements piétons ;
- mettre en défens les milieux naturels ;
- réorganiser les déplacements et les stationnements ;
- créer des itinéraires piétons et vélo (voie verte nommée « La Littorale ») ;
- réduire l'érosion littorale.

Des clôtures filaires (poteaux de châtaignier et double rangée de fils inox), des lisses en bois et des rideaux de ganivelles ont permis d'organiser les circulations piétonne, vélo et automobile ainsi que les stationnements.

On observe, grâce aux clichés aériennes (de 1991, 2001 et 2019) (cf. figure 147), que la nouvelle organisation des stationnements et les accès à la plage ont permis à la végétation de reconquérir la dune et les aires auparavant à nu (cf. figure 148).



Figure 147 : évolution de l'accumulation littorale et de la plage des Koalins de 1991 à 2019 : la gestion de la circulation, des stationnements et des accès à la plage à travers la « dune » ont permis la reconquête progressive de l'espace par la végétation.



Figure 148 : entre 2002 et 2012, les actions de réhabilitation du site ont rapidement modifié le paysage et ont été profitables à la végétation naturelle.

Situation 2022

Depuis ces modifications, le site s'est stabilisé.



Plage de Moustierlin | Fouesnant

Bibliographie

Commune de Fouesnant, 2006. *Document d'objectifs. Tome II – Objectifs et propositions d'actions*. Site Natura 2000 FR 5300023 et FR 5310057 Archipel des Glénan. 111 p.

Delliou N., Bioret F., Loussouarn A., 2013. *Plan de gestion 2014-2020*. 123 p.

Diard Combot M., Baron J., Brisson L., 2021. *Rapport d'activité 2021. Réserve Naturelle Saint-Nicolas des Glénan*. 186 p.

Gouguet L. (dir.), 2018. *Guide de la gestion des dunes et des plages associées*. Ed. Quae, coll. Guide pratique, 224 p.

Hallégouët B., 2001. *L'évolution du littoral de Saint-Nicolas des Glénan*. Penn ar Bed, n°183, pp. 37-42.

Ley de la Vega, C., Favennec, J., Gallego-Fernández J., et Pascual Vidal, C. (eds), 2012. *Conservation des dunes côtières. Restauration et gestion durables en Méditerranée occidentale*. UICN, Gland, Suisse et Malaga, Espagne. 124 p.

Lorient Agglomération, Pôle AET, Direction Environnement et Développement Durable, 2015. *Programme de réhabilitation du littoral de Guidel-Ploemeur*. 28 p.

Prat M.-C., 1999. *La dynamique dunaire sur le littoral sud landais (Seignosse et Tarnos)*. Travaux du Laboratoire de Géographie Physique Appliquée, numéro spécial. Le littoral sud-landais. Environnement et développement durable. pp. 63-87.

Fiche 13

Brise-vent, piégeage et maintien des sédiments

Plage Centrale | Moliets (40)



Lieux d'implantation possibles

Côtes d'accumulation



Falaises meubles



Falaises rocheuses



Côtes anthropisées



Description

Un des principes de la gestion des dunes en érosion est d'utiliser la déflation éolienne pour forcer le dépôt des sables en réduisant la vitesse du vent par divers types de dispositifs. Les brise-vent constituent un groupe diversifié de dispositifs utilisés dans cet objectif. Ils

sont destinés à être ensablés plus ou moins rapidement. Une fois ensevelis, ils ne peuvent plus remplir leur rôle et de nouveaux dispositifs doivent être installés. Les matériaux utilisés doivent donc être choisis en fonction de leur durabilité et de la vitesse d'ensablement

escomptée. La plantation de végétaux adaptés à ces milieux et la couverture de la dune par des débris végétaux sont également des techniques complémentaires de la captation et le maintien des sédiments dunaires (cf. figure 149).

Objectifs

- Diminuer la vitesse de vent pour limiter l'érosion éolienne.
- Favoriser le piégeage des sédiments et donc leur sédimentation.
- Maintien des sédiments sur la dune.



Figure 149 : à gauche, un filet brise vent en pied de dune sur la plage de Squididan à Treffiagat ; à droite, des plantations d'oyats et des rideaux de ganivelles après un confortement dunaire à Combrit.

Les différents outils

- **Ganivelles** (cf. figure 150) : les ganivelles, très efficaces dans le but de canaliser la fréquentation du public, le sont également dans la lutte contre l'érosion des cordons dunaires par leur action brise-vent. Elles peuvent être, en échelas triangulaires de châtaignier refendus et écorcés ou en lattes sciées de châtaigniers, de différentes perméabilités et hauteurs. Pour des sites dont les ganivelles sont vouées à rapidement s'ensabler, elles seront composées d'un matériau peu coûteux. Ce dispositif permet une sédimentation sur une zone allant jusqu'à environ 3 m en arrière.



Figure 150 : rideau de ganivelles presque totalement enseveli sur la plage de Trescaderc à Audierne.

- **Filets** (cf. figure 151) : les filets en fibre de coco présentent l'avantage d'être biodégradables d'un coût, inférieur à celui des ganivelles. Leur facilité de mise en œuvre permet d'être rapidement installés mais leur tenue dans le temps est limitée, c'est pourquoi ils sont à privilégier dans des zones où ils seront très rapidement ensablés (quelques semaines). Ce dispositif permet une sédimentation sur une surface allant jusqu'à environ 1 m en arrière.



Figure 151 : filet brise-vent en pied de dune de la plage des Trois Moutons à Lampaul-Ploudalmézeau.

- **Fascines** (cf. figure 152) : ce sont des systèmes de brise-vent confectionnés par des assemblages de branchages de différentes natures (osiers, saules...). Ils peuvent être isolés (aigrettes) ou regroupés en fagot (fascines) et peuvent être plantés directement dans le sable ou installés sous la forme de rideaux.

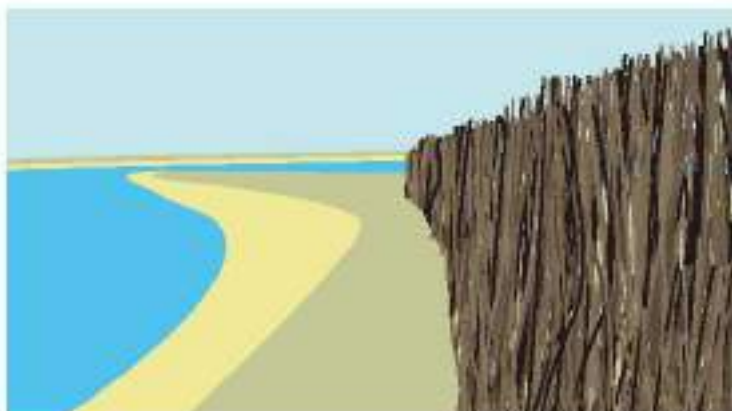


Figure 152 : schéma d'un rangée de fascines pour contrer la déflation

- **Plantation** (cf. figure 153) : la plantation d'espèce végétale adaptée au milieu permet une captation des sédiments ainsi qu'une meilleure stabilisation des littoraux meubles, notamment les dunes. Les plantes typiquement plantées dans les systèmes dunaires sont les oyats et les chiendents des sables. Leurs grandes feuilles permettent une captation et un piégeage efficace des sédiments transportés par le vent. Ces plantes ont un système racinaire complexe. Les racines horizontales (rhizome et stolon) permettent la survie de la plante dans ce milieu sec et sableux ainsi que sa colonisation de l'environnement proche. Par ailleurs, les racines verticales peuvent atteindre plusieurs dizaines de mètres et permettent l'ancrage des plantes. Les plantations peuvent être réalisées via un chantier participatif couplé à une action de sensibilisation sur le phénomène d'érosion dunaire.



Figure 153 : plantation d'oyats sur la dune de Léhan à Treffiagat.

- **Couverture de débris végétaux** (cf. figure 154) : cette technique consiste à apporter des branchages collectés à proximité du site afin de les disposer sur la dune au niveau des zones déprimées ou dans les siffle-vents. L'objectif est de piéger le sable transporté par le vent et de réduire l'efficacité de la déflation sur le sable nu. Les dépôts sont généralement constitués de buissons, bruyères et branchages. Les branchages doivent être installés en quinconce, pied au vent et ramures aplaties au sol. Cette technique est une solution annuelle qui doit être répliquée chaque année. Elle est peu coûteuse et peut être réalisée en chantier participatif couplé à une action de sensibilisation sur le phénomène d'érosion dunaire.



Figure 154 : couverture de végétaux sur le front dunaire (Moliets, 40).



Mode d'implantation

- **Différentes méthodes d'implantation existent en fonction de la configuration locale et des objectifs poursuivis** : lignes parallèles, maillage, zigzag. L'implantation la plus efficace des rideaux brise-vent, lorsque les mouvements de sable sont importants, est une succession de lignes parallèles, perpendiculairement aux vents dominants. Il n'est pas recommandé de placer les rideaux brise-vent en haut de plage car ils vont favoriser l'engraissement de la plage au détriment de la dune et ralentir les échanges sédimentaires entre les deux entités. De plus, ils seront rapidement dégradés par la mer.
- **Hauteur du dispositif** : la hauteur des rideaux brise-vent dépend du volume de sable en transit mais également de la profondeur des dépressions à combler. Les hauteurs les plus courantes vont de 1 m pour les forts transits à 0,5 m pour les transits modérés.
- **Perméabilité** : les lattes de bois des ganivelles peuvent être plus ou moins rapprochées en fonction de la perméabilité souhaitée de la structure.
- **Nombre de rangées** : la mise en place de plusieurs rangées va permettre l'élargissement de la dune avec des pentes plus faibles. Cependant, si la vitesse du vent est faible dans le secteur, multiplier les rangées n'est pas pertinent.
- **Distance entre les rangées** : pour un objectif d'augmentation de la largeur de la dune, un espacement de quatre fois la hauteur du rideau brise-vent est préconisé.
- **Orientation** : l'efficacité du rideau brise-vent est maximale quand celui-ci est placé perpendiculairement à la direction du vent dominant. Cependant, ils sont généralement placés le long du rivage pour que la dune croisse tout en conservant sa morphologie.
- **Plantations** : les prélèvements des plantes sont généralement effectués à proximité des zones à replanter pour s'assurer qu'elles sont adaptées au milieu. Elles sont ensuite plantées en quinconce sur des lignes espacées d'environ 80 cm.
- **Couvertures de débris végétaux** : les couvertures de débris végétaux sont généralement menées de façon conjointe avec l'entretien des forêts ou des landes adjacentes.



Effets de l'ouvrage

Intérêts

- Facilité et rapidité de mise en œuvre (possibilité de faire appel à un chantier participatif).
- Matériaux biodégradables (fibres de coco).

Limites

- Besoin d'un suivi régulier.
- Pose et dépose saisonnière localement nécessaire.
- Peu résistant aux événements météo-marins violents.

Coûts

Type de brise-vent	Construction	Entretien
Rideau de ganivelles	Sites à mouvements de sable importants et destinés à être rapidement ensablés, hauteur 0,5 m en lattes sciées : 0,7 €/ml.	Un autre étage de ganivelles doit être assez rapidement prévu.
Rideau de ganivelles	Sites à ensablement moins rapide, hauteur de 1 m ou 1,20 m, en lattes refendues ; prix dépendant de la perméabilité : <ul style="list-style-type: none"> • 12 €/ml pour une perméabilité de 80 % ; • 15 €/ml pour une perméabilité de 50 %. 	Entre 1,5 et 2,5 €/ml.
Filets en fibre de coco	Pour un filet d'une hauteur de 0,5 m : 3,5 €/ml.	Étant destinés à un ensablement rapide, il n'y a pas de coût d'entretien.
Plantations	Pour une nouvelle plantation : 0,5 €/m ² .	Pour regarnir une zone avec des plantations existantes : 1 €/m ² .
Couverture de débris végétaux	Le coût dépend de type de terrain qui fournit les matériaux de couverture et sa distance avec le site qui va accueillir la couverture. Couvertures de houppiers de pin : entre 0,7 et 1,3 €/m ² . Couvertures de genêts ou brande : entre 0,6 et 0,7 €/m ² .	L'opération est à renouveler lorsque les végétaux n'assurent plus leur rôle.

Figure 155 : exemples de coûts pour la pose et l'entretien des dispositifs de brise-vent.



Oyats | Combrit

Bibliographie

Birien T., 2016 *Retour d'expériences des méthodes souples de protection du trait de côte*. Rapport de stage : master 2 expertise et de gestion de l'environnement littoral, Université de Bretagne occidentale. 116 p.

Bodéré J.-C., Cribb R, Curr R, Davies P, Hallégouët B., Meur-Férec C., Piriou N., Williams A., Yoni C., 1991. *La gestion des milieux dunaires littoraux. Evolution de leur vulnérabilité à partir d'une liste de contrôle. Étude de cas dans le sud du Pays de Galles et en Bretagne occidentale*. *Norois*, n°151, pp. 279-298.

Dubois J.-M., 1986. *Rangée de fascines pour contrer la déflation*. *Le Monde en images, des collections pour éduquer*. <http://monde.ccdmd.qc.ca/ressource/?id=49176&demande=desc#>

Cerema, 2018. *Coût des protections contre les aléas littoraux*. 248 p.

GIP Bretagne Environnement, 2009. *Les dunes en Bretagne*. Dossier n°1, 35 p.

Gouguet L., 2018. *Guide de gestion des dunes et des plages associées*. Edition Quae. 225 p.

Hallégouët B., Bodéré J.-C., Piriou N., 1986. *La gestion des dunes littorales dans le Finistère*. *Norois*, n°132, L'aménagement dans la France de l'Ouest, pp. 517-535.

Hallégouët B., Bodéré J.-C., Meur C., 1994. *Bilan des expériences de protection souple des littoraux meubles dans le massif armoricain*. *Les Cahiers Nantais*, n° 41-42, pp. 171-178.

3

Techniques expérimentales ou innovantes de gestion des risques littoraux



Fiche 14 - Dignes amovibles contre les submersions marines

Fiche 15 - Dispositifs expérimentaux atténuateurs de houles et de courants

Fiche 16 - Dispositifs de protection et de régénération dunaire

Fiche 17 - Agrégat naturel issu de processus électrochimiques

Fiche 18 - Dépose d'ouvrages : désenrochement



Fiche 14

Digues amovibles contre les submersions marines

Saint-Brevin-les-Pins (44)



Lieux d'implantation possibles

Côtes d'accumulation



Falaises meubles



Falaises rocheuses



Côtes anthropisées



Description

Barrières anti-submersion

Ce sont des dispositifs anti-inondation, démontables par l'intermédiaire d'un système de planches emboîtables entre deux poteaux ou glissières préalablement fixés. Différents dispositifs existent car ils peuvent être installés dans divers endroits : devant des portes ou fenêtres, devant un portail, sur les bords d'un canal, sur des routes... En début de période hivernale et durant toute la saison des tempêtes potentielles, ces dispositifs sont installés dans les points bas des cordons, devant les portes de maison ou encore les accès à la mer le long d'un perré (cf. figure 156).

Il est proposé aujourd'hui de nombreux dispositifs sur le marché dans différents matériaux : en PVC, en acier, en aluminium, avec des joints d'étanchéité en caoutchouc.



Figure 156 : barrières anti-submersion devant un accès à la plage entre deux propriétés privées | Loctudy.

Dispositif d'urgence durant l'hiver 2013-2014 |
Penmarc'h



Digues amovibles

Ces nouveaux systèmes sont aussi destinés à lutter contre les submersions marines. Comme les barrières, ces digues amovibles s'opposent aux vagues de tempêtes et doivent donc d'être très résistantes aux vagues. Leur installation est cependant temporaire en général. Elles doivent pouvoir être rapidement déployées puisqu'elles ne sont mises en œuvre que lorsqu'une alerte aux vagues-submersion est prévue par les services météorologiques. Elles sont ensuite repliées.

Différents types de modules existent pour les adapter à chaque situation :

- des sacs réutilisables remplis de sable prélevé directement sur la plage (ce qui a cependant pour effet de diminuer le stock sableux de l'accumulation) et attachés les uns aux autres pour créer une digue sur un ou plusieurs rangs ;
- des déflecteurs incurvés en matériaux composites qui permettent d'amortir l'énergie des vagues et générer un mouvement de retour vers l'océan. Les déflecteurs peuvent être :
 - lestés par des sacs de sable,
 - auto-lestés en béton pour être installés sur des sites où le stock de sable n'est pas suffisant,
 - fixés au sol grâce à des poteaux amovibles ;
- des protections fixées sur les façades de bâtiment pour protéger les ouvertures (fenêtres et portes). Elles peuvent être adaptées pour protéger les ouvertures contre des événements cycloniques forts (cyclones, ouragans, typhons).

Objectif

- **Limiter les inondations par submersion marine.**

Intérêts

- Dispositifs d'installation rapide.
- Structures modulables (longueur, taille, forme, lieu d'implantation).

Limites

- Nécessité de moyens humains mobilisables en cas d'alerte (et pour le repli post-alerte).
- Ne sont déployables que sur des structures aménagées (sur des digues, des routes, par exemples).

Perspectives

Ces dispositifs sont testés sur un nombre de sites croissant, notamment en Espagne et aux États-Unis. Les dispositifs de digues amovibles peuvent, dans certains cas, remplacer des ouvrages en « durs », tels que les digues classiques en béton. En effet, contrairement aux digues en béton et/ou en enrochements, les modules de digues amovibles s'installent rapidement en cas de tempête et se retirent une fois celle-ci terminée. Cette particularité permet de ne pas engendrer les effets négatifs des enrochements installés définitivement tels qu'un « effet de bout » ou l'abaissement de l'altitude de la plage.

Digues amovibles en déflecteurs incurvés

Le dispositif a vu le jour en 2014 lorsque le Pays basque a subi de nombreuses tempêtes dont certaines ont provoqué de gros dégâts, notamment sur le casino de Biarritz, inondé par submersion marine à plusieurs reprises. Les digues amovibles sont composées de plusieurs déflecteurs incurvés (en matériaux composites) assemblés les uns aux autres. Les déflecteurs sont lestés de sacs réutilisables et recyclables. Ces digues amovibles sont légères (en l'absence de lest) et peu encombrantes, ce qui facilite leur pose rapide en cas de crise et leur retrait post-crise. La courbure des déflecteurs absorbe l'énergie des vagues tout en générant un mouvement de retour vers la mer qui permet de diminuer l'énergie de la vague suivante (effet « chasse-mer »).

Expérimentations

- A Biarritz, les déflecteurs incurvés lestés par des sacs de sable sont installés pendant les événements tempétueux dans le but de protéger du risque de submersion marine (cf. figure 157).



Figure 157 : digue amovible composée de déflecteurs incurvés lestés à des sacs de sable

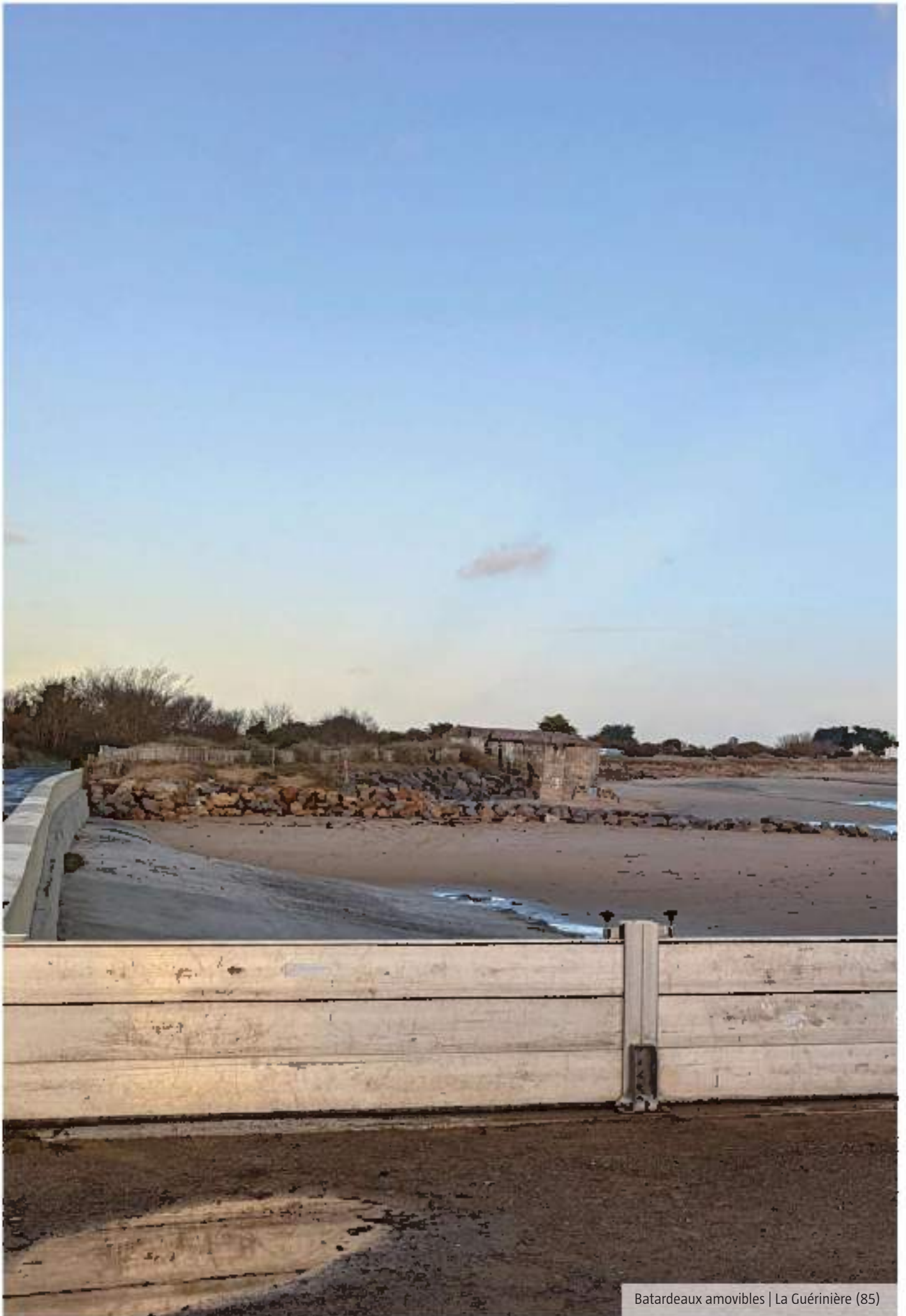
- La commune de Saint-Brévin-les-Pins s'est équipée de 25 déflecteurs incurvés en béton auto lestés positionnés au niveau des cales et des accès à la mer dans le but de limiter les risques de submersion marine des zones habitées par projection de paquet de mer (cf. figure 158).



Figure 158 : digues amovibles en béton, à Saint-Brévin-les-Pins (44).
(d'après WAVE BUMPER)

Bibliographie

Société WAVE BUMPER : <https://wave-bumper.com/>



Batardeaux amovibles | La Guérinière (85)

Fiche 15

Dispositifs expérimentaux atténuateurs de houles et de courants

Baie d'Authie



Lieux d'implantation possibles

Côtes d'accumulation



Falaises meubles



Falaises rocheuses



Côtes anthropisées



Description

Les dispositifs atténuateurs de houles et de courants expérimentaux sont des dispositifs immergés qui permettent une dissipation de l'énergie de la houle par un déferlement des vagues, ou de l'énergie des courants dans la colonne d'eau. Ils constituent une alternative possible aux épis et brise-lames qui sont des ouvrages en dur présentant dans certaines situations, un coût de construction généralement élevé (brise-

lame, par exemple), et des impacts importants sur l'avant-côte, le trait de côte et, souvent, les rivages voisins.

Les avantages des dispositifs expérimentaux mis en avant par leurs promoteurs sont, en particulier, leur invisibilité (sur les littoraux à très faible marnage) car ils sont immergés et la préservation d'une certaine mobilité de l'avant-côte car ils ne bloquent pas totalement la propagation de la houle et des courants. Enfin, les

effets régénérateurs ou, a minima, de préservation des écosystèmes sont aussi fréquemment mis en avant, ce qui n'est pas spécifique puisque toute structure implantée détermine des possibilités de développement d'un habitat.

De nouveaux systèmes d'atténuateurs de houle et de courant sont proposés ces dernières années sous des formes diverses.

Objectifs

- Atténuer l'énergie des houles et des courants avant qu'ils agissent sur la plage.
- Augmenter la sédimentation au droit du dispositif et/ou entre celui-ci et la plage.

Intérêts

- Impact paysager faible (si immergé) à fort (si émergé).
- Certains dispositifs favorisent le développement d'habitats pour la faune et flore sous-marines.

Limites

- Ensablement rapide de certaines structures.
- Coût important.
- Peuvent engendrer une érosion accrue en interrompant la dérive littorale.
- Risques pour la navigation et la baignade.

Perspectives

Les atténuateurs de houles et de courants expérimentaux sont des dispositifs qui peuvent constituer des alternatives aux ouvrages d'ingénierie traditionnels dans des situations de risques d'érosion et de submersion marine faible à modérée.



Filet atténuateur de houle et des courants

Ce dispositif nouveau (cf. figure 159) est composé d'une structure de plusieurs nappes de trémail (de type filet de pêche) à porosité faible, estimée entre 10 et 20 %, ancrée sur le fond par des chaînes et des ancres et déployée verticalement grâce à une ligne de flotteurs de surface qui tend la structure en filets dans la colonne d'eau. Le dispositif est posé :

- pour réduire l'action de la houle avant qu'elle agisse sur le haut de plage et favoriser le dépôt des sédiments en les piégeant,
- pour réduire l'action des courants de marée dans un chenal tidal en piégeant les sédiments dans les filets.

Le dispositif est breveté sous le nom de « S-Able ».



Figure 159 : dispositif S-ABLE, à marée basse, en place en baie d'Authie en 2019.

Expérimentations pour la réduction de l'érosion du rivage par les courants tidaux en baie d'Authie

Le Cerema participe pour la France au programme européen Interreg 2 Seas ENDURE, dédié aux recherches menées sur la protection du littoral. C'est dans ce contexte que ce procédé est expérimenté en 2019, sur les rivages de la Manche, dans la Baie d'Authie sur la Côte d'Opale.

- **Le 27 mars 2019 dans la baie d'Authie** : En contexte macrotidal, dans l'entrée de la baie d'Authie (cf. figures 160 et 161), la divagation des chenaux de marée de l'Authie est contrôlée par la progression du poulier sableux submersible de Routhiauville vers le nord, dans le sens de la dérive littorale dominante régionalement. Le rivage dunaire de la rive nord de l'estuaire, en position de musoir (cercle rouge sur la figure 160) au droit du poulier, connaît en contrepartie une érosion régulière du trait de côte. C'est notamment le cas au lieu-dit « Bois des Sapins ». A cet endroit, de fortes érosions ont été constatées entre 2011 et 2018 et résulteraient de l'action combinée des courants et des vagues.



Figure 160 : la baie d'Authie entre la Somme et le Pas-de-Calais : localisation de la zone soumise à l'érosion au lieu-dit Bois des Sapins (zone rouge).



Figure 161 : érosion au lieu-dit du Bois des Sapins à Berck (62) en 2018.

Le filet atténuateur de houle a été déployé sur 108 m le long de la baie. Son installation a été particulièrement rapide (moins d'une heure). Un état zéro de la topographie du site a été réalisé avant l'installation. Une comparaison est ensuite effectuée par des levés bathymétriques (par bateau) et topographiques (par drone) 3 mois après l'installation du dispositif qui montre que (cf. figure 162) :

- des dépôts sédimentaires apparaissent autour des filets ;
- le chenal de l'Authie est repoussé de presque 50 m vers l'ouest ;
- le chenal est plus étroit qu'auparavant.

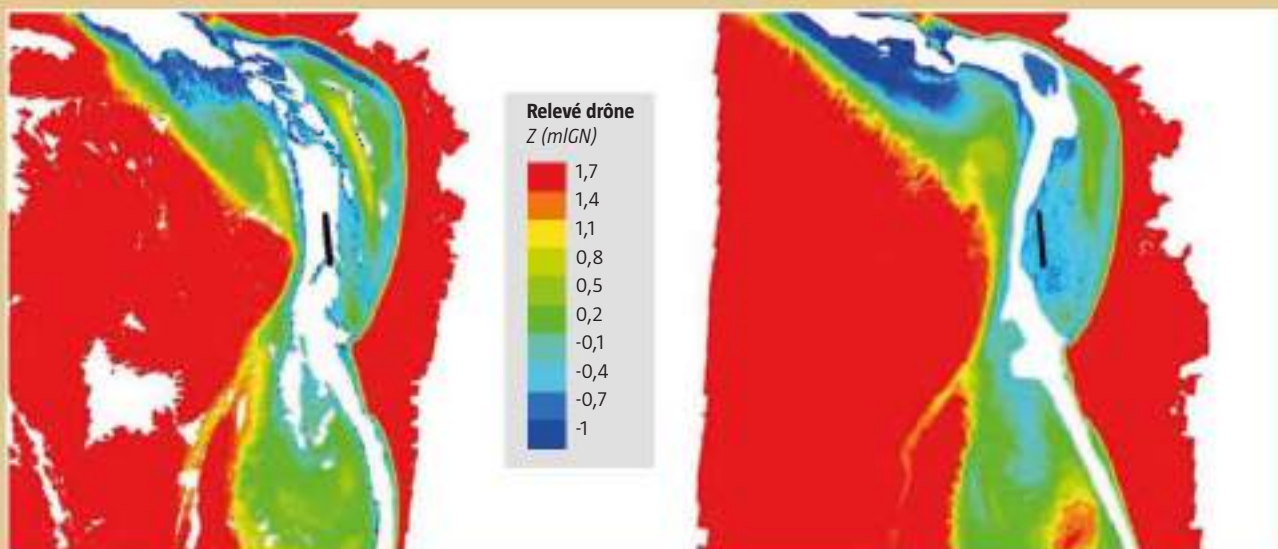


Figure 162 : évolution de la topographie 3 mois après la pose de la structure (matérialisée par le trait noir). Le chenal responsable de l'érosion de la dune s'est écarté du secteur en érosion grâce aux filets qui ont permis une accumulation sédimentaire.

(d'après Cerema, 2019)

- **Le bilan des 3 mois de suivi du système dans la baie d'Authie apparaît positif** : le chenal principal de l'Authie est déplacé de 50 m vers le large et un dépôt de sédiment de 90 m de large et de 0,5 à 1 m d'épaisseur est observé entre la structure et la dune en érosion. Par ailleurs, la structure est en grande partie enfouie par le sable qu'elle a piégé. Le procédé est rapide et facile à mettre en œuvre sur ce site d'essai ; il s'intègre également dans le paysage. Il apparaît efficace, accessible et répliquable, aussi de nouvelles expérimentations sont prévues sur les côtes méditerranéennes.
- La période test reste à ce stade très courte et concerne une période printanière d'affaiblissement général de l'agitation marine. Les conditions marégraphiques de la période ne sont également pas précisées. En tirer des conclusions sur son efficacité à plus longue échéance est donc certainement prématuré. Il en est de même du coût de l'entretien nécessaire : résistance à l'arrachement, vieillissement des filets, stabilité des ancrages dans les bancs sableux, ensablement de la structure qui peut la rendre inopérante à partir d'un certain niveau, etc. ne peuvent probablement être estimés sur ce laps de temps.

Dispositif écologique atténuateur de houle et des courants

Ce système atténuateur de houle et de courant est une structure modulable constituée de tours individuelles dont la structure est en béton (socle et toit) et en acier et en bois (montants). Selon ses concepteurs, cette structure s'inspire de l'action des racines de palétuvier sur les littoraux à mangrove, en offrant : une capacité à capter les sédiments, une certaine perméabilité aux flux sédimentaires transportés par les courants et les vagues ; une atténuation et une dissipation de l'énergie des courants et de la houle, sans la réfléchir (contrairement aux ouvrages classiques), et en rétablissant des fonctionnalités écologiques du milieu (habitat, nurseries...).

Expérimentations à Agde dans le cadre du projet PEGASE, de 2020 à 2023

Dans le cadre de l'appel à projets Avenir Littoral 2021, le projet PEGASE (Protection contre l'Erosion du littoral du Grau d'Agde et Sauvegarde des Ecosystèmes) est un projet-pilote mis en œuvre par la Communauté d'Agglomération Hérault-Méditerranée et une société privée spécialisée dans la conception de « solutions basées sur la nature », notamment les récifs artificiels immergés. Le projet concerne la plage du Grau d'Agde dans la commune d'Agde (département de l'Hérault) et a pour objectif la lutte contre l'érosion côtière à l'aide de solutions dites innovantes. D'une durée de 36 mois, il a débuté en octobre 2020 et devrait se terminer fin 2023. Le subventionnement du projet est de 200 000 € pour un coût total de 500 000 €.

Le littoral d'Agde est fortement artificialisé. A l'est de l'embouchure de l'Hérault, seize brise-lames en batterie ont été construits en avant des plages, entre le Grau-d'Agde et la marina du Cap-d'Agde (cf. figure 163). La plage urbaine du Grau d'Agde, elle-même, est largement artificialisée et les dynamiques morphosédimentaires ont été largement modifiées. La plage est ainsi protégée par un perré maçonné et des enrochements en haut de plage, deux brise-lame semi-immergés ont été édifiés sur l'avant-plage, tandis que les jetées portuaires, à l'embouchure de l'Hérault, jouent le rôle d'épi barrant les transits sédimentaires orientés vers l'ouest. Pour autant, l'érosion de la plage du Grau-d'Agde se poursuit et son rôle économique pour la station balnéaire est diminué d'autant (cf. figure 164). Sa largeur s'est réduite au cours des dernières décennies (depuis les années 1980), ce qui ne permet plus l'accueil d'utilisateurs aussi nombreux qu'auparavant.



Figure 163 : vue aérienne du littoral d'Agde (34) entre l'embouchure de l'Hérault (à l'ouest) et la marina du Cap-d'Agde à l'est, en 2021.

La solution technique mise en œuvre est un brise-lame perméable entièrement submergé destiné à dissiper l'énergie de la houle et des courants et favorisant l'accumulation de sable sur la plage. Les modules qui le constituent sont positionnés dans le prolongement du brise-lame en enrochement existant. Comme toute structure artificielle implantée sur les avant-plages, il constitue un abri et une nurserie pour un certain nombre d'espèces. Ce bénéfice possible pour la biodiversité est largement vanté par le projet, même si le but premier est de réengraisser le stock sableux de la plage.

Les modules de cette structure qui reprend les caractéristiques des racines de palétuviers sont installés en complément des brise-lames déjà présents sur le site (cf. figure 165). La structure est :

- perméable, afin d'assurer un rôle d'atténuateur des houles et des courants, mais sans perturber les transits sédimentaires régionaux ;
- modulaire, elle est, selon le concepteur, facile à mettre en place bien qu'elle nécessite des moyens à la mer (bateaux, plongeurs) et resterait d'un coût abordable, au regard de la construction d'un brise-lame classique.



Figure 164 : la plage du Grau-d'Agde vers 1950 et en 2021.

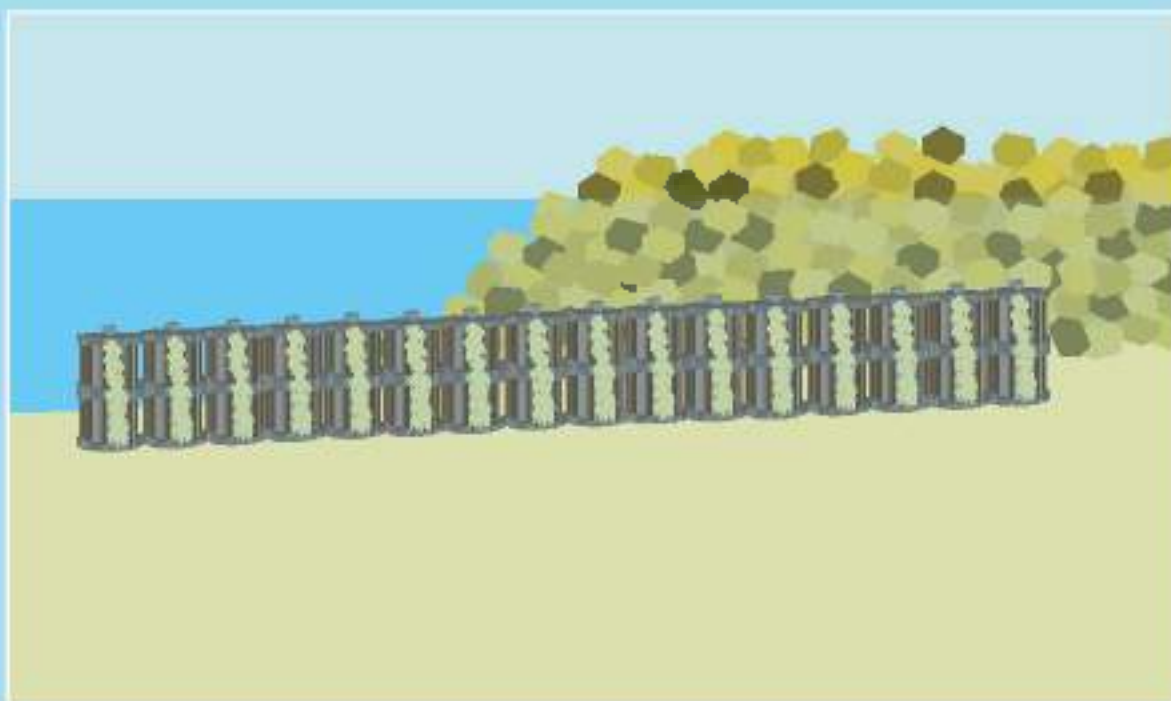


Figure 165 : schéma de la structure PEGASE en cours de réalisation au Grau d'Agde (34).
d'après Seaboost

Un suivi écologique sera réalisé à la suite de l'installation de la structure pour évaluer ses performances et impacts. En 2021, aucun bilan de ce procédé n'était encore disponible.

Bibliographie

Bedi A., Dalle J., Perrot M., Benoit M., 2019. *Mangrove restoration : biomimetic artificial mangrove roots and ecosystem-based management models*. 5th International Mangrove Macrobenthos and Management Meeting (MMM5), Jul 2019, Singapore, poster, hal-02568614

Centre Ressource du Développement Durable (CERDD), mis à jour en décembre 2021. *Des filets expérimentaux pour limiter l'érosion des dunes dans la baie d'Authie*. Des filets expérimentaux pour limiter l'érosion des dunes dans la baie d'Authie / Initiatives changement climatique / Changement climatique / Parcours thématiques - Centre Ressource du Développement Durable (cerdd.org)

Cerema, 2019. *Expérimentation des filets S-ABLE en baie d'Authie*, bilan après 3 mois. 12 p.

Société SEABOOST : <https://www.seaboost.fr/>

Région Occitanie (projet Pegase) : <https://jeparticipe.laregioncitoyenne.fr/projects/les-trophees-pour-la-biodiversite-en-occitanie-2/collect/depot/proposals/pegase-protection-contre-lerosion-du-littoral-du-grau-dagde-et-sauvegarde-des-ecosystemes>

Fiche 16

Dispositifs de protection et de régénération dunaire

Villeneuve-lès-Maguelone (34)



Lieux d'implantation possibles

Côtes d'accumulation



Falaises meubles



Falaises rocheuses



Côtes anthropisées



Description

Les cordons dunaires et les dunes littorales sont des accumulations sableuses formées :

- par la déflation éolienne, notamment les vents de mer vannant les sables des plages vers le continent, d'une part ;
- par le développement, d'autre part, d'une couverture végétale fixatrice du sable constituée de plantes diversifiées, adaptées aux conditions

climatiques et pédologiques littorales (faible épaisseur des sols organiques, perméabilité du substrat, dessiccation rapide, teneur en sels du sable due aux intrusions marines ponctuelles et aux embruns, effets abrasifs des sables vannés, entre autres).

Des dispositifs diversifiés de protection contre la déflation et l'érosion dunaire, de fixation des dunes littorales voire de régénération sont appliqués de longue

date sur le littoral français (cf. fiches 12 et 13). Ils sont progressivement améliorés et adaptés localement. Ainsi, de nouveaux dispositifs sont proposés qui, s'appuyant sur les expériences antérieures, visent à amplifier et accélérer la captation des sédiments et leur fixation par les plantes pour permettre la régénération de l'avant-dune ou de la dune.

Objectifs

- Augmenter la captation et l'accumulation des sédiments sur le haut de plage.
- Créer et maintenir des stocks de sédiments en haut de plage en limitant la déflation éolienne.
- Favoriser la reprise et le développement de la végétation.

Intérêts

- Protection efficace du pied de la dune par la formation et la fixation d'un stock sableux dunifié en avant du trait de côte initial.
- Génération d'un stock sableux « consommable » par l'érosion marine en haut d'estran lors d'événements tempétueux.
- Utilisation de dispositifs éprouvés (rideaux de ganivelles) et d'éléments naturels (algues échoués localement) pour provoquer une régénération du pied de la dune bordière, voire former une dune embryonnaire puis une banquette dunaire en avant du trait de côte initial.

Limites

- Applicable seulement sur les zones où les échouages d'algues sont massifs car il est nécessaire de prélever de grandes quantités d'algues.
- Besoin de main d'œuvre pour remplir régulièrement les casiers d'algues.
- Destruction partielle ou entière possible lors d'événement de tempête et de haut niveau de la mer.
- Potentiel désagrément olfactif temporaire dû aux algues en décomposition.

Perspectives

Les premières expérimentations de ce dispositif, dans le Morbihan, semblent être positives, c'est pourquoi d'autres implantations sont réalisées sur des secteurs littoraux du Finistère, en 2021. Ce procédé, qui utilise des processus et des éléments naturels pour protéger et régénérer le haut de plage ou la dune, peut être utilisé en remplacement de certains ouvrages « durs » longitudinaux de haut de plage.



Nappes stabilisatrices | Plouguerneau

Casiers de ganivelles remplis d'algues

Les premiers essais de casiers ont été tentés dans le Morbihan, sur des secteurs dunaires en érosion chronique et particulièrement affectés par les tempêtes de l'hiver 2013–2014. Sur ces plages, les échouages d'algues récurrents forment des accumulations massives qui, en haut de plage, amortissent l'action des vagues et piègent les sables apportés par les vagues et le vent. Leur dégradation progressive constitue par ailleurs un compost riche, favorable à l'installation des premières espèces végétales des dunes, à la condition que les algues se maintiennent suffisamment longtemps dans cette position. Afin de mettre à profit ce potentiel et maintenir cette source de nutriments en haut de plage, un système expérimental de casiers de ganivelles est créé en 2014. L'objectif principal de ce système dénommé AlgoBox (cf. figure 166) est d'accélérer la dynamique naturelle de création d'une banquette dunaire afin de renforcer l'amortissement des vagues sur le pied de dune et ainsi éviter son érosion.

Pour y parvenir, des casiers de ganivelles sont installés en pied de dune dans le but de capter les sédiments et les stocker. Dès lors qu'un volume de sable suffisant est accumulé, les casiers sont remplis par une couche d'algues, en profitant des échouages automnaux. Ce remplissage permet, au cours de l'hiver suivant, d'amortir directement les vagues. De plus, les algues, en se dégradant durant l'hiver, produisent les matières organiques qui au printemps favoriseront la végétalisation de la banquette sableuse. La végétation piégera à son tour les sables vannés et permettra la stabilisation des sédiments et renforcera la captation de nouveaux sédiments. Ainsi, le dispositif renforce les processus naturels : le vent, le sable, les algues et la végétation.

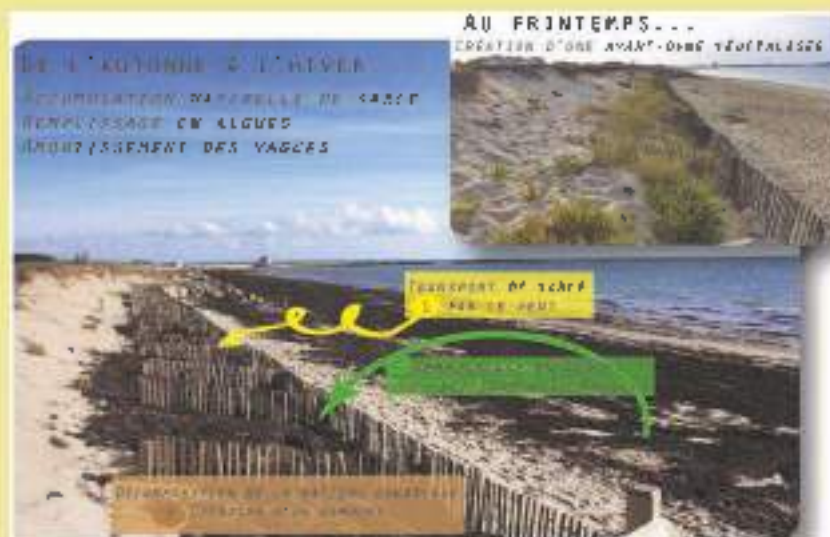


Figure 166 : principe de fonctionnement du dispositif AlgoBox.

Expérimentations

Les expérimentations ont commencé dans le Morbihan, sur les rivages dunaires de la presqu'île de Rhuys. Des afflux d'algues rouges *Solieria chordalis*, une espèce envahissante qui se développe dans des milieux peu profonds, sont utilisés.

- Plage de Penvins à Sarzeau dans le Morbihan

Le système installé sur la plage de Penvins comportait deux grands casiers de 10 m par 2 m espacés d'une zone témoin. Le linéaire dunaire est également équipé de casiers améliorés (59 casiers) constitués d'une même ligne de ganivelles en façade et de lignes de ganivelles en séparation perpendiculaires tous les 4 à 5 m. Ces installations ont coûté 13 000 €. Installés en juillet 2014, les casiers ont été remplis d'algues en octobre 2014 sur une épaisseur de 30 cm. Dès le remplissage des casiers en algues, des suivis sont effectués. Ils concernent les variations altimétriques du haut de plage sur les secteurs équipés de casiers (accumulation sédimentaire à l'intérieur des casiers) et, pour comparaison, de la zone témoin, la dégradation de la matière organique, ainsi que le recouvrement des casiers par la flore. Pour chaque thème de suivi, des fiches protocoles permettent de guider la personne en charge du suivi.

Les suivis locaux de l'efficacité du dispositif :

- niveau du haut de plage par rapport aux casiers (cf. figure 167) : les poteaux des casiers servent de référence. La variation de hauteur de sable au pied des casiers correspond à la distance entre les sédiments et le haut des poteaux encadrant les casiers. Les mesures sont hebdomadaires et effectuées après les événements tempétueux ;

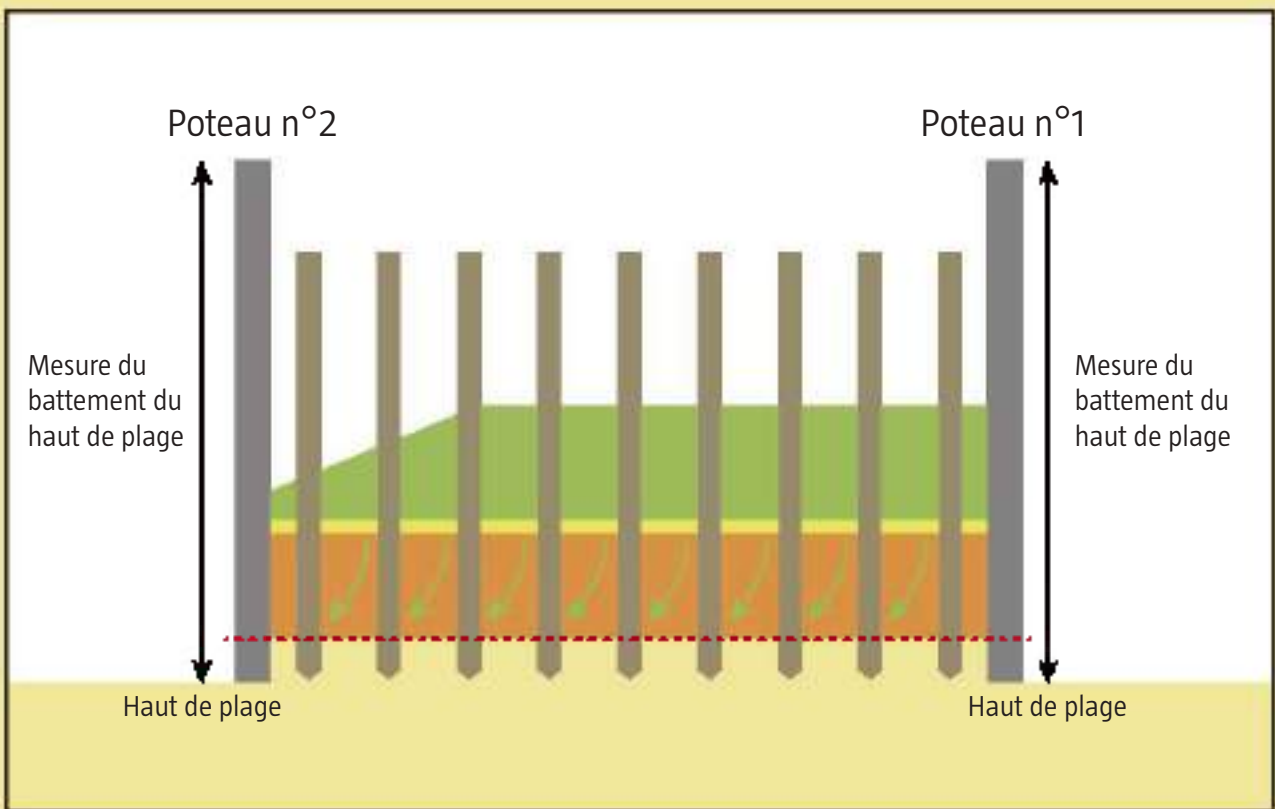


Figure 167 : schéma de la mesure du battement de sédiment au pied des AlgoBox.
(d'après UBS, 2015)

- dégradation des algues et accumulation de sable (cf. figure 168). Une perche graduée est installée dans le casier pour mesurer son ensablement. L'ensablement des algues se fait aussi de manière visuelle avec des critères d'ensablement (algues fraîches, algues peu ensablées, algues ensablées et algues enfouies). La dégradation des algues est estimée par l'odeur nauséabonde de H₂S (odeur non détectée, légère ou forte). Le suivi se fait de manière hebdomadaire ;
- colonisation végétale (cf. figure 169) : ce suivi permet d'évaluer le recouvrement progressif de chaque casier par la végétation (estimation en 6 classes). Le suivi se fait de manière hebdomadaire.

Figure 168 : typologie et images de référence pour l'évaluation de l'ensablement des algues (d'après UBS, 2015).

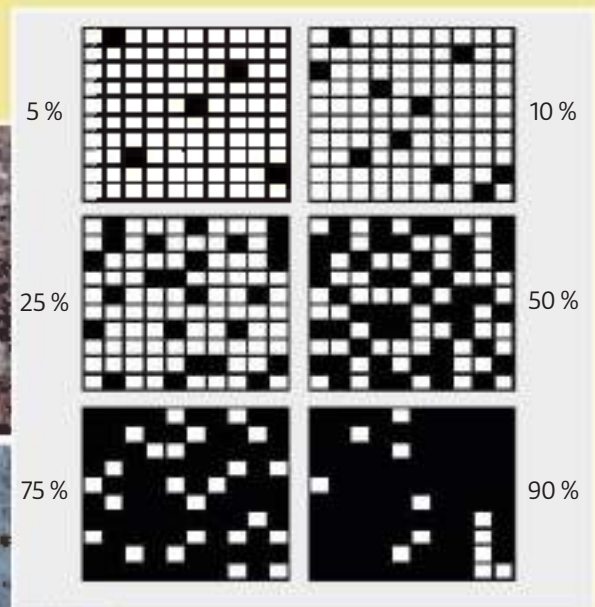
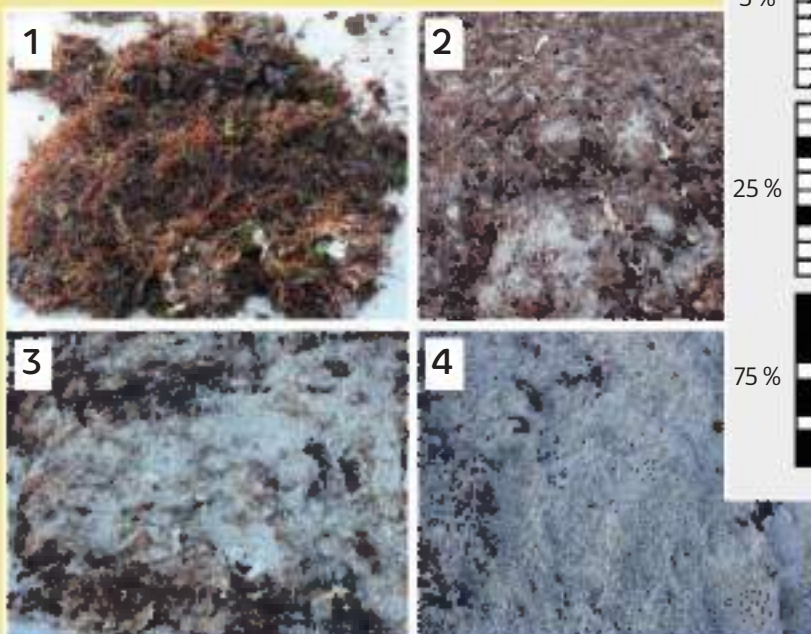


Figure 169 : grille d'estimation du recouvrement par la végétation (d'après UBS, 2015).



Figure 170 : évolution du front dunaire sur la plage de Penvins à Sarzeau (56) après l'installation du dispositif entre 2014 et 2016. Le site est désormais stabilisé et la commune de Sarzeau procède à des remplissages d'algues tous les 1 ou 2 ans pour renforcer l'ensablement du pied de dune.

Conclusion : entre 2014 et 2015, le front dunaire a été stabilisé (cf. figure 170), il s'est partiellement engraisé et la richesse végétale a été multipliée par quatre. De plus, l'aspect paysager du haut de plage est amélioré et un doublement en quinconce pour la partie basse des alignements des ganivelles permet de consolider et de réduire les ouvertures de glissements des algues. Après le succès de l'expérimentation à Penvins, le dispositif est étendu à 4 autres sites dans le Morbihan ainsi qu'à Plouhinec dans le Finistère. Le dispositif est également mis en œuvre à l'étranger avec des variantes en feuillages d'arbre et déchets de végétaux en Malaisie.

- Plage de Kersiny à Plouhinec dans le Finistère

Une première expérimentation est en cours depuis 2021 sur la plage de Kersiny, à Plouhinec, dans le Finistère (cf. figure 171). L'objectif est de pouvoir ré-engraisser la dune, d'assurer son maintien et sa pérennité et d'empêcher conjointement les piétinements et protéger la faune et la flore dunaires. Le dispositif est installé sur environ 50 m de long au pied de la dune érodée. En novembre 2021, une cinquantaine de bénévoles ont aidé les services municipaux à remplir, sur une épaisseur de 20 à 30 cm, les casiers d'algues collectées sur la plage. Les suivis réalisés selon les protocoles permettront de connaître l'efficacité du dispositif pour réengraisser la dune.



Figure 171 : casiers sur la plage de Kersiny à Plouhinec (mars 2022).

Bibliographie

Université de Bretagne Sud, 2015. *Protocoles de suivi d'une expérimentation de régénération de l'avant-dune pour la protection du littoral Morbihannais*. Projet AlgoBox, plage de Penvins (Sarzeau 56). 20 p.

Sedrati M., Cochet J., 2015. *AlgoBox : un outil écologique pour la régénération des pieds de dunes grâce aux échouages de macro-algues*. Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime, Ferrara, Italie. 5 p. hal-02381134

Commune de Plouhinec : <https://www.plouhinec.bzh/actualites/algobox> & <https://www.letelegramme.fr/finistere/plouhinec/une-cinquantaine-de-benevoles-au-ramassage-d-algues-a-la-plage-de-kersiny-a-plouhinec-24-11-2021-12873972.php>



Villeneuve-lès-Maguelone (34)

Fiche 17

Agrégat naturel issu de processus électrochimiques

Châtelaiillon-Plage (17)



Lieux d'implantation possibles

Côtes
d'accumulation



Falaises
meubles



Falaises
rocheuses



Côtes
anthropisées



Description

Les ouvrages de lutte contre l'érosion, construits en béton ou maçonnés, nécessitent des entretiens réguliers face aux dégradations opérées par la mer. Une technique de réduction de ces dégradations est proposée qui permet, par un procédé d'hydrolyse, d'agrèger les sédiments proches des ouvrages pour créer un béton naturel qui va conforter l'assise et/ou la base des ouvrages côtiers ou encore indurer les sédiments d'estran formant une dalle d'agrégat.

Intérêts

- Accroissement de la durée de vie des ouvrages (selon le concepteur du système).
- Impact écologique indiqué comme neutre.
- Facilité de mise en œuvre (selon le concepteur su système).
- Restauration autonome de la structure en cas de dégradation.
- Pas besoin d'apports sédimentaires extérieurs.

Limites

- Assez longue durée d'agrégation des matériaux.
- Pas adapté à toutes les situations : les sédiments doivent être disponibles à proximité immédiate de l'induration souhaitée.
- En l'absence de sédiments, le procédé ne peut pas fonctionner (pas de captage de sédiments en transit dans la colonne d'eau).
- En présence de vases très fines, le procédé fonctionne mal.

Perspectives

Ce procédé n'est pas compatible avec des situations d'urgence vu le temps nécessaire à la formation des agrégats. Ce procédé a vocation de réduire les coûts d'entretien et de réparation (sous réserve de disposer des coûts de ces opérations). Des suivis et études sont en cours sur les sites pilotes utilisant cette technique. L'efficacité réelle de ce procédé contre les risques d'érosion côtière reste encore à prouver.



*Figure 172 : évolution de la formation du matériau : 1) au bout de trois semaines ; 2) au bout de deux mois et 3) au bout d'un an.
(d'après Perrier, 2019)*

Nouvelle technique : béton écologique créé par processus électrochimique

Une société spécialisée dans la lutte contre l'érosion et la protection des ouvrages maritimes a développé un système de béton dit écologique. Ce système repose sur un procédé électrochimique permettant de créer in situ un agrégat naturel à partir des minéraux et sédiments présents sur place (cf. figure 173). Le conglomérat de sédiments est formé autour d'un grillage immergé sous les sédiments et dans lequel est appliqué un courant très basse tension. Ce courant entraîne la précipitation de carbonate de calcium et d'hydroxyde de magnésium. Il forme ainsi un ciment naturel qui agrège les sédiments (sable, débris coquilliers...). Tous ces éléments forment, au final, un matériau solide et très cohésif autour du grillage (cf. figure 172). Le dispositif est adapté à chaque situation. Il faudrait entre 12 et 18 mois pour générer une dalle.

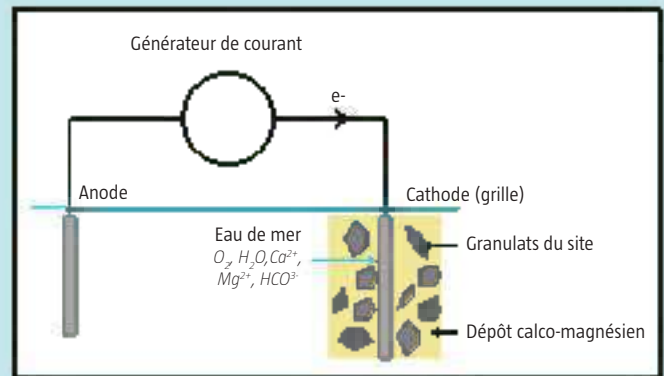


Figure 173 : schéma de principe de fonctionnement.
(d'après Turcry et al., 2017)

Ce dispositif permet de réparer ou de consolider les ouvrages côtiers. Il peut être placé en pied d'ouvrage dans le but de créer un cordon stabilisateur de l'assise de l'ouvrage et combler ou éviter ainsi les phénomènes d'affouillement. Il peut également être placé sous un ouvrage, un perré en enrochements par exemple, avant sa construction pour le renforcer. Enfin, il est possible de placer ce dispositif sur l'estran, sous le sable et parallèlement au trait de côte, dans le but de créer un bourrelet sédimentaire pour retenir le sable.

Objectifs

- Améliorer la durabilité des ouvrages en durs (digues, épis, brise-lame, mur...) de gestion du trait de côte.
- Comblent les affouillements qui menacent des ouvrages.
- Retenir les sédiments sur le haut de plage.

Expérimentations

- Chantier pilote à Châtelaiillon-Plage, en mai 2015

Le site de Châtelaiillon-Plage est le premier site-pilote et concerne une zone de plus de 4 000 m². Ce chantier est associé au programme de recherche ECOCORAIL, et répond à l'appel à projet MATETPRO (MATériaux et PROCédés pour les PROduits innovants) mené en collaboration avec le CNRS et les laboratoires universitaires de La Rochelle, Caen, Nouméa. Il est subventionné par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR).

Sur ce site (cf. figure 174), l'opération consiste à renforcer un enrochement et de retenir les sédiments apportés par la houle sur la plage. En pied d'ouvrage, il s'agit de stabiliser la base des enrochements en agrégeant les blocs et, de ce fait, de limiter les déchaussements et les glissements de la carapace de l'ouvrage.

L'installation du procédé comporte plusieurs éléments :

- un coffret à terre permet le pilotage de l'installation et génère le courant ;
- des câbles permettent d'amener le courant ;
- les supports grillagés (cathodes) sont installés en pied d'enrochements et en bas de l'estran où doivent se former des agglomérats ;
- un système immergé (anodes) est raccordé au coffret permettant de boucler le courant.

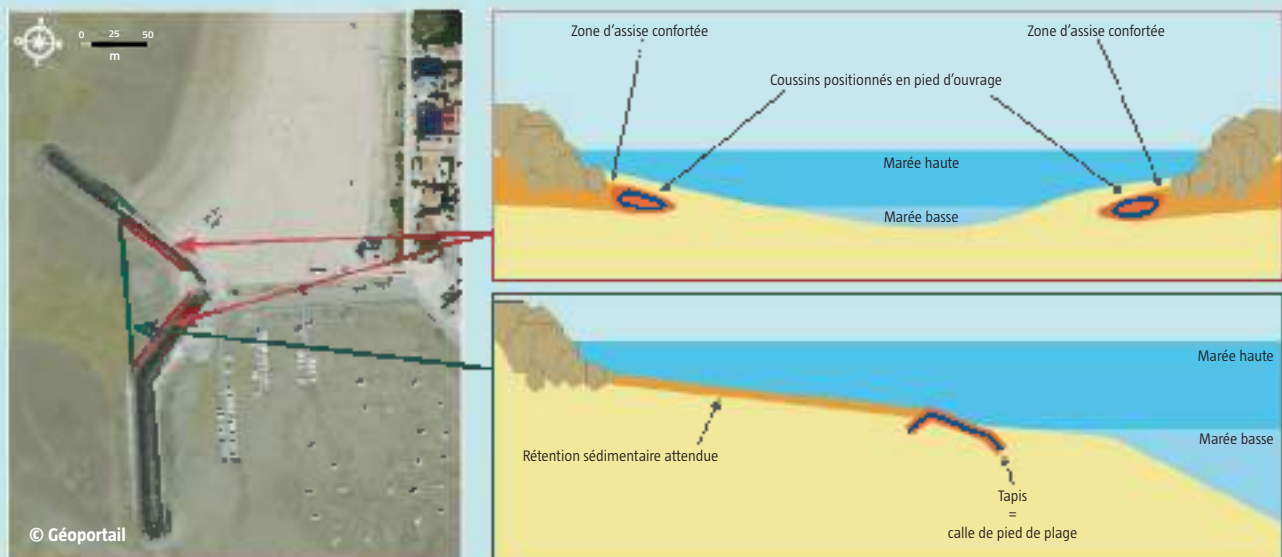


Figure 174 : position des différents dispositifs mis en place sur le site de Châtelailon-Plage. En haut : coupe transversale de la zone du chantier et position du dispositif en pied d'ouvrage ; En bas : coupe dans le profil de la zone intertidale et position du dispositif en bas de plage.
(d'après Syndicat Intercommunal du Littoral Yves-Châtelailon-Aix-Fouras, 2015)

- Lido de Sète à Marseillan

Au large de la plage du Lido, entre Sète et Marseillan dans l'Hérault, sont utilisés depuis 2013, des boudins de géotextiles immergés dans le but d'atténuer la houle et ainsi limiter l'érosion de la plage qui avait presque disparu. Des boudins de géotextiles de 4,50 m de long immergés par 4,50 m de fond et à 300 m de la côte sont installés sur un premier kilomètre en 2013, puis à nouveau sur un kilomètre en 2018.

Cependant, ces dispositifs sont fragiles et leur réparation coûteuse. En 2015, malgré leur signalisation par des flotteurs et leur localisation sur les cartes marines, la membrane de deux géotubes a été déchirée sur environ 30 m de long, probablement par l'hélice d'un bateau. Le coût du remplacement des géotubes s'est élevé à 95 000 €.

En 2021, Sète-Agglomération a expérimenté l'agrégat naturel par processus électrochimique pour constituer une protection naturelle des modules en géotextile. Un moyen de renforcer les géotubes a été développé en proposant un géotextile intégrant les fils de métal permettant la conductivité et la création de l'agrégat. Deux solutions sont expérimentées : 1) polariser un tube en entier sur le dessus pour le recouvrir du nouvel agrégat ; 2) créer un « matelas » d'agrégat et le poser sur un tube de géotextile traditionnel.

Un suivi semestriel permet alors d'estimer la croissance de l'agrégat sur une durée de deux ans.

Bibliographie

Géocorail : <http://www.geocorail.com/le-geocorail/>

Région Nouvelle-Aquitaine (procédé Géocorail) : https://www.nouvelle-aquitaine.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Chatelaillon_projet_cle09193f.pdf

Perrier A., 2019. *Du béton 100 % naturel contre l'érosion du littoral*. Article de presse. <https://marcelle.media/geocorail-beton-naturel-erosion/>

Syndicat Intercommunal du Littoral Yves-Châtelailon-Aix-Fouras, 2015. *Châtelailon-Plage : réalisation d'un chantier pilote visant à démontrer l'efficacité de la technologie GEOCORAIL pour la rétention sédimentaire et le confortement de pied d'ouvrages en enrochements*. Procédure environnementale cas par cas en vertu de l'article R122-2 du Code de l'environnement, déclaration au titre de la loi sur l'eau, notice d'incidence Natura 2000. 27 p.

Thau Infos – Le quotidien du Pays de Thau, 2022. *Des solutions innovantes de protection littorale intégrées dans l'environnement, une première mondiale technologique pour le littoral*. Lien : <http://thau-infos.fr/index.php/environnement/108286-le-developpement-de-solutions-innovantes-de-protection-littorale-integrees-dans-l-environnement-une-premiere-mondiale-pour-le-littoral-4>

Turcry Ph., Mahieux P-Y., Sabot R., Barras M., Benaissa B., Verjat N., Scharr P-J., Gascoin S., Chateigner D., Retoux R., Jeannin M., 2017. *Caractérisation d'un nouveau matériau pour la préservation du littoral : Le Géocorail*. 4 p.

Zanibellato. A., Bigare. S., Verjat. N., Andreani. P., Solesio. J., 2018. *Le Géocorail : un matériau innovant pour la lutte contre l'érosion et le renforcement d'ouvrage maritime*. XV^{èmes} Journées Nationales Génie Côtiers – Génie Civil, La Rochelle, 29 au 31 mai 2018. Editions Paralia CFL. 8 p.



Fiche 18

Dépose d'ouvrages : désenrochement

Dépose d'enrochement | Saint-Hilaire-sur-Salin



Lieux d'implantation possibles

Côtes d'accumulation



Falaises meubles



Falaises rocheuses



Côtes anthropisées



Description

Le démantèlement d'ouvrages côtiers est une opération relativement récente. Plusieurs raisons justifient de telles interventions : supprimer un ouvrage dégradé ou inutile, rétablir les dynamiques hydrosédimentaires initiales du site, faciliter l'usage récréatif d'une plage. Au même titre que l'implantation d'un nouvel ouvrage, la dépose doit faire l'objet d'une étude préalable. Les coûts sont très variés, souvent très élevés, et dépendent du type d'ouvrage concerné.

Objectifs

- Rétablir les dynamiques hydrosédimentaires naturelles du site.
- Enlever des ouvrages inutiles à la protection du trait de côte ou aggravant les phénomènes d'érosion.
- Renaturaliser un secteur littoral.

Intérêts

- Rétablissement des dynamiques hydrosédimentaires initiales du site.
- Amélioration de l'aspect visuel du site.

Limite

- Selon les cas, difficulté à retrouver l'état original du site avant l'installation des ouvrages.

Perspectives

Des ouvrages côtiers en durs (digues, enrochements, épis...) implantés parfois dans des situations de crise peuvent se révéler inutiles aujourd'hui. Certaines peuvent aussi aggraver l'érosion littorale à leurs extrémités et de part et d'autre sur des linéaires côtiers parfois importants (effet de bout). La dépose des ouvrages impliqués peut alors être une solution. Ces opérations sont encore rares mais les réflexions se multiplient en France comme en Finistère.

Retrait de cordon d'énrochements en haut de plage

Expérimentations

- Communauté de communes du Pays de Saint-Gilles-Croix-de-Vie : désénrochement

L'opération concerne cinq sites sur trois communes différentes : Les Salins à Saint-Hilaire-de-Riez ; La Paterne et Kerlo à Saint-Gilles-Croix-de-Vie ; « Dunes 1 » et « Dunes 2 » à Brétignolles-sur-Mer.

Les cordons d'énrochements de haut de plage positionnés le long du trait de côte sur ces sites protègent les accès aux plages et plusieurs postes de secours. Aucun autre enjeu n'est protégé par ces ouvrages.

Ces énrochements forment des avancées proéminentes par rapport à la ligne de rivage du fait d'une érosion renforcée par les effets de bout générés à leurs extrémités. De plus, ils subissent l'assaut des vagues chaque hiver et nécessitent d'être repris avant chaque période estivale. Enfin, la disposition des accès aux plages, qui traversent la dune perpendiculairement au rivage, favorise l'érosion et la déflation éolienne de la dune.

Les objectifs des projets de dépose des énrochements sont :

- la suppression des points « durs » formés par les énrochements. Les blocs seront réutilisés pour réparer d'autres ouvrages ;
- la renaturation de la dune ;
- la création de nouveaux accès aux plages de manière à limiter le piétinement de la dune et limiter son érosion ;
- le déplacement des postes de secours, placés initialement au sommet des énrochements ; ceux-ci seront reconstruits sur pilotis en bois, sur le haut de plage sur 3 sites (La Paterne, Dunes 1 et Dunes 2).

La première opération, qui a servi de test en amont du projet, a eu lieu sur le site de Saint-Hilaire-de-Riez en 2016. L'énrochement, installé dans les années 1970, a été enlevé, le trait de côte réaligné et le cordon dunaire reprofilé. Un nouvel accès à la plage a été créé obliquement par rapport au trait de côte. Des opérations de couverture de débris végétaux ont été réalisées pour favoriser la végétalisation du site (cf. figure 175).



Figure 175 : évolution du site des Soixante-Bornes à Saint-Hilaire-de-Riez (85) entre 2016 (à gauche) et 2019 (à droite).

A Brétignolles-sur-Mer, sur les sites « Dunes 1 » et « Dunes 2 », les travaux ont démarré en 2021 (cf. figure 176). Les étapes du projet sont les suivantes :

- retrait des clôtures et des ganivelles ; évacuation du béton, du tout-venant et des autres matériaux utilisés pour les anciens accès à la plage et au poste de secours ;
- enlèvement des énrochements protégeant les postes de secours situés à leur sommet ;

- réalignement du trait de côte : le sable situé entre l'enrochement et le trait de côte est déblayé pour effacer la proéminence puis il est trié pour conserver uniquement le sable dépourvu d'impuretés. Il est ensuite utilisé pour reprofiler la dune et combler l'accès à la plage ;
- création d'un nouvel accès à la plage de 3 m de large afin de permettre le passage de véhicule léger de secours, il est oblique au trait de côte afin de limiter la déflation éolienne ;
- réimplantation, en arrière de la dune, des regards et réseaux retirés lors de la première étape afin d'alimenter le poste de secours par des connexions souples en période estivale ;
- revégétalisation de la dune par des semis de graines, des plantations d'oyats récupérés avant les travaux. Des branchages sont également déposés sur le sable nu sur les points hauts des dunes. Ces actions vont favoriser la végétalisation de la dune, limiter l'érosion éolienne et le piétinement ;
- mise en place de clôtures et de ganivelles pour canaliser le public sur le nouvel accès à la plage et autour de la dune pour éviter son piétinement ;
- sondage du sol (pour les fondations) puis construction de la plateforme de 32 m² positionnée à 4,2 m NGF (cote supérieure à la PHMA) sur pilotis pour accueillir le poste de secours pendant la saison estivale (le poste est retiré pendant l'hiver).

Dune 1 | Brétignolles-sur-Mer
Situation actuelle



Dune 1 | Brétignolles-sur-Mer
Situation projetée

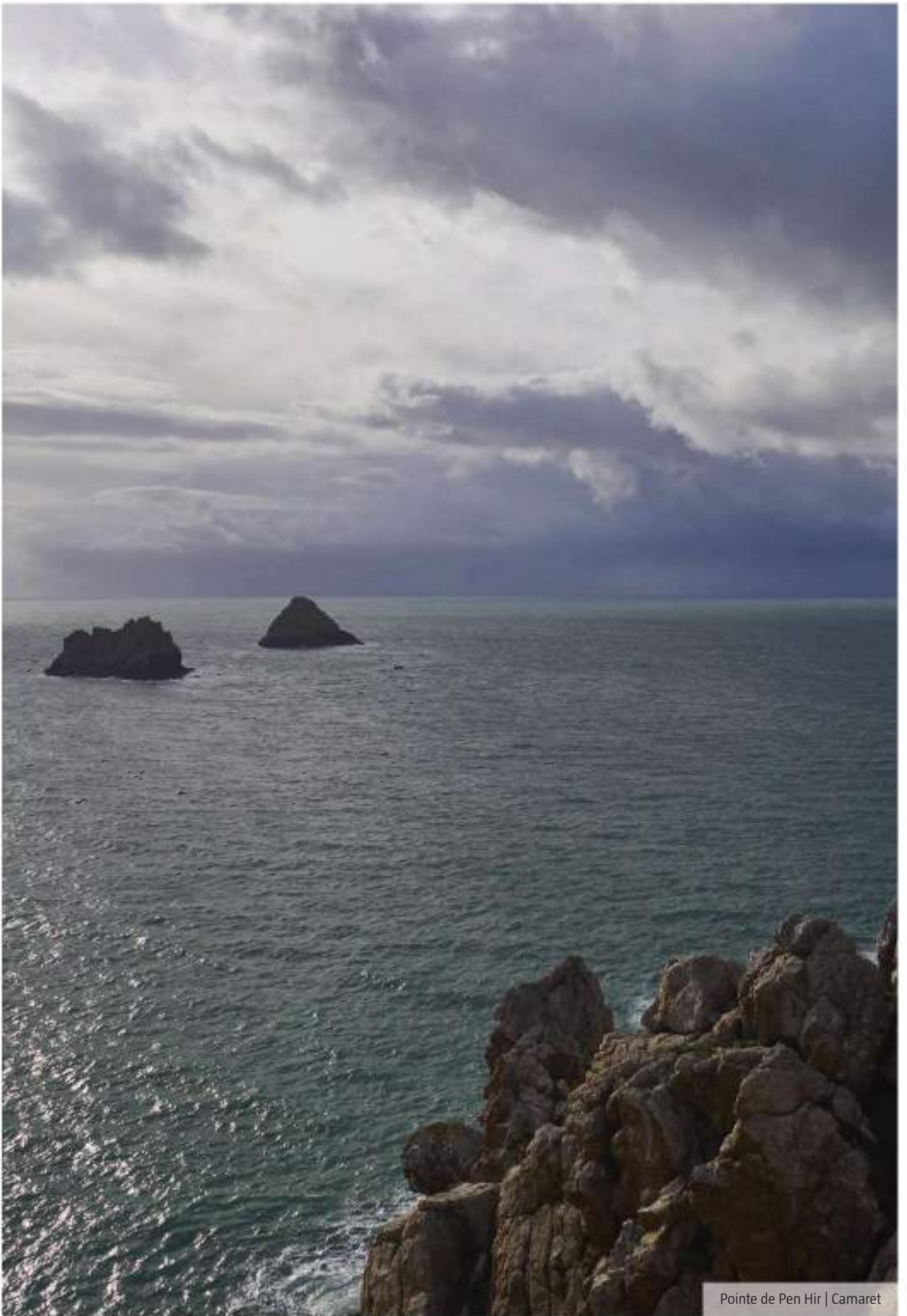


Figure 176 : situation avant et après la dépose des enrochements de « Dunes 1 », à Brétignolles-sur-mer (85).
(d'après Communauté de communes du Pays de Saint-Gilles-Croix-de-Vie, 2021)

Bibliographie

Communauté de communes du Pays de Saint-Gilles-Croix-de-Vie (2020). *Réalisation des travaux de recul des postes de secours pour les communes de Saint-Hilaire-de-Riez, Saint-Gilles-Croix-de-Vie et Brétignolles-sur-Mer : proposition de délégation de maîtrise d'ouvrage*. Décision du Président n° 2020-108. 3 p.

Communauté de communes du Pays de Saint-Gilles-Croix-de-Vie (2021). *Projet d'effacement d'enrochements et de mise en place de plateforme sur pilotis à Brétignolles-sur-Mer. Demande de permis d'aménager*. Annexes. 57 p.



Pointe de Pen Hir | Camaret

GLOSSAIRE

A

Accrétion

Extension du continent sur la mer provoquée par un dépôt de matière dans la zone côtière.

AD

Après le jour de naissance du Christ (JC) : temps historiques.

Adaptation

Démarche d'ajustement au climat actuel et futur, ainsi qu'à ses conséquences. Dans les systèmes humains, il s'agit d'atténuer ou d'éviter les effets préjudiciables et d'exploiter les quelques effets bénéfiques.

Aléa

Événement d'origine naturelle ou humaine, potentiellement dangereux, dont on essaie d'estimer la magnitude et la probabilité d'occurrence par l'étude des périodes de retour ou des prédispositions du site.

Altérite

Toute roche résiduelle provenant de l'altération d'une roche antérieure.

Amaigrissement

Perte d'une quantité de matériaux sédimentaires constituant une plage. Phénomène souvent remarqué sur les plages en hiver quand le sable redescend vers l'avant-plage.

Aménité

Éléments naturels de l'espace présentant un attrait permanent ou temporaire pour les habitants. Le terme d'aménité recouvre le plus souvent les éléments du paysage ou du milieu (climat...), perçus comme « naturels » et exerçant une attractivité touristique ou résidentielle. Le sens peut être étendu aux aménagements destinés à faciliter l'accès à ces éléments.

Amont dérive

Portion de littoral située au-dessus d'un point d'observation selon le sens dominant du courant de dérive littorale (analogie avec un cours d'eau : la zone « d'amont dérive » de la plage s'oppose à la zone « d'aval dérive » dans le sens de déplacement principal du sable).

Anthroposphère

Ensemble et résultats des activités produites par l'être humain.

Apports terrigènes

Éléments d'origine continentale intervenant dans la sédimentation marine.

Arrière-plage

Partie haute de la plage formée de matériaux accumulés au-dessus du niveau des pleines mers.

Artificialisation

L'artificialisation du sol, d'un milieu, d'un habitat correspond à la perte de leurs qualités de milieu naturel. Pour un linéaire côtier, proportion d'ouvrages (de protection contre l'érosion, portuaires, militaires...) construits par rapport au linéaire naturel.

Atmosphère

Enveloppe gazeuse entourant une planète, en particulier la Terre.

Autorité gemapienne

Structure publique exerçant la compétence Gemapi en propre, par délégation ou transfert.

Aval dérive

Portion de littoral située sous le sens dominant du courant de dérive littorale parallèle à la plage par rapport à un point d'observation (comme pour un cours d'eau).

Avant-plage

Partie d'un littoral, immédiatement en dessous du niveau des basses mers.

B

Barre sableuse

Accumulation de sable sous forme de reliefs géométriques situés sur la plage sous-marine et formés par l'action des vagues à la côte.

Bascule des vents

Changement de direction des vents dominants, généralement en relation avec un changement de configuration météorologique dominant sur l'Atlantique Nord (voir NAO).

Bathymétrie

Mesure des profondeurs marines (topographie sous-marine).

Before Christ (BC)

Période préhistorique ; référentiel surtout utilisé par les archéologues. On soustrait 1950 aux datations obtenues par radiocarbone.

Berne

Accumulation sableuse longitudinale constituant un bourrelet en bas de plage, avant la zone du jet de rive. La berme se forme plutôt durant les périodes de beaux temps, elle disparaît durant les tempêtes.

Bilan sédimentaire

Pour une plage, c'est le rapport entre les entrées et les sorties des sédiments. Si le bilan est équilibré, la plage est stable, s'il est positif, la plage gagne des sédiments, elle s'engraisse. S'il est négatif, la plage perd des sédiments, il y a amaigrissement.

Bioérosion

Action des organismes dégradant un substrat.

Before Present (BP)

Datation absolue par rapport à un référentiel : 1950. Généralement utilisé pour des dates plus anciennes que l'an 0.

Budget sédimentaire

Bilan des apports et pertes de sédiments sur une zone.

C

Catastrophe naturelle (en géographie)

Une catastrophe naturelle est caractérisée par l'intensité anormale d'un agent naturel (inondation, submersion marine, tempête...) lorsque les mesures habituelles à prendre pour prévenir ces dommages n'ont pu empêcher leur survenance ou n'ont pu être prises. Un arrêté interministériel constate l'état de catastrophe naturelle. Il permet l'indemnisation des dommages directement causés aux biens assurés, en vertu de la loi du 13 juillet 1982, relative à l'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles.

Cellule hydrosédimentaire

Portion du littoral ayant un fonctionnement sédimentaire relativement autonome par rapport aux portions voisines. Les limites d'une cellule hydrosédimentaire sont, soit des ouvrages maritimes, soit des obstacles naturels (caps, embouchures...) importants qui bloquent ou modifient le déplacement du sable sous l'action des houles (dérive littorale). La microcellule est un sous-ensemble de la cellule qui a pour limites des ouvrages ou des éléments naturels impactant moins fortement la dérive littorale que les limites de cellules.

Le secteur correspond à un ensemble de cellules limité par des éléments interrompant totalement la dérive littorale.

Changement climatique

Désigne l'ensemble des variations des caractéristiques climatiques en un endroit donné, au cours du temps : réchauffement ou refroidissement.

Changement global

Ensemble des modifications environnementales qui se produisent à l'échelle mondiale et qui ont des conséquences majeures sur la vie des hommes et des écosystèmes. Le changement global comprend donc le changement climatique ainsi que ses effets sur les écosystèmes

(déplacement d'espèces, montée des océans, accélération de la croissance des végétaux...).

Cinématique du trait de côte

Étude des changements de la position de la ligne de rivage en termes de recul (érosion) ou d'avancée (progradation). Le terme de « trait de côte » revêt ici une définition bien particulière. Le trait de côte « géomorphologique » repose obligatoirement sur une limite « fixe » que l'on peut suivre dans le temps et dans l'espace.

Climat

Synthèse des conditions météorologiques régnant durant une période suffisamment longue (30 années consécutives, c'est-à-dire une normale) pour qu'il soit possible d'établir des propriétés statistiques des variables climatiques (températures, précipitations, vitesse du vent...).

Confortement dunaire

Opération ponctuelle visant à restaurer le profil d'équilibre d'un cordon dunaire par un apport de sable (généralement par camion ou bateau) provenant majoritairement de la même cellule hydrosédimentaire.

Cette opération se distingue du rechargement dunaire qui vise à entretenir régulièrement le profil de la dune mise en œuvre lors du confortement.

Cordons littoraux

Cordons sédimentaires construits principalement par l'action de la houle en bordure ou à proximité de la côte. Le cordon littoral peut être appuyé à la côte ou libre en étant rattaché à la côte par une seule extrémité.

Cross shore

Caractérise des mouvements perpendiculaires à la côte.

Cryoclastie

Fragmentation des roches due à la succession des gels et dégels.

D

Déflation éolienne

Érosion provoquée par le vent.

Démaigrissement

Ablation d'une quantité notable des matériaux constituant une plage.

Dérive littorale

La dérive littorale consiste en un transport de sédiments le long du littoral lié à l'action conjointe des vagues, du vent et des courants côtiers.

Détritique

Qui est formé au moins partiellement de débris.

DGPS

Le système DGPS (Differential Global Positioning System) repose sur le même principe que le système GPS qui, grâce à des satellites, permet de fournir une information en tout point du globe terrestre en latitude, longitude et altitude. Le système DGPS, apporte, une plus grande précision de positionnement car il corrige les écarts (les différences d'où son nom) liés au brouillage des données transmises entre l'appareil et les satellites lors de la traversée de l'atmosphère. Cette technique permet d'atteindre des positionnements précis de l'ordre du centimètre.

Diagnostic territorial

Démarche composée de quatre phases : état des lieux, identification des enjeux, choix de stratégies, propositions d'actions. Elle répond à quatre finalités : porter un jugement sur l'état du territoire et sur la capacité des acteurs à se mobiliser, initier un changement dans la dynamique du territoire et dans le comportement des acteurs.

Le document récapitulatif peut-être constitué des données géographiques (physique et humaine), démographiques, économiques, ..., relatives à un territoire donné. Certaines des données peuvent y être cartographiées lorsqu'elles présentent une distribution spatiale variable sur le territoire. Le diagnostic peut se contenter de présenter les faits et les

observations effectuées sans forcément d'analyse ou de recherche de synthèse.

DICRIM

Document d'information réglementaire établi par le maire qui réunit les informations nécessaires à la mise en œuvre de l'information préventive des habitants d'une commune sur les risques majeurs susceptibles de se produire sur le territoire communal.

Directive européenne inondation

« Directive 2007/60/CE du Parlement Européen et du Conseil du 23 octobre 2007, relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation » et qui définit une stratégie de prévention des inondations en Europe. Cette Directive demande la production de plan de gestion des risques d'inondations sur des bassins versants sélectionnés au regard de l'importance des enjeux exposés.

Cette Directive a été transposée en droit français par les lois « Grenelle 1 » et « Grenelle 2 » et complétée par le décret du 2 mars 2011 relatif à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation. Il en résulte la production, à l'échelle des grands bassins versants hydrographiques, de Plans de gestion du risque inondation (PGRI) mis à jour tous les six ans.

Domaine public maritime

Le domaine public maritime comprend le rivage de la mer, du sol et du sous-sol de la mer jusqu'à la limite des eaux territoriales. La limite est fixée « au point jusqu'où les plus hautes mers peuvent s'étendre en l'absence de perturbations météorologiques exceptionnelles » (CE, arrêt Kreitmann, 12/11/1973).

NB : Attention le DPM peut néanmoins par incorporation des lais et relais s'étendre au-delà de cette limite.

Domage

- En géomorphologie : dégât sur les éléments naturels, les biens ou les personnes.
- En droit : atteinte matérielle à un bien, ou physique ou morale à une personne (préjudice).

Donnée géoréférencée

Donnée localisée dans un système de référence géographique et permettant d'en restituer la localisation et les dimensions en unités du monde réel (par exemple en unité métrique).

Dynamique morphosédimentaire

Changements des formes (morpho) et de la nature sédimentologique (sédimentaire) des cordons littoraux.

Le terme de dynamique suppose que l'on tienne compte des forçages intervenant dans le changement morphosédimentaire ; il peut s'agir de forçages naturels (houle, courant, marée, vent, pluie, gel...) ou anthropiques (l'action de l'Homme sur le milieu naturel). La dynamique morphosédimentaire peut aussi faire référence aux changements du bilan sédimentaire d'un cordon littoral. Dans ce cas il s'agit de faire, comme pour un « bilan comptable », la somme du volume de matériel enlevé (-) et apporté (+) par la mer ou le vent.

E

Effet de bord

Cf. « effet de bout ».

Effet de bout

Érosion constatée à l'extrémités d'un ouvrage (murs, perrés, enrochements...) liée à la dissipation de l'énergie des vagues lors de leur déferlement sur celui-ci. Par cet effet, la présence d'un ouvrage peut provoquer ou aggraver un problème d'érosion au niveau de côtes qui étaient auparavant en sécurité.

Enjeu

Valeur humaine, économique ou environnementale d'éléments exposés à l'aléa.

Élévation du niveau marin

L'élévation du niveau marin, appelée également eustatisme, désigne le phénomène responsable des variations générales du niveau moyen des mers (montée ou baisse) de même amplitude dans toutes les régions du

globe. Les oscillations des plans d'eau liées aux tempêtes, houles, tsunamis et aux marées en sont exclues.

Engraissement

Augmentation de volume des matériaux de plage.

Épi

Mur ou jetée construit en pierre ou en bois à partir d'une berge ou d'un rivage, coupant le courant à un endroit donné afin de modifier sa trajectoire.

Érosion

Ensemble des phénomènes extérieurs à l'écorce terrestre (phénomènes exogènes) qui contribuent à modifier les formes créées par les phénomènes endogènes (volcanisme, tectonique). Pour le littoral, processus qui conduit à la perte de volume de matériel ; pour les formations constituant le rivage, recul du trait de côte. Pour les côtes rocheuses : processus irréversible.

Pour les accumulations sédimentaires littorales, processus qui peut être temporaire et auquel succède des périodes d'accumulation. Pour la plage et l'avant-plage : démaigrissement.

Estran

Zone qui subit les marées, entre les basses mers et les pleines mers de vive-eau.

Établissements publics de coopération intercommunale (EPCI)

Regroupements de communes ayant pour objet l'élaboration de « projets communs de développement au sein de périmètres de solidarité ». Exemples d'EPCI : les communautés urbaines, communautés d'agglomération, communautés de communes, syndicats d'agglomération nouvelle, syndicats de communes et les syndicats mixtes.

Établissements recevant du public (ERP)

Bâtiments dans lesquels des personnes extérieures sont admises (que l'accès soit payant ou gratuit, libre, restreint ou sur invitation). Les ERP sont classés en catégories (établies sur la base du nombre de personnes accueillies au sein du bâtiment) qui définissent les exigences

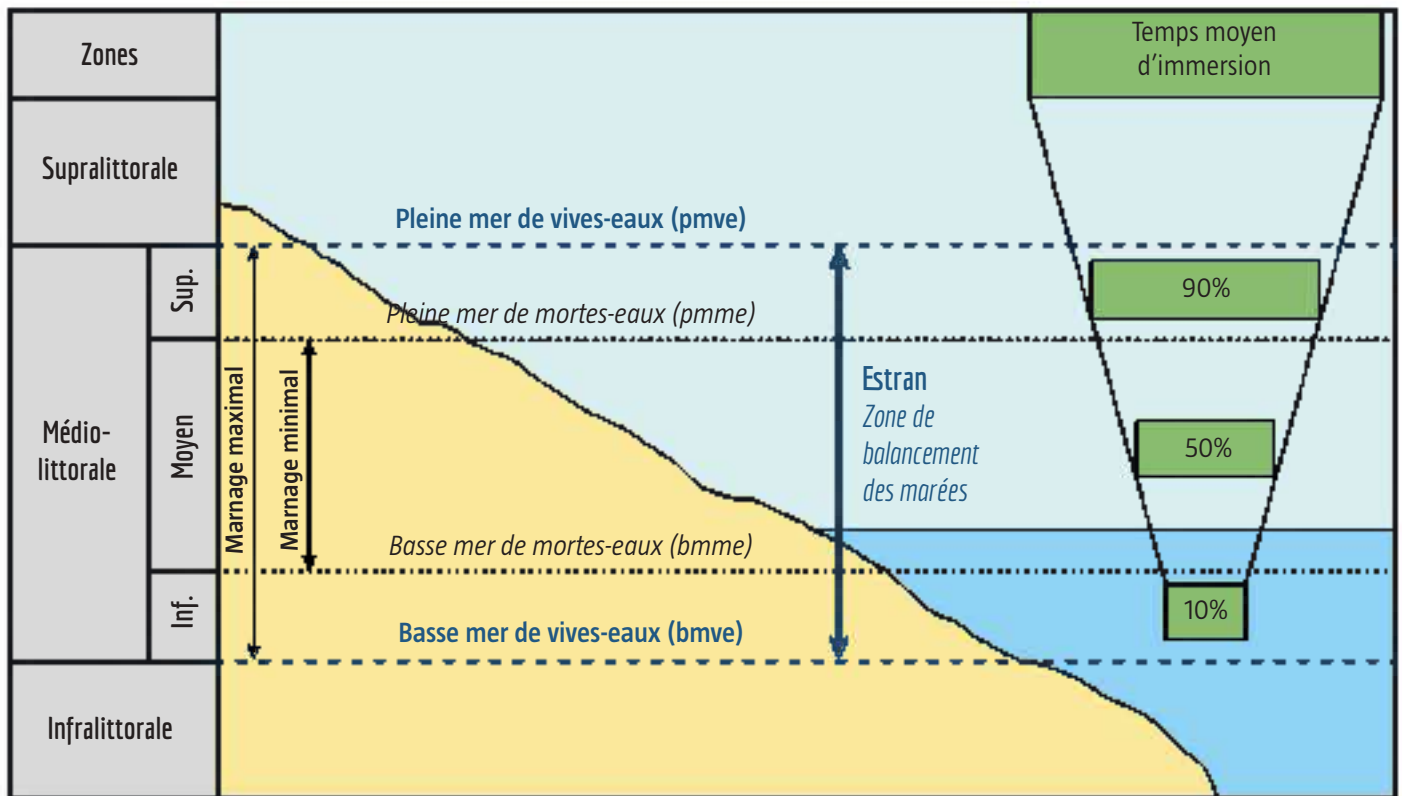


Schéma de la frange littorale
(d'après Romain Péden, 2016)

réglementaires applicables (type d'autorisation de travaux ou règles de sécurité par exemple) en fonction des risques.

Événements météorologiques et marins extrêmes/paroxysmaux

Un événement météorologique extrême est défini par rapport à une valeur moyenne d'un ou plusieurs paramètres définissant le climat ou la météorologie. Cet événement, par essence rare, se définit par des variables très éloignées de cette moyenne. Cela renvoie à une notion de seuil à partir duquel les dégâts perpétrés sur le littoral (en termes d'érosion, de submersion marine, de dégâts matériels, ou de pertes humaines) prennent un caractère exceptionnel. L'événement météo-océanique extrême peut également être défini à partir d'un seuil statistique exprimé par exemple en périodes de retour. C'est cette démarche qui est retenue pour la définition des niveaux de référence en matière submersion marine pour l'élaboration des PPR-littoraux.

Dans le contexte du changement climatique, un événement d'une puissance rare il y a vingt ans pourra devenir commun et donc perdre son statut d'événement extrême.

Exondation

Sortie, hors de l'eau, d'une terre inondée

Exposition

Variable qui permet de mesurer et de classer les risques auxquels une société est exposée. Elle se mesure en degré ou niveau d'exposition et permet de définir des zonages en fonction de la probabilité d'occurrence d'un phénomène naturel et de l'intensité de ses effets prévisibles.

F

Facteurs forçants

Champ de forces extérieures qui agissent sur le milieu et provoquent des mouvements ou des changements d'état.

Frange littorale

Étendue comprise entre les limites physiques, continentale et marine, du domaine géomorphologique littoral. Ces limites sont très théoriques et sont fixées vers la terre là où les influences marines cessent d'exister et vers la mer, là où les influences continentales n'existent plus. La frange littorale correspond à l'ensemble des trois domaines supra, médio, et infralittoral :

- le domaine supralittoral est soumis à l'action des processus subaériens (vent, pluie, ruissellement...). Il s'étend du niveau des plus hautes mers de vive-eau à la zone où le système dunaire s'arrête vers la partie continentale.
- le domaine médiolittoral correspond à la zone soumise à l'action de la marée ; elle est comprise entre les niveaux des plus basses et des plus hautes mers des plus fortes marées astronomiques.
- la zone infralittorale s'étend jusqu'à la zone de déferlement des vagues ; c'est au sein de cet espace que les changements morphologiques et les transferts sédimentaires sont les plus importants. (cf. schéma)

Forçage

Cf. « facteurs forçants ».

G

Gélifluction (ou géelifluction)

Mouvement lent, provoqué, lors du dégel, par la lente imbibition de matériaux argilo-limoneux par une

eau fournie par la fusion du manteau neigeux ou de lentilles de glace interstitielles, affectant des matériaux riches en éléments colloïdaux possédant donc une forte capacité d'absorption d'eau après qu'ils ont franchi la limite de liquidité.

Gélifraction

Cf. « cryoclastie ».

Géomorphologie

Étude des formes et de l'évolution du relief terrestre.

Gestion (des risques littoraux)

Pratiques, politiques, et outils (juridiques et administratifs) permettant de définir les risques littoraux, de les prévenir et de déterminer les moyens à mettre en œuvre pour les contrer et/ou les supporter ainsi que l'évaluation des actions mises en œuvre.

Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations (Gemapi)

La gestion des milieux aquatiques et la prévention des inondations est une compétence confiée aux intercommunalités (métropoles, communautés urbaines, communautés d'agglomération, communautés de communes) par les lois de décentralisation n° 2014-58 du 27/01/2014 et n° 2015-991 du 07/08/2015, depuis le 01/01/2018. La compétence Gemapi comprend les 4 missions suivantes parmi les 12 de l'article L. 211-7 du Code de l'environnement :

- mission 1 - l'aménagement d'un bassin ou d'une fraction de bassin hydrographique ;
- mission 2 - l'entretien et l'aménagement d'un cours d'eau, canal, lac ou plan d'eau, y compris les accès à ce cours d'eau, à ce canal, à ce lac ou à ce plan d'eau ;
- mission 5 - la défense contre les inondations et contre la mer ;
- mission 8 - la protection et la restauration des sites, des écosystèmes aquatiques et des zones humides ainsi que des formations boisées riveraines, l'aménagement d'un bassin hydrographique.

Gestion intégrée des risques littoraux

Gestion des risques littoraux à l'échelle d'une bande côtière qui vise à prendre en compte un ensemble de composantes : environnementales, sociales, économiques et spatiales.

Granulométrie

Taille des éléments sédimentaires et par extension technique d'analyse des sédiments meubles (argile, limons, sable, galets...) consistant à classer les grains selon leur dimension et leur répartition.

H

Holocène

Époque chaude dans laquelle nous vivons, généralement subdivisée en chronozones. L'Holocène est un interglaciaire, période chaude qui suit le dernier glaciaire du Pléistocène (dénommé Weichsélien en Europe du nord) qui a débuté il y a pratiquement 11 700 ans avec l'installation des courants marins tels que nous les connaissons actuellement. Pendant cette période, le climat s'est réchauffé pour atteindre un optimum 2°C plus chaud que l'actuel vers 8 000 ans BP et la France est couverte de forêts. Le niveau marin est remonté de -40 m à environ -7 m il y a 6 000 ans BP.

Houle

Oscillations régulières de la surface de la mer, observées en un point éloigné du champ de vent qui les a engendrées.

Hydrodynamisme

L'hydrodynamisme fait référence à l'énergie produite par l'hydrosphère (houle, courant ou marée) à un moment donné. Lors des tempêtes, l'énergie des vagues est importante car les vents très violents génèrent une forte houle. On parle alors d'un fort hydrodynamisme ayant pour conséquence l'érosion des plages ou la submersion des côtes basses. En revanche, en période de temps calme, l'hydrodynamisme est faible car la houle est peu énergétique. Dans ces conditions, on observe plutôt un engraissement sédimentaire des cordons littoraux (on parle alors de régénération des cordons littoraux).

Hydrosphère

Zones du globe terrestre occupées par de l'eau sous toutes ses formes (liquide, glace et neige, vapeur).

I

Inlandsis

Glacier de très grande étendue (dont la superficie dépasse 50 000 km²) recouvrant la terre ferme et qui peut atteindre plusieurs milliers de mètres d'épaisseur. Ils peuvent se prolonger à la surface de la mer en formant des barrières de glace.

Intertidal

Se dit de l'espace côtier compris entre les limites extrêmes atteintes par la marée.

J

Jet de rive

Masse d'eau projetée sur un rivage vers le haut de l'estran par l'action de déferlement des vagues (swash en anglais).

L

Levé

Un levé, encore appelé levé de terrain topo-morphologique ou topo-bathymétrique, désigne la mesure de la topographie de la (ou d'un des compartiments de la) frange littorale. La topographie renvoie nécessairement à la morphologie car l'objectif d'un levé est de mesurer les formes qui constituent cette topographie ; on parle alors de topo-morphologie pour les zones émergées, et de topo-bathymétrie pour les secteurs immergés. Plusieurs outils allant du tachéomètre, au DGPS, au LIDAR, ou au sondeur multifaisceaux, sont utilisés pour réaliser ces mesures topographiques. De même, la topographie peut être mesurée le long d'un transect (ou d'une radiale), perpendiculaire au trait de côte, permettant ainsi de récupérer un profil topographique. Elle peut aussi être mesurée sur une surface, dans ce cas la restitution se fait sous la forme d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT).

Light Detection And Ranging (LIDAR)

Système de télédétection par laser. Technologie basée sur l'émission d'un faisceau laser dans le visible l'ultraviolet et l'infrarouge selon le même fonctionnement que le radar qui lui travaille dans le domaine des ondes radios. L'utilisation la plus courante du Lidar est la mesure de distance permettant de calculer des Modèles Numériques de Terrain (MNT). Les Lidars peuvent être positionnés au sol ou bien être embarqués dans différents vecteurs comme les avions, les hélicoptères ou les drones.

Ligne de rivage

Cf. trait de côte pour définition en droit.

- en télédétection : on distingue généralement le trait de côte (ligne de plus haute mer de vive eau) et la ligne de rivage qui correspond au niveau instantané atteint par la mer, tel qu'identifiable sur une image satellitaire ;
- en géographie : domaine où se déplace la ligne de rivage qui est la ligne de contact instantanée entre l'atmosphère, l'hydrosphère et la lithosphère. Le terme est étendu à l'espace influencé par les forces marines agissant au contact du continent. (d'après P. Georges et F. Verger, 2006).

Loess

Roche sédimentaire détritico-argileuse formée par l'accumulation de limons issus de l'érosion éolienne, dans les régions désertiques et périglaciaires.

Loi dite « Littoral »

« Loi n° 86-2 du 3 janvier 1986 relative à l'aménagement, la protection et la mise en valeur du littoral ». Ce texte a inséré au Code de l'urbanisme (Titre IV du Livre I), un chapitre dédié intitulé « Dispositions particulières au littoral », en faisant du territoire de la commune littorale, son champ d'application matériel.

Son impact dans le droit de l'urbanisme (littoral) est très important et s'articule essentiellement autour de principes et notions relatives à l'extension de l'urbanisation sur l'ensemble du territoire communal concerné : capacité d'accueil,

coups d'urbanisation, notion de village existant, de hameau nouveau intégré à l'environnement, ou encore d'espace remarquable et caractéristique. D'autres dispositions ne vont s'appliquer qu'à certaines parties du territoire de la commune littorale : bande des 100 mètres, espaces proches du rivage, plages et espaces naturels... Depuis 1986, l'impact de la loi « littoral » ne se limite pas à la seule urbanisation mais également la gestion du rivage et de la domanialité publique maritime, le développement de nouveaux usages, la gestion des risques littoraux (intégration des dispositifs de planification dédiée dans les documents d'urbanisme locaux – PLU...). Elle a suscité en doctrine et en jurisprudence de très nombreux débats (espace proche, continuité, territoire communal en mer...).

Long-shore

Direction de déplacement (de l'eau et des sédiments) latérale au rivage et provoquée par les vagues lorsqu'elles rencontrent le rivage sous un angle oblique.

M

Magnitude

Mesure de l'énergie libérée par un aléa.

Marnage

Différence de niveau entre la marée haute et la marée basse d'une marée.

Modèle Numérique de Terrain (MNT)

Représentation modélisée de la topographie d'une zone terrestre en trois dimensions, basée sur la mesure de l'altitude de points sur le terrain. Il s'agit d'une représentation, par interpolation des altitudes entre les points mesurés, contrainte par des lignes de rupture de pente (bordure de falaise, de plateau, ligne sommitale de cordon littoral par exemple) et des points caractéristiques (sommets, fond de dépression). Plus le nombre de points mesurés et de lignes de contrainte est grand et plus le calcul du MNT s'approche de la réalité du terrain.

Mobilité (du trait de côte)

Toute évolution vers la mer (avancée) ou vers le continent (recul) de la position du trait de côte.

Modélisation

La modélisation est une représentation simplifiée d'un objet ou d'un phénomène. Les modèles peuvent être issus d'expériences ou de calculs mathématiques numériques.

La modélisation est la représentation d'un système par un autre, plus facile à appréhender. Elle repose sur une schématisation des conditions réelles. Elle permet de comprendre, de décrire et quantifier les processus en jeu et éventuellement de tester sommairement les solutions proposées.

Morphodynamique

Discipline consacrée à l'étude des formes du littoral et à leur évolution sous l'action de facteurs hydrodynamiques et éoliens.

Morphogénique

Qualifie ce qui a trait à la morphogénèse (cf. « épisode morphogène »).

Morphosédimentaire

Le terme de morphosédimentaire renvoie aux formes (morpho) et la nature sédimentologique (sédimentaire) des cordons littoraux ou de la frange littorale. Adjectif caractérisant les évolutions de la morphologie de surface associées au déplacement des masses sédimentaires au sein d'une accumulation littorale.

N

Niveau marin

Le terme niveau marin peut représenter deux choses bien distinctes : soit la cote instantanée de la mer en un point précis (aussi appelé « niveau d'eau ») qui augmente en période de tempête par exemple, soit le niveau général de la mer et des océans qui tend à s'élever à long terme dans un contexte de changement climatique. Les deux acceptions correspondent à des échelles spatiales et temporelles très différentes : les « niveaux d'eau » pour l'estimation des cotes maximales que la mer

peut atteindre en cas de tempête pas exemple (i), et les variations eustatiques pour anticiper les effets du changement climatique sur le niveau marin à long terme (ii).

- (i) La cote maximale que peut atteindre l'eau de mer à la côte est un paramètre essentiel lorsqu'il s'agit d'estimer l'aléa submersion (franchissement, débordement) et érosion (recul du trait de côte, brèches...). Cette hauteur exceptionnelle permet, par exemple, de dimensionner les ouvrages de protection contre la mer et, associée à une topographie fine, de repérer les secteurs du trait de côte propices aux franchissements et les zones basses susceptibles d'être submergées ponctuellement. Mais l'estimation de ce niveau maximum pose de nombreux problèmes méthodologiques liés à la dynamique marine créant une extrême variabilité spatiale et temporelle des hauteurs d'eau.
- (ii) Dans un contexte de réchauffement climatique, l'hypothèse la plus plausible demeure la tendance au maintien, voire à l'accélération, de la remontée eustatique. Les estimations publiées par le GIEC en 2019 font état, à l'échelle planétaire, d'une élévation du niveau marin pour la fin du XXI^{ème} siècle comprise entre 40 et 100 cm. Les deux phénomènes étant liés, les mouvements eustatiques prévus ne peuvent que relever les hauteurs d'eau extrêmes actuelles.

O

Orientations d'aménagement et de programmation (OAP)

Intentions et orientations d'aménagement qui expriment, de manière qualitative, les ambitions et la stratégie d'une collectivité territoriale en termes d'aménagement. Les OAP peuvent porter sur un secteur donné du territoire (OAP dites de «secteurs» ou de «quartier») ou avoir une approche plus globale sur un enjeu spécifique (OAP dites «thématiques»).

Ouvrages côtiers / ouvrages de protection contre la mer

Structure côtière construite et dimensionnée pour atténuer les impacts de phénomènes naturels sur un secteur géographique particulier appelé zone protégée. Il répond à une vocation initiale de fixation du trait de côte, de lutte contre l'érosion, de soutènement des terres, de réduction des franchissements, de dissipation de l'énergie de la houle ou d'obstacle à l'écoulement.

P

Pénurie sédimentaire

Diminution de l'apport de sédiment. La pénurie en sable et en galets sur les côtes est à l'origine de l'érosion des plages (phénomène général dans le monde). Cette pénurie, qui a commencé à se manifester après la fin de la transgression postglaciaire, a été accentuée à l'époque contemporaine par des interventions humaines (extraction de sable, construction de barrages sur les fleuves, implantation d'ouvrages sur la côte...).

Perception

Dans le cadre de la psychologie environnementale, la perception fait référence à l'aspect direct de la relation de l'Homme à l'environnement (Gibson, 1979 ; Ittelson, 1973). Il s'agit de la manière dont l'Homme perçoit, par l'intermédiaire de ses sens, son environnement et de ce fait la manière dont il se l'approprie en fonction de son expérience vécue. Il s'agit donc d'un processus individuel. Mais l'étude de l'Homme à l'environnement ne peut se limiter à étudier les aspects sensoriels de la perception. Ce travail perceptif fait obligatoirement intervenir des aspects affectifs et idéologiques liés à l'appartenance émotionnelle et sociale de l'individu inséré dans une communauté (Lévy-Leboyer, 1980). L'intervention de ces facteurs cognitifs et/ou sociaux conduit nécessairement à une évaluation de l'environnement.

Période de retour

Cf. « probabilité d'occurrence ».

Perré

Mur de soutènement sur un talus pour maintenir la terre.

Photogrammétrie

Technique qui consiste à reconstituer le relief d'un terrain en utilisant la parallaxe obtenue entre des images acquises selon des angles de vue différents et en exploitant des calculs de corrélation entre des images numériques.

Photo-interprétation

Traitement visant à produire une information géographique par l'interprétation visuelle de photographies aériennes géoréférencées ou non. Les critères employés par les photo-interprètes sont la forme des objets visibles sur les clichés, leur texture, leur structure, leur couleur.

Plage

Partie du rivage de la mer, formée de sable, de graviers ou de galets, et qui est soumise à l'action des vagues et des marées.

Plan communal de sauvegarde (PCS) / Plan intercommunal de sauvegarde (PICS)

Document d'organisation globale de gestion des événements selon leur nature, leur ampleur et leur évolution. Réalisé au niveau communal, le Plan communal de sauvegarde (PCS) organise, sous l'autorité du maire, la préparation et la réponse au profit de la population lors des situations de crises. Réalisé au niveau intercommunal, le Plan intercommunal de sauvegarde (PICS) assure la continuité des services intercommunaux durant la crise ainsi que la solidarité de l'EPCI dans la gestion des événements pour les communes impactées.

Plan de gestion des risques inondation (PGRI)

Outil stratégique définit, pour 6 ans, à l'échelle de chaque grand bassin hydrographique français, les priorités en matière de gestion des risques d'inondation.

Plan de prévention des risques (PPR)

Outil de gestion des risques naturels qui cartographie les risques et qui régleme l'urbanisation dans les zones exposées.

Précision (des mesures) : la précision d'une mesure qualifie son degré d'exactitude.

Valeur permettant de déterminer l'incertitude entourant une mesure.

Plan de prévention des risques naturels (PPRN)

Document réalisé par les services de l'État et élaboré sous la responsabilité du Préfet. Les PPRN sont élaborés sur des communes qui présentent une vulnérabilité importante vis-à-vis des risques. L'objet du PPRN est d'identifier les risques prévisibles qui constituent une menace pour la population et les biens, de délimiter les zones exposées directement ou indirectement à ces risques, d'y réglementer l'utilisation des sols et de déterminer les mesures de construction applicables.

Plan local d'urbanisme (PLU) communal ou intercommunal (PLU(i))

Document d'urbanisme (PLU) communal ou intercommunal (PLU(i)) qui détermine les conditions d'aménagement et d'utilisation des sols.

Prévention

Préserver une situation donnée d'une dégradation, d'un accident ou d'une catastrophe. Prévenir c'est prendre des mesures à la source et éviter les décisions improvisées sous la pression des événements.

Ainsi, la prévention des risques naturels peut poursuivre les objectifs suivants :

- mieux connaître les phénomènes et leurs incidences ;
- assurer une surveillance des phénomènes naturels ;
- sensibiliser et informer les populations sur les risques les concernant et sur les moyens de s'en protéger ;
- prendre en compte les risques dans les décisions d'aménagement ;
- adapter et protéger les installations actuelles et futures aux phénomènes naturels ;

- tirer des leçons des événements naturels exceptionnels qui se produisent.

Prisme littoral

Zone sableuse mouvante à l'échelle de plusieurs décennies comprenant les matériaux disponibles le long de la côte (dunes, plage, plage immergée) jusqu'à la profondeur de fermeture, profondeur au-delà de laquelle les matériaux ne sont plus mobilisés (quelques mètres de profondeur).

Ce prisme est déposé sur un substratum constitué d'unités sédimentaires plus anciennes (rocheuses ou non) qui ne participent pas aux échanges avec la plage et le trait de côte.

Probabilité d'occurrence

Durée théorique moyenne, exprimée en années, qui sépare deux occurrences d'un phénomène donné si l'on considère une période de temps suffisamment longue.

Profil de plage

Levé topographique perpendiculaire au rivage depuis l'avant dune jusqu'à l'avant plage permettant de calculer le budget sédimentaire c'est-à-dire de savoir si une plage est en accrétion, équilibre ou érosion.

Progradation de la ligne de rivage

Phénomène d'avancée progressive vers le large de la ligne de rivage.

Protection

En termes de gestion du littoral, le mot « protection » peut être ambigu. Il peut en effet concerner à la fois la conservation du milieu naturel (très dynamique par définition sur les côtes) ou bien, dans un sens très différent, la protection des biens contre la mer.

La nuance est fondamentale car, dans un cas, l'aléa est anthropique (la pollution ou l'urbanisation excessive par exemple) et l'enjeu touché est naturel (les espaces et les espèces) ; et dans l'autre cas l'aléa est naturel ou semi-naturel (érosion et submersion) et les enjeux touchés sont anthropiques (les bâtiments, infrastructures, activités économiques...).

R

Rechargement de plage

Reconstitution d'une plage en régression par un apport artificiel de sable par camion ou par bateau. La plage rechargée permet un meilleur amortissement des houles et joue un rôle protecteur en cas de forts événements de tempête.

Référentiel topo-bathymétrique

Un référentiel topo-bathymétrique définit les caractéristiques d'un système de projection cartographique de la zone littorale. Un tel référentiel assure la continuité du système de projection entre la Terre et la mer.

Relocalisation / recomposition spatiale / recul stratégique / retrait stratégique / repli stratégique

Mode de gestion des risques littoraux consistant à détruire des enjeux bâtis dans des zones de forts aléas pour les réinstaller dans des secteurs peu ou pas exposés. Après remise en état, la zone déconstruite évolue au gré de la dynamique naturelle. On crée ainsi une zone tampon qui permet d'obtenir une marge de sécurité face aux événements météo-marins. En France, la loi Barnier de 1995 marque un tournant notable dans les politiques publiques de gestion des risques littoraux en offrant cette possibilité de gestion. On utilise aussi, dans le même sens, les termes de « repli » ou « retrait stratégique », mais cette expression est parfois jugée maladroite car elle présente une connotation de capitulation militaire.

Représentation du risque

Idées que se font différents usagers et gestionnaires d'un espace (habitants, professionnels, élus, services techniques des collectivités et de l'État) de la notion de risque. Celui-ci est construit socialement, c'est-à-dire qu'il peut être considéré comme plus ou moins important, voire ne pas exister, en fonction du vécu de chacun.

Résilience

Capacité du milieu à résister à des agressions ou à retrouver son intégrité.

Risque

Probabilité de survenue d'un aléa (ici phénomène naturel défini par sa magnitude et sa fréquence) et ses conséquences sur les enjeux.

Le risque résulte du croisement de l'aléa et d'un enjeu vulnérable. Pertes potentielles en personnes, biens, activités, éléments du patrimoine culturel ou environnemental (cf. « Directive Inondation ») consécutives à la survenue d'un aléa.

Le risque est d'une part la probabilité d'un événement indésirable, d'autre part, une situation où il est possible mais non certain qu'un événement indésirable se produise. Approcher une définition du risque implique donc de le replacer dans son contexte historique et à l'intérieur d'un groupe. Chaque société ou groupe va décider, par un consensus collectif représenté plus ou moins par les lois, quelle est la limite du risque acceptable. En psychologie, le risque est abordé sous l'angle de la perception des risques ou des représentations sociales liées au risque.

Risques littoraux

Comprend les phénomènes de submersions marines et l'érosion par recul, brutal ou plus lent, du trait de côte quelle que soit la nature du trait côte (rocheux, sédimentaire). Les risques littoraux peuvent désigner, plus rarement, les phénomènes d'engraissement (envahissement du naire, ensablement et envasement).

Runup (ou swash runup)

Altitude maximale atteinte par le jet de rive sur la côte.

Le phénomène de « swash runup » correspond ainsi à la hauteur maximale atteinte par le jet de rive après le déferlement de la vague. Comme pour le wave setup (cf. « setup »), son calcul repose la plupart du temps sur des équations théoriques obtenues et validées à partir de mesures de terrain. Les processus de submersion ou de franchissement liés au phénomène de swash runup interviennent dans l'érosion des dunes ou le déplacement par roulement (roll-over) des flèches de galets.

S

SAGE (schéma d'aménagement et de gestion de l'eau)

Outil de planification, institué par la loi sur l'eau de 1992, visant la gestion équilibrée et durable de la ressource en eau. Déclinaison du SDAGE à une échelle plus locale, il vise à concilier la satisfaction et le développement des différents usages (eau potable, industrie, agriculture, ...) et la protection des milieux aquatiques, en tenant compte des spécificités d'un territoire. Délimité selon des critères naturels, il concerne un bassin versant hydrographique ou une nappe. Il repose sur une démarche volontaire de concertation avec les acteurs locaux.

SCoT (schéma de cohérence territoriale)

Document d'urbanisme qui, à l'échelle d'un territoire de projet ou bassin de vie (périmètre intercommunal ou supra), détermine l'organisation spatiale et les grandes orientations de développement d'un territoire.

SDAGE (schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux)

Documents de planification qui fixent, pour six ans, et à l'échelle de chaque grand bassin hydrographique, les orientations qui permettent d'atteindre les objectifs attendus par l'Union européenne en matière de « bon état des eaux ».

SRADDET (schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires)

Document de planification qui, à l'échelle régionale, précise la stratégie, les objectifs et les règles fixées par la Région dans plusieurs domaines de l'aménagement du territoire.

Sédiment

Dépôts continentaux ou marins qui proviennent de l'altération ou de la désagrégation des roches préexistantes et qui sont transportés par les fleuves, les glaciers ou les vents.

Setup (ou wave setup)

Remontée locale du niveau marin due au déferlement.

Le « wave setup » correspond ainsi à une élévation du plan d'eau à la côte de telle sorte que la surface océanique forme une pente entre la zone de levé des vagues et le rivage. Cette déformation est liée à l'accumulation de l'eau au rivage accompagnant les fortes houles énergétiques. Durant la tempête Xynthia du 28 février 2010, le phénomène de setup lié à l'agitation a autant contribué à la surcote que le vent et la pression atmosphériques (Bertin et al., 2012). Le calcul de ce paramètre repose le plus souvent sur l'utilisation d'équations théoriques. Ce paramètre intervient dans l'estimation des niveaux d'eau extrêmes à la côte servant notamment à l'élaboration des PPR littoraux.

SIG

Cf. « système d'information géographique ».

Stock sédimentaire

Réservoir potentiel de matériel sédimentaire qui alimente les plages. Le tarissement du stock sédimentaire disponible, accumulé sur la plateforme continentale depuis la remontée postglaciaire du niveau de la mer, explique la tendance au recul du rivage.

Subaérien

Qualifie quelque chose formé à l'air libre.

Submersion marine

Inondation temporaire, souvent brutale, de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques extrêmes, pouvant cumuler dépression atmosphérique, vent violent, forte houle, associés aux phénomènes marégraphiques provoquant une surélévation du niveau moyen de la mer.

Subsidence

Fait qu'un terrain s'affaisse par rapport à un référentiel. La subsidence peut être :

- de nature géologique profonde,
- de nature régionale par rapport à une charge glaciaire (glacio-isostasie) ou marine (hydro-isostasie) liée à une transgression sur la croûte terrestre,
- de nature locale en relation avec une charge sédimentaire (apport de fleuve) ou une exploitation de carrière.

Elle peut être également le fait d'un tassement dans le temps des sédiments, être liée à l'exploitation pétrolière (delta du Mississippi) ou de nappes aquifères. La réponse peut être rapide : impact de la charge de la marée sur la plateforme autour de la Bretagne (28 mm) ou très lent : subsidence profonde de la plateforme sud-armoricaine (0,04 mm/an), selon le comportement mécanique et l'épaisseur de la croûte terrestre.

Subtidal

Zone située en deçà des variations du niveau de l'eau dues aux marées, et par conséquent toujours immergée.

Suivi morphosédimentaire

Pérations régulières (mensuelles, saisonnières ou annuelles) de surveillance, réalisées sur des portions de rivage sédimentaire (une plage, une dune, par exemples) consistant à en mesurer la topographie de manière à pouvoir la comparer aux états antérieurs ou postérieurs de cette accumulation en fonction des forçages naturels et humains qui s'y sont exercés durant la période d'observation afin de comprendre les réponses morphologiques de cette accumulation à ces diverses influences.

Surcote

Dépassement anormal du niveau de la mer induit par des conditions météorologiques inhabituelles.

Système d'endiguement

Digue ou association de plusieurs digues conçues pour défendre une zone protégée contre les inondations et/ou submersions et cela jusqu'à un niveau d'événement précis nommé le « niveau de protection ». Un système d'endiguement est classé en fonction du nombre de personnes se trouvant dans la zone protégée.

Système de protection

Éléments naturels et système d'endiguement qui assurent la défense d'une zone contre les inondations et/ou submersions et cela jusqu'à un niveau d'événement précis nommé le « niveau de protection ».

Système d'Information géographique (SIG)

Définition officielle (AFNOR, 1992) : « ensemble coordonné d'opérations généralement informatisées destinées à produire et à utiliser une information géographique sur un même territoire. Ce dispositif vise particulièrement à combiner au mieux les différentes ressources accessibles : bases de données, savoir-faire, capacité de traitement qui lui sont demandées. Il apporte ainsi un appui essentiel dans la prise de décision des responsables d'un organisme ».

De manière plus concise, les SIG sont définis par Pornon (1990) comme étant un ensemble de logiciels, données et personnes dont la fonction est d'exploiter l'information géographique pour produire des résultats et atteindre un but.

T

Tempête

Pour l'Organisation météorologique mondiale, la tempête suppose que le vent atteigne et dépasse la force 10 sur l'échelle Beaufort (de 89 à 102 km/h).

Temps de retour

Cf. « Probabilité d'occurrence ».

Thermoclastie

Processus de désagrégation mécanique des roches sous l'effet des variations de température.

Topographie

La topographie est la forme géométrique d'un lieu. Elle est définie par un ensemble de coordonnées horizontales et verticales. La topographie résulte de l'interaction entre la tectonique l'érosion, la sédimentation et l'activité anthropique.

Trait de côte

Ligne d'intersection de la surface topographique avec le niveau des plus hautes mers astronomiques (en Méditerranée il est défini en limite de jet de rive).

Transect

Un transect (encore appelé radiale) sert à matérialiser la position d'un profil de

plage. En d'autres termes, c'est le long d'un transect ou d'une radiale que se fait le levé d'un profil de plage. Le transect est généralement bien repéré dans l'espace par des repères fixes (clous topographiques, bornes « repères » référencées...

Transgression Holocène

Remontée du niveau marin depuis le début de l'époque Holocène, il y a 11 700 ans. La mer envahit les terres donc transgresse sur les terrains émergés lors de la dernière période froide.

Transit sédimentaire

Déplacement du sable le long de la plage sous l'action de la houle ou du vent.

V

Vive-eau

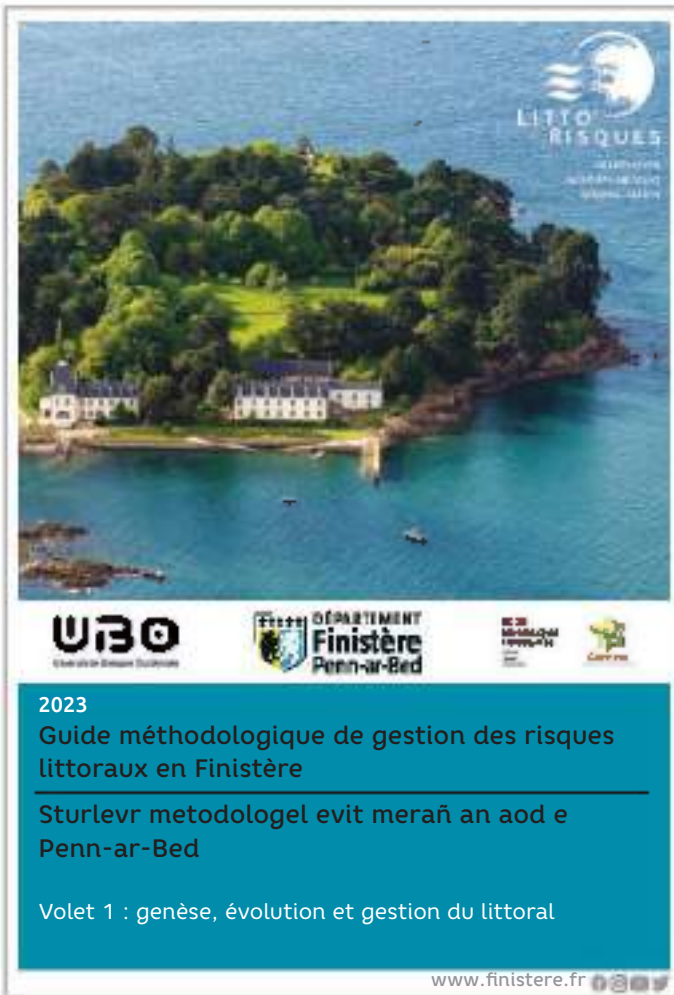
Marée de nouvelle ou de pleine lune pendant laquelle le marnage est maximal.

Vulnérabilité / vulnérabilité systémique

La vulnérabilité correspond à l'impact prévisible d'un aléa donné sur un enjeu (personnes, biens, activités humaines en général) compte tenu des facteurs de fragilité qui le caractérisent et des différents types de dommages que l'on peut identifier (physiques, psychologiques, fonctionnels, économiques...). Au sein de l'observatoire OSIRISC-LittoRisques en Finistère, la vulnérabilité systémique a quatre composantes principales :

- (i) les aléas (ici les phénomènes naturels, parfois influencés par l'action humaine, comme l'érosion des falaises, la rupture des cordons dunaires, la submersion...);
- (ii) les enjeux (les personnes et les biens, exposés aux aléas);
- (iii) la gestion (les politiques publiques de prévention, de protection et de gestion de crise, les équipements de défense contre la mer);
- (iv) la perception ou les représentations du risque (la conscience et la mémoire de celui-ci, les usages et l'attachement aux lieux exposés, la connaissance des mesures de sauvegarde...).

À découvrir : les deux autres volets du guide



◀ Volet 1 : genèse, évolution et gestion du littoral



▶ Volet 2 : méthodologie de gestion des risques littoraux

Remerciements

Cet ouvrage est une œuvre collective du partenariat Litto'Risques.

Ont contribué en tant que rédacteurs : Vincent Ducros (CD29), Elisabeth Guillou (UBO), François Hedou (Cerema), Alain Hénaff (UBO), Nicolas Le Dantec (UBO), Loïck Le Roy (CD29¹), Éloïse Lhuillery (CD29¹ & UBO²), Caroline Lummert (UBO²), Catherine Meur-Ferrec (UBO) et Frédéric Mogenot (DDTM du Finistère).

Ont contribué en tant que relecteurs : Jacques Brulard (CD29), Nolwenn Floc'h (CD29), Elisée GBEGNON (Cerema), Pauline Lagouge (DDTM du Finistère), Philippe Landais (DDTM du Finistère), Boris Leclerc (Cerema), Lenaig Saout (CD29) et Pierre Thulliez (CD29).

La mise en page de cet ouvrage ainsi que la création ou l'adaptation des schémas et des infographies ont été réalisées par Justine Jeanmonod (CD29).

La réalisation de ce guide a bénéficié du soutien du projet AGEO (Atlantic Geohazard Platform) financé par le programme Interreg Atlantique du fonds européen de développement régional (FEDER).



Comment citer cet ouvrage

Partenariat Litto'Risques (2023). Guide méthodologique de gestion des risques littoraux en Finistère – Volet 3 : recensement et retours d'expérience sur les solutions mises en œuvre sur le territoire du Finistère dans la gestion du trait de côte. 216 p.

Conception : Conseil départemental du Finistère (Direction de l'aménagement, de l'agriculture, de l'environnement et de l'eau / Service patrimoine naturel, littoral et randonnée / J. JEANMONOD) - Juin 2023

Cartographies : Conseil départemental du Finistère (Direction de l'aménagement, de l'agriculture, de l'environnement et de l'eau / Service patrimoine naturel, littoral et randonnée / J. JEANMONOD)

Figures : Association environnementale pour la protection des sites et du patrimoine de Trégastel, N. Basara, J. Basset, F. Betermin, T. Bodennec (CD29), C. Dauphin, M. Diard (RNN Glénan), V. Ducros (CD29), G. Esteva-Kermel (CCPBS), B. Galeron, Géolittoral, Y. Guirriec, P. Hauser, F. Hedou (Cerema), A. Hénaff (UBO), J. Jeanmonod (CD29), L. Le Roy (CD29¹), E. Lhuillery (CD29¹ & UBO²), M. Le Gall, 4 Vents, P. Sicard.

Fonds de plan : BD CARTO® © IGN - 2017 (Licence N°2017-DINO-1-29-104), BD Alti®-© IGN - 2005

Photo de couverture : Plage de Morgat, Crozon - © V. Ducros

¹ appui à la rédaction réalisé dans le cadre d'un stage de fin d'études.

² appui à la rédaction réalisé dans le cadre d'une mission à durée déterminée.



DÉPARTEMENT
Finistère
Penn-ar-Bed



OBSERVATION • ACCOMPAGNEMENT • SENSIBILISATION



Conseil départemental du Finistère - Kuzul-departamant Penn-ar-Bed
Direction de l'aménagement, de l'agriculture, de l'eau et de l'environnement

Service patrimoine naturel, littoral et randonnée

Unité milieux aquatiques, randonnée et littoral

32 bd Dupleix, CS 29029, 29196 Quimper - Kemper Cedex