

# Les Solutions Fondées sur la Nature pour les risques littoraux adaptées à la Bretagne



**ADALITT  
BREIZH**



COFINANCÉ PAR  
UNION EUROPÉENNE



L'Europe s'engage  
en Bretagne /



## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION</b> .....	3
<b>1. LE LITTORAL ET SES ENJEUX</b> .....	4
1.1. Les risques littoraux associés à l'urbanisation .....	4
1.2. Les défis de la gestion côtière .....	6
<b>2. LES SOLUTIONS FONDEES SUR LA NATURE (SFN)</b> .....	8
2.1. Définition des SFN .....	8
2.2. Concept des SFN sur le littoral .....	9
<b>3. LES CATEGORIES DE SFN ADAPTÉES AU LITTORAL BRETON</b> .....	10
3.1. Exemples par type de milieux côtiers .....	11
3.1.1. Les systèmes sableux (dune-plage) .....	12
3.1.2. Les marais maritimes .....	20
3.1.3. Les herbiers .....	24
3.1.4. Les récifs coquilliers .....	25
3.1.5. Les falaises .....	26
<b>CONCLUSION</b> .....	28
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	29

*Ce document est réalisé dans le cadre du projet AdaLitt-Breizh.*

*Citation du document : Sedrati M., Dalour L., Bulot G., Metge N., 2025. Les Solutions Fondées sur la Nature pour les risques littoraux, adaptées à la Bretagne. Projet ADALITT-Breizh, GEO-OCEAN – Pôle UBS, 32p.*

## INTRODUCTION

---

La zone côtière, définie comme l'interface entre le milieu marin et le milieu terrestre, est délimitée en tant que la zone située à moins de 100 km de la côte. Elle représente 4% de la surface terrestre totale de la Terre et accueille environ 30 % de la population mondiale<sup>1</sup>. La Bretagne, entourée de trois façades maritimes est particulièrement concernée puisque 36,7 % de la population bretonne (OEB)<sup>2</sup> est aujourd'hui concentrée sur les communes littorales. Les littoraux sont des zones riches en biodiversité et ressources naturelles et fournissent de nombreux services écosystémiques qui sont malheureusement aujourd'hui menacés par les activités humaines et le changement climatique<sup>3</sup>. D'une part, le changement climatique induit l'augmentation du niveau marin et l'intensification des événements climatiques extrêmes, pouvant provoquer de submersions marines. D'autre part, la densification des populations côtières et des activités économiques aggravent la vulnérabilité des zones côtières aux risques d'inondations et d'érosion. S'ajoutent à ces défis sociétaux le déclin de la biodiversité et une dégradation des habitats en raison des pressions accrues exercées par les activités humaines et le changement climatique.

Traditionnellement, la protection des côtes s'est reposée sur des solutions techniques dites « dures » pour se défendre contre la mer. Cependant, face au changement climatique, ces types d'ouvrages ne constituent qu'une solution temporaire et les coûts d'entretien pourraient devenir irréalisables à l'avenir. En outre, ces structures ont tendance à provoquer une érosion indésirable à d'autres endroits. Par conséquent, le besoin de solutions d'adaptation moins coûteuses, plus durables et résilientes se fait de plus en plus sentir. Cette prise de conscience a conduit à une évolution progressive vers des solutions plus douces (**ingénierie écologique** : pieux hydrauliques, épis en bois, géotextiles, rechargement du profil de plage, etc.) et récemment, vers les solutions fondées sur la nature. **Les solutions fondées sur la nature** (SFN) représentent une opportunité pour répondre au défi sociétal qu'est le changement climatique tout en permettant la préservation de la biodiversité et la réduction des risques littoraux. Contrairement aux solutions traditionnelles, les SFN peuvent évoluer avec la montée du niveau de la mer ou, si nécessaire, être facilement adaptées<sup>4</sup>. Ces stratégies s'appuient sur les écosystèmes côtiers tels que les marais salants, les herbiers sous-marins, les récifs coralliens, les dunes sableuses, etc. Déjà implémentées le long de certaines côtes, elles sont majoritairement présentes en complément des structures d'ingénierie classiques<sup>5</sup>.

---

<sup>1</sup> Barbier E. B., 2015. Climate change impacts on rural poverty in low- elevation coastal zones. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 165, A1–A13.

<sup>2</sup> Observatoire de l'environnement en Bretagne : <https://bretagne-environnement.fr/>

<sup>3</sup> Di Noia J., 2022. Agent-Based Models for Climate Change Adaptation in Coastal Zones. A Review, Nota di Lavoro 020.2022, Milano, Italy: Fondazione Eni Enrico Mattei.

<sup>4</sup> Davis MK., Krüger I., Hinzmann, M., 2015. Coastal Protection and Suds – Nature-Based Solutions. RECREATE Project Policy Brief No. 4.

<sup>5</sup> Van Coppenolle R., 2018. Potential for Nature-based Mitigation of Coastal Flood Risks: From Regional to Global Scale Assessments. [Biology] Temmerman, Stijn. Ph.D.(irua:156495): 208.

# 1. LE LITTORAL ET SES ENJEUX

## 1.1. Les risques littoraux associés à l'urbanisation

Le changement climatique désigne d'après le GIEC<sup>6</sup> (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) « les variations naturelles (ou d'origines humaines) de l'état du climat qui persistent pendant une période prolongée, généralement des décennies ou plus ». Les zones côtières évoluent naturellement au fil du temps sous l'effet de divers facteurs de forçage environnementaux (cycles saisonniers, marées, etc.)<sup>7</sup>, mais les indicateurs des changements climatiques récents pourraient révéler une accélération de ce phénomène sous l'influence de l'homme<sup>8</sup>. En effet, depuis les années 1950, l'activité anthropique a entraîné des effets sans précédent et continus sur le climat, tels que l'augmentation de la température de l'air et des océans, la diminution du pH des océans ou l'élévation du niveau de la mer<sup>9</sup>. Selon les estimations, l'élévation du niveau de la mer s'est accélérée de façon spectaculaire, passant en moyenne de 1,35 mm par an au cours de la période 1901-1990 à 3,25 mm par an entre 1993 et 2018<sup>3</sup> au cours du 20e siècle, le niveau moyen mondial de la mer aurait ainsi augmenté d'environ 20 cm<sup>10</sup>. Bien qu'il existe une incertitude quant aux taux de changement auxquels on peut s'attendre à l'avenir, il est incontestable que cette tendance se poursuivra et s'amplifiera dans les années à venir<sup>11</sup>. Les prévisions de l'élévation de la mer sont estimées en Europe à environ de 1 m d'ici 2100 dans un scénario à fortes émissions de gaz à effet de serre<sup>10</sup> (40 cm pour le scénario le plus optimiste).

Cette élévation du niveau de la mer ne fait que finalement accroître la vulnérabilité des zones côtières : les côtes sont de plus en plus sujettes à des phénomènes d'érosion et à des submersions permanentes et sont également plus exposées à des événements climatiques soudains et violents causés par le changement climatique<sup>3</sup>. De nombreuses régions côtières subissent déjà les impacts et les coûts du changement climatique et des risques côtiers<sup>12</sup>. Par exemple les récents ouragans, tempêtes et typhons ont mis en évidence les énormes pertes et dommages qu'ils peuvent générer sur les zones côtières<sup>5</sup> : perte de biodiversité et de ressources naturelles, impacts sur l'agriculture (en raison de l'augmentation de la salinité), pertes d'infrastructures et d'enjeux humains. Les zones côtières du monde entier sont en effet très densément peuplées, tant pour les services et les opportunités économiques qu'elles fournissent, que pour la valeur récréative qu'elles offrent<sup>3</sup>.

La Bretagne est également concernée par les problématiques liées à la montée des eaux, au recul du trait de côte ou aux tempêtes. Concernant ces dernières, on dénombre sept tempêtes majeures ayant touché la région depuis 1987. Le passage des tempêtes Ciaran et Domingos début novembre 2023 a causé des dégâts estimés à plusieurs centaines de millions d'euros, avec des destructions considérables sur les réseaux, les infrastructures, les bâtiments et les arbres. Toutefois, ces dégâts restent inférieurs à ceux de la tempête de 1987<sup>13</sup>.

<sup>6</sup> <https://www.ipcc.ch/>

<sup>7</sup> Short A. D., Jackson D. W. T., 2021. Beach morphodynamics. In Reference module in earth systems and environmental sciences. Elsevier.

<sup>8</sup> Jackson D. W. T., Costas S., González-Villanueva R., Cooper J. A. G., 2019. A global 'greening' of coastal dunes: An integrated consequence of climate change? *Global and Planetary Change*, 182, 103026.

<sup>9</sup> IPCC, 2013. Summary for policymakers. In: Stocker, T.F., et al. (Eds.), *Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

<sup>10</sup> IPCC, 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. In: Masson-Delmotte V., & al. (Eds). Cambridge University Press.

<sup>11</sup> Toimil A., Losada I.J., Nicholls R.J., Dalrymple R.A., Stive M.J.F., 2020. Addressing the challenges of climate change risks and adaptation in coastal areas: A review. *Coastal Engineering* 156 (2020) 103611.

<sup>12</sup> Masselink, G., Scott, T., Poate, T., Russell, P., Davidson, M., and Conley, D. (2016). The Extreme 2013/2014 Winter Storms: Hydrodynamic Forcing and Coastal Response along the Southwest Coast of England. *Earth Surf. Process. Landforms* 41 (3), 378–391.

<sup>13</sup> Haut Conseil Breton pour le Climat, 2024. *Le changement climatique en Bretagne*, Bulletin 2024, 36p.

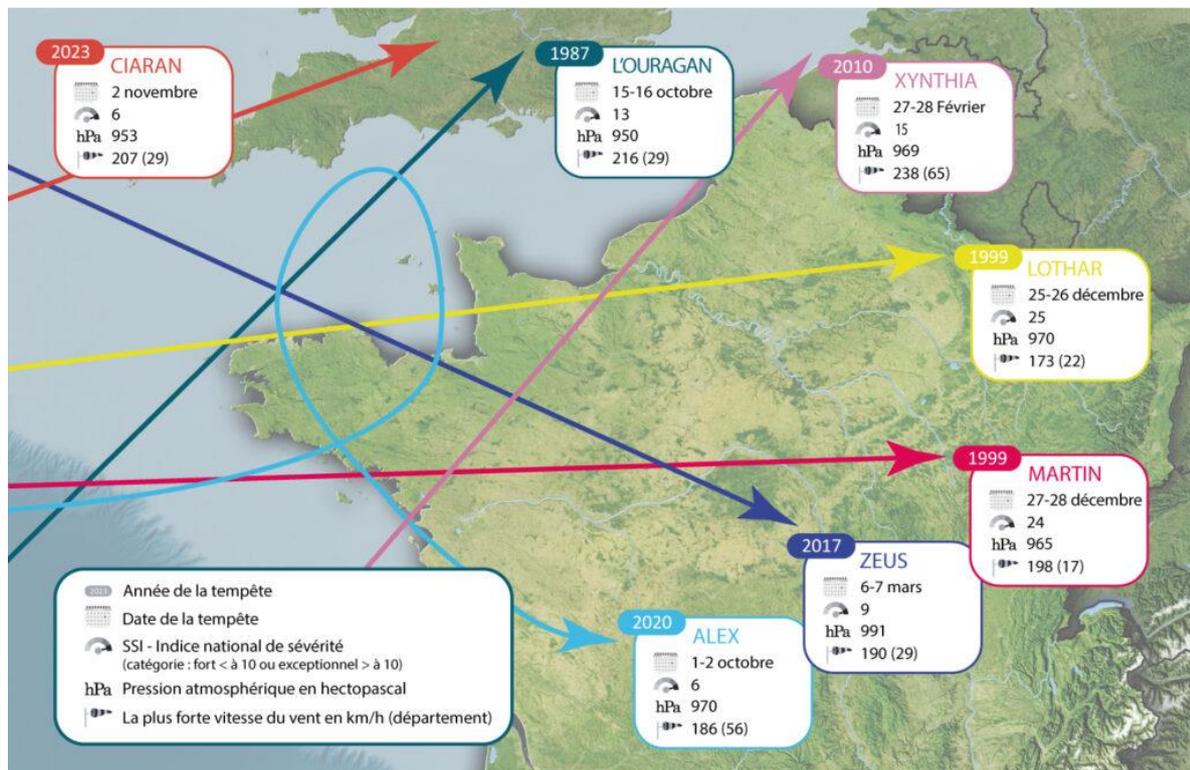


Figure 1 : Trajectoire des tempêtes majeurs en Bretagne depuis 1987 (réalisation : HCBC)



Figure 2 : Exemples de dégâts causés par des tempêtes à Gâvres, Morbihan

Les côtes de Bretagne sont également affectées par l'érosion. Parmi les 2000 km de côtes naturelles, environ 400 km subissent un recul, avec des vitesses atteignant parfois plus de 0,5 m par an localement (CEREMA), souvent en lien avec les tempêtes.

Suivant la dynamique de la population mondiale, il est probable que la population littorale bretonne continue de croître, augmentant ainsi son exposition aux risques côtiers. Dans ce contexte, des efforts sont nécessaires pour limiter l'impact combiné du changement climatique et du développement urbain. Il devient donc essentiel de mettre en place des stratégies de protection et de développement durable des côtes bretonnes. La Région Bretagne est particulièrement bien positionnée pour relever ce défi, puisque parmi les 317 communes inscrites volontairement sur la liste des actions de résilience au climat (décret "climat et résilience"), 114 se trouvent en Bretagne. Les communes listées par ce décret doivent notamment élaborer une « carte locale d'exposition au recul du trait de côte » qui sera intégrée dans leur document local d'urbanisme.



## ÉVOLUTION DU TRAIT DE CÔTE EN BRETAGNE

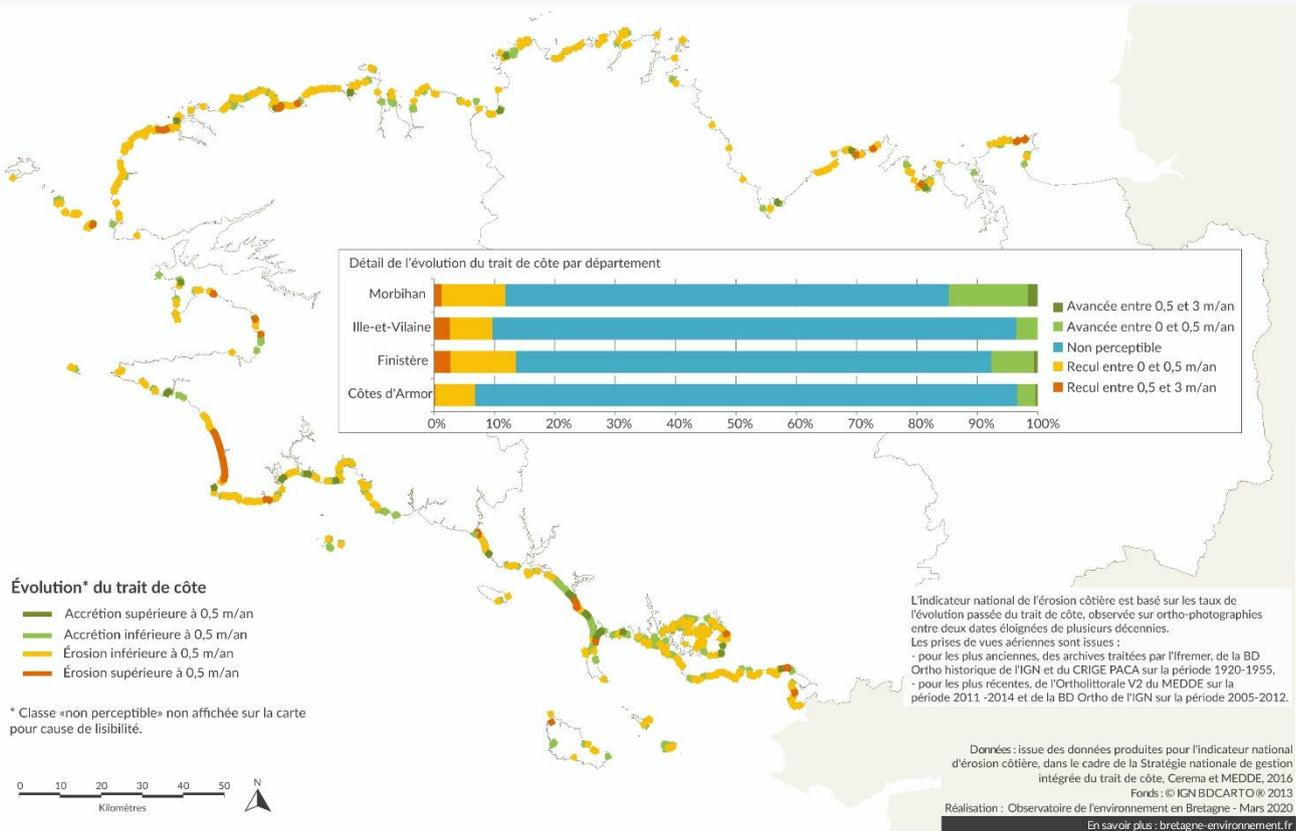


Figure 3 : Évolution du trait de côte en Bretagne (réalisation : Observatoire de l'environnement en Bretagne, 2020)

### 1.2. Les défis de la gestion côtière

L'homme a une longue tradition de lutte contre les inondations côtières. Bien que la discipline académique du génie côtier n'ait émergé que depuis la Seconde Guerre mondiale, les ouvrages de génie côtier ont été développés bien avant pour la construction de ports, l'avancée des terres sur la mer et la protection contre les risques côtiers<sup>14</sup>. Au 20<sup>ème</sup> siècle, la défense côtière contre les inondations et l'érosion était principalement basée sur des ouvrages durs (par exemple, des digues, des jetées et des épis), qui étaient conçus pour être rentables pendant toute leur durée de vie<sup>15</sup>. Ces structures se sont rependues partout dans le monde, particulièrement dans les pays développés et notamment les grandes villes qui concentraient des biens de grande valeur et étaient densément peuplées<sup>5</sup>.

Les littoraux sont, et ont toujours été, façonnés et remodelés par les forces naturelles, or au cours des 100 dernières années, les constructions de l'homme ont restreint cette dynamique ; parfois même en générant des effets secondaires négatifs, tels que l'accélération de l'érosion<sup>16</sup>. Ces structures conventionnelles de défense côtière non seulement restreignent l'apport de sédiments mais n'ont pas non plus une capacité d'auto-adaptation en réponse aux conditions environnementales changeantes telles que l'élévation du niveau

<sup>14</sup> Kraus N.C., 1996. History and Heritage of Coastal Engineering. American Society of Civil Engineering, New York, NY.

<sup>15</sup> Sorensen, R.M., Weisman, R.N., Lennon, G.P., 1984. Control of erosion, inundation, and salinity intrusion caused by sea level rise. In: Barth, M.C., Titus, J.G., by, Published (Eds.), Greenhouse Effect and Sea Level Rise. A Challenge for This Generation. Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York. ISBN 0-442-20992-6.

<sup>16</sup> Tol R.S.J., Klein R.J.T., & Nicholls R.J. 2008. Towards successful adaptation to sea-level rise along Europe's coasts. Journal of Coastal Research, 24(2), 432-442.

de la mer<sup>5</sup>. Bien qu'elles puissent être capables de protéger les villes côtières contre les impacts des tempêtes pendant une certaine période, elles ont une durée de vie limitée et leur résistance s'affaiblit avec l'âge<sup>5</sup>, ce qui signifie qu'elles nécessiteront un entretien et des renforcements fréquents pouvant devenir irréalisables à l'avenir<sup>5</sup>. Un autre inconvénient de ces structures est le faux sentiment de sécurité perçu<sup>17</sup>.

Parallèlement, les écosystèmes marins et côtiers ont presque totalement disparus dans certains secteurs, par exemple sur les stations balnéaires, et se dégradent rapidement en raison des développements urbains soutenus. Le changement climatique menace plus 48 000 espèces<sup>18</sup> et environ 5 % des services écosystémiques fournis par les écosystèmes côtiers pourraient être perdus d'ici 2100<sup>19</sup>. Le GIEC appelle ce phénomène "compression côtière", qui se produit lorsque les écosystèmes naturels qui assurent une défense naturelle contre les risques côtiers sont entravés par le développement humain bâti.

Dans ce contexte, l'augmentation de la densité de la population côtière et des risques de submersion nécessite le développement de stratégies de gestion durable des côtes. Par conséquent, le besoin de solutions moins coûteuses, durables et résilientes augmente. La prise de conscience des limites et des coûts des ouvrages durs combinée à de nouvelles préoccupations environnementales et une prise de conscience croissante du changement climatique, ont conduit à une évolution progressive vers des solutions plus douces, et récemment, les solutions fondées sur la nature. En effet, au cours de la dernière décennie, la protection côtière basée sur ces solutions douces et les structures hybrides, c'est-à-dire des combinaisons de structures basées sur la nature et d'ingénierie dure, ont été de plus en plus développées à plusieurs endroits dans le monde<sup>5</sup>.

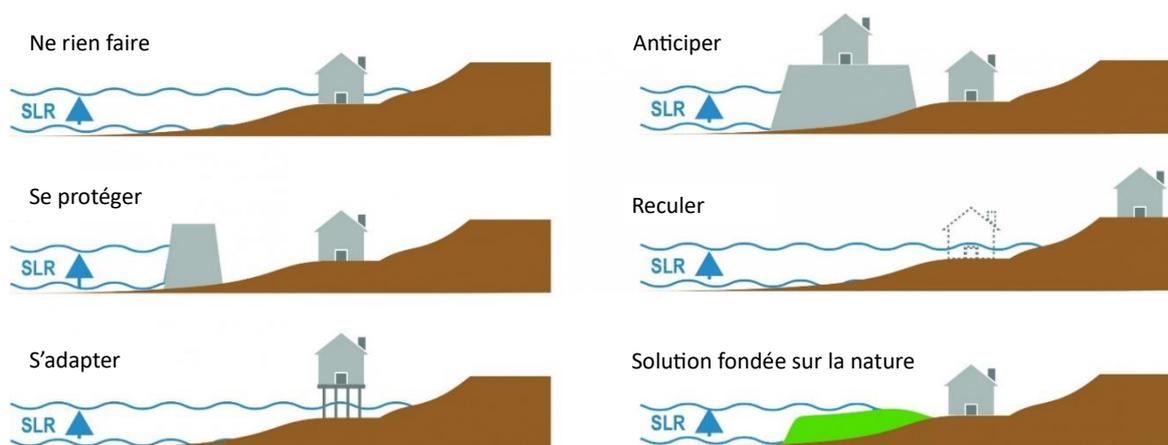


Figure 4: Les différents types de gestion en réponse à l'élévation du niveau de la mer d'après le GIEC<sup>20</sup>

<sup>17</sup> Borner J. S., 2020. Climate Adaptation for Coastal Zones: Benefits and tradeoffs in a southern Swedish case. Second cycle, A2E. Alnarp: SLU, Dept. Of Landscape Architecture, Planning and Management.

<sup>18</sup> Europe's seas and coasts, 2020.

<sup>19</sup> European Commission, 2021. The EU Blue Economy Report. Publications Office of the European Union. Luxembourg

<sup>20</sup> IPCC, 2019. Chapter 4: Sea Level Rise and Implications for Low Lying Islands, Coasts and Communities.

## 2. LES SOLUTIONS FONDEES SUR LA NATURE (SFN)

### 2.1. Définition des SFN

Les solutions fondées sur la nature ont été définies et utilisées de différentes manières pouvant conduire à une certaine confusion sur le concept. Par exemple, l'IUCN, la Commission européenne et l'ANUE ont chacune leurs propres définitions qui présentent quelques différences :

Tableau 1 : Listes des définitions

<b>Définition de l'IUCN</b>	<b>Actions visant à protéger, gérer durablement et restaurer les écosystèmes naturels et modifiés</b> , qui répondent aux défis de la société de manière <b>efficace et adaptative</b> tout en bénéficiant aux personnes et à la nature
<b>Définition de la Commission Européenne</b>	<b>Solutions inspirées et appuyées par la nature</b> , qui présentent un bon rapport coût-efficacité, apportent à la fois des avantages environnementaux, sociaux et économiques et contribuent à renforcer la résilience. Ces solutions augmentent la présence et la diversité de la nature et de caractéristiques et processus naturels dans les villes, les paysages et les paysages marins grâce à des interventions adaptées au niveau local, économes en ressources et systémiques.
<b>Définition de l'Assemblée des Nations unies pour l'environnement</b>	<b>Actions visant à protéger, conserver, restaurer, utiliser durablement et gérer les écosystèmes</b> terrestres, d'eau douce, côtiers et marins, naturels ou modifiés, qui permettent de relever les défis sociaux, économiques et environnementaux de manière efficace et adaptative, tout en assurant le bien-être humain, les services et la résilience des écosystèmes et les avantages en matière de biodiversité

Elles partagent toutefois l'importance de travailler avec la nature pour relever les défis sociétaux en produisant des bénéfices pour la biodiversité et le bien-être humain<sup>21</sup>.

Ce terme fournit donc un concept général pour les approches établies qui utilisent des méthodes naturelles, régénératrices, inclusives et adaptatives pour relever les défis sociétaux, notamment la perte de biodiversité<sup>21</sup>. Elles mettent également l'accent sur la complexité et la connectivité des écosystèmes socio-écologiques, ainsi que sur les biens et services écologiques qui en découlent et qui peuvent être traduits en objectifs mesurables<sup>22</sup>.



Figure 5 : Schéma de l'IUCN

<sup>21</sup> O'Leary B.C., Fonseca C., Cornet C.C., de Vries M.B., Degia A.K., Failler P., Furlan E., Garrabou J., Gil A., Hawkins J.P., Krause-Jensen D., Le Roux X., Peck M.A., Pérez G., Queirós A.M., Różyński G., Sanchez-Arcilla A., Simide R., Pinto I.S., Trégarot E., Roberts C.M., 2023. Embracing Nature-based Solutions to promote resilient marine and coastal ecosystems, Nature-Based Solutions, Volume 3, 2023, 100044, ISSN 2772-4115, <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100044>.

<sup>22</sup> Chee S.Y., Firth L.B., Then AY-H, Yee J.C, Mujahid A., Affendi Y.A., Amir A.A., Lau C.M., Ooi J.L.S., Quek Y.A., Tan C.E., Yap T.K., Yeap C.A. and McQuatters-Gollop A. 2021. Enhancing Uptake of Nature-Based Solutions for Informing Coastal Sustainable Development Policy and Planning: A Malaysia Case Study. Front. Ecol. Evol. 9:708507

## 2.2. Concept des SFN sur le littoral

Plus qu'une catégorie de mesures de gestion, les SFN constituent un principe général de pensée et d'action où les services écosystémiques sont pleinement intégrés au plan de gestion des zones côtières. Ce principe d'action s'accorde particulièrement bien avec celui de la gestion intégrée des zones côtières, dans la mesure où l'application de solutions fondées sur la nature demandent la prise en compte d'un contexte environnemental et culturel spécifique, la concertation des parties prenantes et la redistribution équitable des services écosystémiques sur le long terme<sup>23</sup>.

Il existe une grande expérience dans l'utilisation d'approches établies pour gérer les écosystèmes marins et côtiers qui peuvent constituer la base des SFN, comme les aires marines protégées, les outils de gestion durable et les projets de restauration ou de préservation<sup>21 24</sup>. Quelques exemples :

- La suppression ou limitation des pressions anthropiques accompagné d'une renaturation : suppressions d'ouvrages durs, déplacement de routes, restriction d'accès véhicules et piétons ;
- La création ou restauration d'écosystèmes naturels (ex : marais, mangroves, récifs, plages, dunes) ;
- La gestion durable d'écosystèmes (ex : Suppression et contrôle des espèces végétales exotiques, gestion de la fréquentation) ;
- Dépoldérisation / reconnexion marine pour les milieux humides (marais maritimes) ;
- La protection d'écosystèmes (ex : aire marine protégée, espace réglementé).

Les stratégies fondées sur la nature sont alors considérées comme des solutions durables, auto-adaptatives et rentables qui peuvent être établies seules ou en combinaison avec des solutions souples ou d'ingénierie dures, c'est-à-dire des approches dites « hybrides »<sup>25</sup>. En effet, lorsque les solutions naturelles seules sont jugées probablement insuffisantes, par exemple lorsque les forces hydrologiques littorales sont trop élevées, une forme de conception « hybride » peut être envisagée. Les solutions « SFN hybrides » créent alors un compromis entre la protection des personnes et des biens tout en permettant les processus d'échange naturels à l'interface terre-mer et un habitat viable pour la faune et la flore<sup>26</sup>.

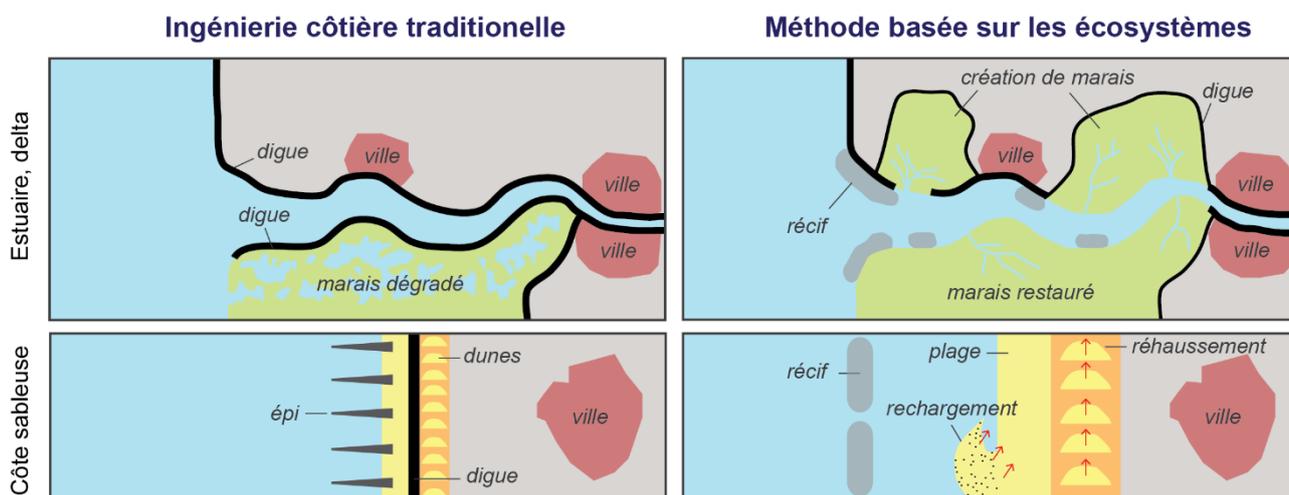


Figure 6 : Illustration de mesures conventionnelles VS des méthodes basées sur les écosystèmes modifiés d'après<sup>25</sup>

<sup>23</sup> World Bank. 2022. Compendium : Coastal Management Practices in West Africa - Existing and Potential Solutions to Control Coastal Erosion, Prevent Flooding and Mitigate Damage to Society. Washington, DC: World Bank. © World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/37351> License: CC BY 3.0 IGO

<sup>24</sup> IUCN Comité Français, 2022. Les solutions fondées sur la Nature pour les risques littoraux en France. Paris. Fr

<sup>25</sup> Temmerman S., Meire P., Bouma T. J., Herman P. M. J., Ysebaert T., & De Vriend H. J., 2013. Ecosystem based coastal defence in the face of global change. *Nature*, 504(7478), 79–83. <https://doi.org/10.1038/nature12859>

<sup>26</sup> Saleh F. & Weinstein M.P. 2016. The role of nature-based infrastructure (NBI) in coastal resiliency planning: A literature review. *Journal of Environmental Management* 183 (2016) 1088-1098. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.077>

### 3. LES CATEGORIES DE SFN ADAPTÉES AU LITTORAL BRETON

Les côtes bretonnes se caractérisent par une grande diversité, avec 73 % de côtes naturelles et 27 % de côtes artificielles. Les côtes à falaises représentent 55 % du linéaire côtier, principalement dans les Côtes d'Armor et l'ouest du Finistère. Les côtes d'accumulation sableuse et vaseuse se concentrent plutôt en Bretagne sud. Cette variété de types de côtes permet le développement d'écosystèmes côtiers riches et variés, incluant des plages de sable et dunes, des vasières et prés salés, des herbiers de zostères, ainsi que des récifs.

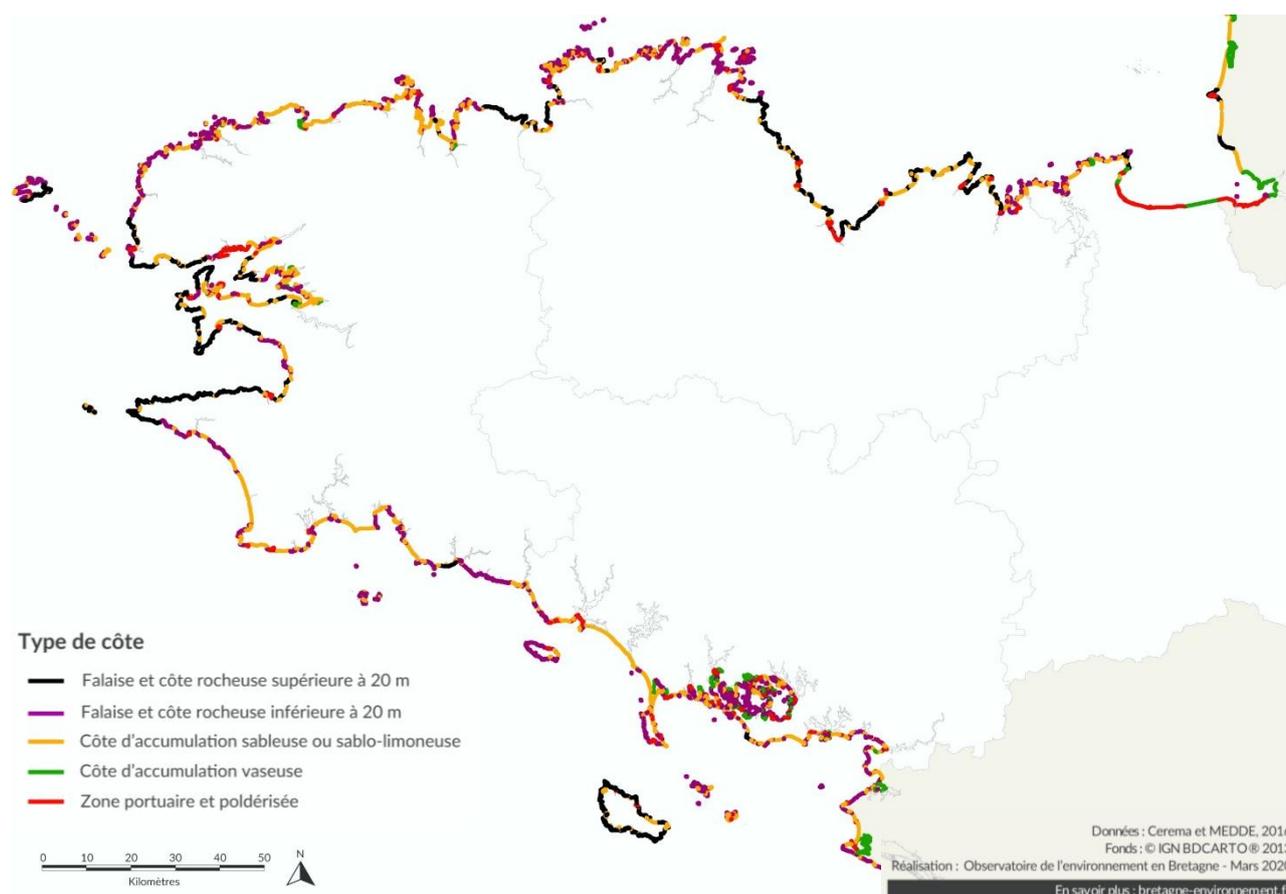


Figure 7 : Les types de côtes bretonnes (réalisation : OEB)

Tableau 2 : Liste des principaux écosystèmes côtiers bretons et conditions environnementales d'après <sup>27</sup>

Écosystèmes côtiers	Conditions environnementales favorables
Marais salants	Côte sableuse ou vaseuse, submersion occasionnelle ; peu profond, littoral à faible énergie
Herbiers	Substrats mous ; environnements abrités des vagues ; disponibilité de la lumière ; profondeur jusqu'à 40 m ; à proximité d'autres écosystèmes côtiers.
Plages	Abondance de sédiments ; lien étroit avec la zone de surf (zone de déferlement des vagues) et les dunes côtières
Dunes côtières	Le long de plages étendues, abondance de sédiments, lien étroit avec les plages adjacentes
Récifs coquilliers	Plateaux abrités et intertidaux ; longues périodes de submersion par les marées ; faibles impacts des vagues ou des courants.

<sup>27</sup> Jordan P. & Fröhle P., 2021. Bridging the gap between coastal engineering and nature conservation? A review of coastal ecosystems as nature-based solutions for coastal protection. *Journal of Coastal Conservation* (2022)

### 3.1. Exemples par type de milieux côtiers

Tableau 3 : Liste non exhaustive de SFN et hydrides par type de milieu à partir d'une recherche bibliographique internationale

Type de milieu	Exemples d'actions SFN	Exemples d'actions SFN hybrides
Dune 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Plantation de végétation</li> <li>▪ Rehaussement/reprofilage dunaire avec restauration               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Brise-vents et clôtures</li> <li>▪ Couvertures végétales</li> </ul> </li> <li>▪ Gestion passive des dunes (limitation fréquentation, sensibilisation)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Structure en biotextiles ou biopolymères               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dunes artificielles (noyau dur)</li> </ul> </li> <li>▪ Brise-vents et clôtures non naturels (ex : plastique, textiles)</li> </ul>
Plage 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Maintien des laisses de mer et échouages d'algues</li> <li>▪ Récifs naturels avec espèces co-constructifs (huîtres, algues, coraux, etc.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rechargement en sable contrôlé</li> <li>▪ By-passing de sédiments (mécanique ou hydraulique)</li> <li>▪ SFN avec structures hydrides (ex: Pieux hydrauliques, brise-lames éco-conçus, géotextile)</li> </ul>
Marais 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Depoldérisation (reconnexion marine)</li> <li>▪ Création de marais salants</li> <li>▪ Restauration de marais dégradés               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Récifs coquilliers</li> </ul> </li> <li>▪ Gestion passive (limitation de la pollution, espèces invasives, gestion de la fréquentation)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Récifs artificiels (ex: coquilles d'huîtres)</li> <li>▪ Réalignement de digue</li> <li>▪ Sédimentation artificielle des marais « Thin layer placement »</li> </ul>
Herbier 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Transplantation d'herbiers</li> <li>▪ Ensemencement d'herbiers</li> <li>▪ Gestion passive (limitation des pressions anthropiques, qualité de l'eau et humaine)</li> <li>▪ Relocalisation des herbiers</li> </ul>	
Récif coquillier 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Création de récifs</li> <li>▪ Restauration de récifs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Récifs artificiels</li> </ul>
Falaise 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gestion de l'eau et de l'érosion               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Végétalisation (stabilisation)</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rechargement en pied de falaise</li> <li>▪ Reprofilage de falaise</li> </ul>
Lagune 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Entretien des passes pour assurer les échanges</li> <li>▪ Réduction des apports des bassins versants (réduction des pollutions)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Décomblement / dragage</li> </ul>
Milieu urbanisé 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Relocalisation des enjeux humains avec une renaturation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Adaptation des infrastructures grises existantes (adjonctions de dispositifs pour la biodiversité)</li> </ul>
Tous types de milieux 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Suppressions d'infrastructures</li> <li>▪ Gestion de la fréquentation</li> <li>▪ Déplacement des activités de loisirs</li> <li>▪ Relocalisation des enjeux humains</li> <li>▪ Réglementations (protection de l'espace, parc national ou régional, etc.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ouvrages de défense en matériaux naturels (bois, fagot, coquilles d'huître, etc.)</li> <li>▪ SFN combinées avec des ouvrages de défenses traditionnels</li> </ul>
Catégorie de solution : Création/Restauration ; Préservation ; Gestion ; Protection réglementaire		

Les pages suivantes illustrent des actions SFN réalisés en France et dans le monde qui peuvent être appliqués en Bretagne.

### 3.1.1. Les systèmes sableux (dune-plage)



Les dunes côtières et les communautés végétales qui y sont associées font obstacle aux assauts de la mer, réduisant les inondations et l'érosion côtière pour les communautés côtières. Cependant, dans de nombreuses zones côtières, leur préservation est menacée à cause du tourisme, les espaces envahissantes ou d'autres causes anthropiques et naturelles<sup>28</sup>. L'état actuel de conservation des systèmes de dunes et leur importance pour réduire les risques côtiers exigent l'élaboration de plans de rétablissement et de restauration des dunes en intégrant également les aspects écologiques, géomorphologiques et sociaux.

#### Les brise-vents

Depuis les dernières décennies, l'installation de brise-vent retenant le sable a été reconnu comme une mesure efficace pour soutenir la dynamique naturelle des dunes côtières, premières barrières naturelles contre les risques de submersion. Leurs installations peuvent être bénéfiques pour la végétation qui a souvent besoin d'un certain temps pour s'établir sur les dunes. L'effet positif des brise-vents résulte de la réduction locale de la vitesse du vent, conduisant à un dépôt de sédiment en arrière des « clôtures ». Ils utilisent ainsi le transport des sédiments par le vent pour faire progresser la stabilité des dunes<sup>29</sup>.

Différents types de matériaux existent pour la mise en place des brise-vents suivants les régions et les pays : bois, textile, plastique, fagot, fascine, fibre végétale, filet, palissade, etc. La pollution plastique des plages étant de plus en plus reconnue comme une menace, le choix se tourne désormais plus facilement vers l'utilisation des matériaux écologiques dégradable (bois). Par ailleurs, la disposition des brise-vents varie en termes de nombre de ligne (simple, double ou plus), l'orientation par rapport au trait de côte (parallèle, perpendiculaire, diagonale, etc.) ou la configuration (droite, zig-zag). Des combinaisons d'arrangements sont courantes. Les configurations droites nécessitent moins de matériaux c'est pourquoi ils sont plus fréquemment utilisés. Les rangées perpendiculaires sont plus efficaces dans le cas où la direction du vent dominant est parallèle au littoral. D'un autre côté, les configurations en zig-zag présentent une efficacité élevée de piégeage de sable car il permet l'accumulation de sédiment quelle que soit la direction du vent.

Enfin, les brise-vents avec plusieurs lignes sont plus efficaces que les simples pour réduire la vitesse du vent et donc retenir le sable. Selon le matériau et la configuration choisie, la porosité des brise-vents varie entre 10 et 75 %. Les brise-vent ont vocation à être ensablés plus ou moins rapidement. Une fois ensevelis, de nouveaux brise-vents peuvent être installés pour continuer à piéger du sable<sup>30</sup>.

Orientation	Nombre de ligne		Double	
	Simple			
Parralèle				
	Droit	Zig-Zag	Droit	Zig-Zag
Perpendiculaire ou oblique				
Perpendiculaire et parralèle				
	Continu	Discontinu		

Figure 8 : Configuration des brise-vents les plus courants<sup>29</sup>

<sup>28</sup> Fernandez-Montblanc T., Duo E., Ciavola P., 2020. Dune reconstruction and revegetation as a potential measure to decrease coastal erosion and flooding under extreme storm conditions. *Ocean and Coastal Management* 188 (2020) 105075.

<sup>29</sup> Eichmanns, C.; Lechthaler, S.; Zander, W.; Pérez, M.V.; Blum, H.; Thorenz, F.; Schüttrumpf, H. Sand Trapping Fences as a Nature-Based Solution for Coastal Protection: An International Review with a Focus on Installations in Germany. *Environments* 2021, 8, 135.

<sup>30</sup> Gouguet, Loïc. (2018). Guide de gestion des dunes et des plages associées. 10.35690/978-2-7592-2482-1.



Figure 9 : Panorama de brise-vent dans le monde

Plusieurs projets ont démontré que les brise-vents ont le potentiel de régénérer naturellement les dunes. Ils peuvent être une réponse d'adaptation plus efficace et plus appropriée que les ouvrages classiques pour protéger le littoral et diminuer les risques d'érosion. Cependant, les expériences démontrent que ces installations nécessitent une surveillance continue et une réparation proactive pour s'assurer qu'elles restent pleinement efficaces <sup>31</sup>.



Figure 10 : Évolution des casiers de ganivelles à Maghery (Irlande) <sup>31</sup>

## Les plantations

Les dunes végétalisées jouent un rôle important dans la protection contre les risques côtiers. Les plantes des dunes favorisent un bilan sédimentaire positif ou proche de la stabilité en fixant le sable par leurs racines. Après des événements climatiques extrêmes, les plantes peuvent contribuer plus facilement à la résilience

<sup>31</sup> Lawlor P., Jackson, D.W.T., 2022. A Nature-Based Solution for Coastal Fore-dune Restoration: The Case Study of Maghery, County Donegal, Ireland. In: Misiune, I., Depellegrin, D., Egarter Vigl, L. (eds) Human-Nature Interactions. Springer, Cham.

de la plage et la reconstruction des dunes car la végétation bloque le sable transporté par le vent et contribue à la formation des dunes embryonnaires (de la même façon que les brise-vents). De même, lorsque qu'elles sont submergées, les plantes augmentent le frottement ce qui réduit l'énergie des vagues diminuant ainsi les risques d'érosion<sup>28</sup>.

Afin de favoriser la restauration de dune dégradée, on peut réaliser la plantation d'espèces végétales. Les dunes sont habituellement des systèmes oligotrophes (pauvres en éléments organiques)<sup>32</sup>. La structure et la composition des communautés végétales dunaires est ainsi limitée à quelques espèces résistantes et tolérantes au sel. Les espèces des dunes mobiles et embryonnaires varient selon les continents.



Figure 11: Exemple de plantation dunaire au Texas et son évolution<sup>32</sup>

Les espèces du genre *Ammophila* peuvent être utilisées dans le monde entier. En France et en Europe, la principale espèce utilisée est l'Oyat (*Ammophila Arenaria*), une plante pionnière dotée de bonne capacité d'adaptation et d'une bonne résistance face à l'ensablement<sup>30</sup>. Elle tolère une salinité modérée. Son long et dense réseau racinaire lui permet de mieux fixer le sable et ainsi mieux stabiliser la dune. D'autres végétaux indigènes peuvent être plantés comme l'Armoise de Lloyd ou l'immortelle des dunes. Pour l'avant dune, le chiendent des sables, une graminée caractéristique des hauts de plages est plus utilisée car il a une meilleure résistance à la salinité que l'Oyat<sup>30</sup>.



Figure 12 : Plantation d'Oyat au Cap Ferret  
© L. Gouguet/ONF

Les plantations sont parfois accompagnées de couvertures végétales (par exemple : en fibre végétale biodégradable) pour prévenir l'érosion jusqu'à que les plantes se développent suffisamment pour stabiliser la zone concernée. Les couvertures aident à maintenir le sable et retiennent également l'humidité pour favoriser la croissance des racines.

<sup>32</sup> Bessette S.R., Hicks D.W, Fierro-Cabo A., 2018. Biological assessment of dune restoration in south Texas. *Ocean and Coastal Management* 163 (2018) 466–477



Figure 13 : Exemple en Australie (Cronulla) : installation d'un filet de Jute après plantation de *Carpobrotus glaucescens* (avant – après)

Les dunes restaurées peuvent avoir une composition communautaire légèrement différente de celle des dunes de référence, mais elles sont rapidement colonisées par une multitude d'espèces végétales et fournissent un habitat aux espèces animales<sup>32</sup>. Au bout de plusieurs années, les dunes sont entièrement et diversement végétalisées. Ces plantes capturent le sable et améliorent la fonction de cet écosystème en augmentant leur hauteur et leur volume. Sans ces efforts de restauration, les dunes seraient probablement lentes à se stabiliser et à s'accumuler, surtout dans les zones fortement érodées.

### Couvertures végétales

Dans les zones dénudées ou peu végétalisées, les couvertures de branchages réduisent fortement la vitesse du vent au niveau du sol, ce qui réduit l'érosion éolienne et permet d'accumuler du sédiment<sup>30</sup>. Les branchages piègent par la même occasion les graines transportées par le vent, qui permet de faciliter le développement de la végétation. Cette technique apporte également de la matière organique lors de la décomposition. Les branchages de source local sont les plus souvent utilisés, en évitant toutefois l'apport d'espèces exogènes indésirables et les couvertures trop denses qui vont se décomposer trop lentement. En France, il existe par exemple des expériences avec les buissons de genêts et des branchages de pins maritimes<sup>30</sup>.



Figure 14 : Couvertures végétales en France © L. Gouquet/ONF

L'ancrage de grand débris ligneux (ex : tronc) est une technique également utilisée pour réduire l'énergie des vagues sur les plages. Cette technique utilisée depuis les années 90 au Canada et aux États-Unis consiste à placer ou enfuir des troncs (toutefois parfois attaché par les chaînes ou broches en aciers) afin de stabiliser les plages et fournir un substrat supplémentaire pour la végétation<sup>33 34</sup>. Cette méthode est principalement utilisée dans des zones à faible énergie hydrodynamique, notamment dans des milieux abrités ou semi-abrités.

<sup>33</sup> Heathfield, D.K.; Walker, I.J. Analysis of coastal dune dynamics, shoreline position, and large woody debris at Wickaninnish Bay, Pacific Rim National Park, British Columbia. *Can. J. Earth Sci.* 2011, 48, 1185–1198.

<sup>34</sup> Kennedy, D.; Woods, J.L. The influence of coarse woody debris on gravel beach geomorphology. *Geomorphology* 2012, 159–160, 106–115.

L'efficacité de protection des grands débris ligneux par rapport aux ouvrages traditionnelles sur les plages fait l'objet de plusieurs études <sup>35</sup>.



Figure 15 : Exemple de débris ligneux : Coté de Thurston, États-Unis (à gauche) et Parksville, Canada (à droite)

### Les reprofilages ou rehaussements dunaires

Afin d'obtenir les meilleurs avantages en matière de protection côtière, la construction ou la réhabilitation des dunes visent à réduire l'érosion et les inondations côtières dans les plaines côtières adjacentes<sup>23</sup>.

Dans le cas de restauration complète d'un cordon dunaire, des reprofilages peuvent être utilisés pour rétablir un profil aérodynamique ou le stabiliser, ou encore limiter les points d'appui du vent<sup>30</sup>. Il peut être en effet utile de recourir au reprofilage mécanique d'une avant-dune dont le versant est trop abrupt car la vitesse du vent y est doublée par rapport à une pente douce, ce qui entraîne des risques d'ouvertures de brèches<sup>36</sup>. Cette méthode implique soit la reconstruction totale de la crête de dune comme une dune plus ou moins naturelle, soit le remodelage de la crête (pentes douces vers la mer ou le remplissage des cuvettes d'érosion) ou soit la reconstruction partielle des crêtes par leur surélévation et leur extension (l'extension du côté mer de la dune est plus courante)<sup>37</sup>.

Lorsqu'un cordon dunaire est jugé insuffisant pour protéger des enjeux en arrière, des techniques de rehaussement dunaire peuvent être privilégiées. L'apport de sable doit être similaire à celui du site <sup>30</sup>. La reconstruction de dune sans végétation ne contribue pas à diminuer les risques de crues<sup>28</sup>. Ainsi, dans la mesure du possible, cette solution va souvent de pair avec des activités de plantation de végétaux ou mise en place de brise-vents. Il est important de garder à l'esprit que la restauration de la morphologie et de la végétation des dunes peut prendre 10 ans ou plus en raison de la nature dynamique de ces systèmes <sup>30</sup>.



Figure 16 : Reprofilage dunaire au Capbreton (Landes)  
© D. Rosebery/ONF.

<sup>35</sup> Falkenrich, P.; Wilson, J.; Nistor, I.; Goseberg, N.; Cornett, A.; Mohammadian, A. Nature-Based Coastal Protection by Large Woody Debris as Compared to Seawalls: A Physical Model Study of Beach Morphology and Wave Reflection. *Water* **2021**, *13*, 2020

<sup>36</sup> Paskoff R., 2010. 4. Les dunes littorales. Dans :R. Paskoff, Les littoraux: Impact des aménagements sur leur évolution (pp. 77-99). Paris: Armand Colin.

<sup>37</sup> Labuz T., 2015. Coastal Dunes: Changes of Their Perception and Environmental Management.

## Limitation de la fréquentation et sensibilisation

Les afflux de touristes sur le littoral sont des pressions pour les espaces dunaires. Les activités de loisirs sur le littoral engendrent un piétinement des dunes par l'homme qui met en danger la couverture végétale, la structure du sol et fragilise la faune<sup>37</sup>. Afin de préserver au mieux ces habitats, la gestion de la fréquentation est une modalité depuis ces dernières années. Les aménagements sur les dunes sont réalisés afin de gérer les flux des véhicules et des piétons. Les accès de plage sont alors encadrés pour limiter le piétinement sur les dunes par la mise en place de ganivelles ou clôtures à fils<sup>30</sup>. En principe, les sentiers d'accès doivent être orientés de manière perpendiculaire aux vents dominants pour éviter que le vent s'engouffre et érode le chemin. Les chemins sensibles à l'érosion sont parfois renforcés par un revêtement adapté (caillebotis, copeaux de bois, etc.) ou sur pilotis<sup>38</sup>.

Ces dernières années, l'utilisation des voitures et autres véhicules motorisés a été limitée. Cette gestion s'accompagne d'une sensibilisation aux usagers à l'érosion côtière ou à la gestion des dunes par de la signalétique (panneau d'interdiction ou d'information).



Figure 17: Exemple de gestion de la fréquentation

## Gestion des laines de mer

Dans la mesure du possible, il faut raisonner le nettoyage des plages, en particulier pour les laines de mer. Les algues déposées par les marées apportent une source naturelle d'oligo-éléments pour le développement des plantes de haut de plage et des dunes embryonnaires. Des préconisations sur la gestion du nettoyage des plages sont nécessaires pour avoir une pratique raisonnée (suppression du criblage, limitation des engins mécaniques, etc.)<sup>30 37</sup>. Le ratissage des plages est une pratique courante pour offrir une plage plus esthétique aux utilisateurs de la plage mais peut nuire sur le long terme à la plage et aux dunes<sup>39</sup>.

Une alternative au ratissage des plages pourrait être de déplacer les algues vers les dunes. L'AlgoBox est un procédé d'éco-ingénierie imaginé par le laboratoire Geo-Ocean de l'Université Bretagne Sud afin d'accélérer la création d'une avant-dune. Les AlgoBox sont des casiers de ganivelles renforcés installés en pied de dune afin de capter le sable transporté par le vent. Une à plusieurs fois par an, les AlgoBox sont remplis avec des algues échouées pour stabiliser les sédiments en place et amortir l'impact des vagues. La décomposition des algues libère des nutriments qui favorisent la pousse de la végétation dunaire. Les algues agissent ainsi de la même manière que les couvertures végétales. Cette végétation permet de fixer le sédiment capté afin de stabiliser le pied de dune. C'est un outil écologique qui utilise l'action combinée des éléments de la nature (vent, sable, échouages d'algues) pour réhabiliter les systèmes dunaires et créer des dunes embryonnaires<sup>40</sup>.

<sup>38</sup> Nordstrom KF, Hartman JM, Freestone AL, Wong M, Jackson NL., 2007. Changes in topography and vegetation near gaps in a protective foredune. *Ocean Coast Manag* 50:945–959

<sup>39</sup> Williams A., Feagin R., 2010. Sargassum as a Natural Solution to Enhance Dune Plant Growth. *Environmental Management* (2010) 46:738–747

<sup>40</sup> Sedrati M., Dalour L., Bulot G., Metge N., 2025. Nature-Based Solutions for Coastal Dune Restoration: The Case Study of AlgoBox in South Brittany, France. *Ecological Engineering* Volume 210, January 2025, 107440.



Figure 18 : Évolution du système de la dune protégé par le système Algobox® à Suscinio entre juillet 2014 et mai 2022.

## Suppression d'ouvrage

Les écosystèmes côtiers peuvent migrés naturellement vers l'intérieur des terres avec l'élévation du niveau de la mer et les tempêtes. Sur les littoraux artificialisés, les structures de protection et le bâti entravent cette capacité de migration, les écosystèmes sont ainsi érodés sur place ou inondés<sup>41</sup>. En addition, les structures de protection construites dans le passé perdre de leur efficacité à mesure qu'elles se détériorent<sup>42</sup>. Par conséquent, de plus en plus de projets font le choix de retirer d'ancien aménagement en dur ou reculer les enjeux humains (bâti, route, parking etc.). Le démantèlement permet de restaurer les habitats côtiers pour qu'ils jouent pleinement leur rôle de protection contre les aléas. Ces stratégies sont plus durables que les structures de protection fixes, mais elles sont plus soumises à des contraintes réglementaires, à l'acceptabilité sociale et peuvent être parfois extrêmement couteuses<sup>41</sup>.

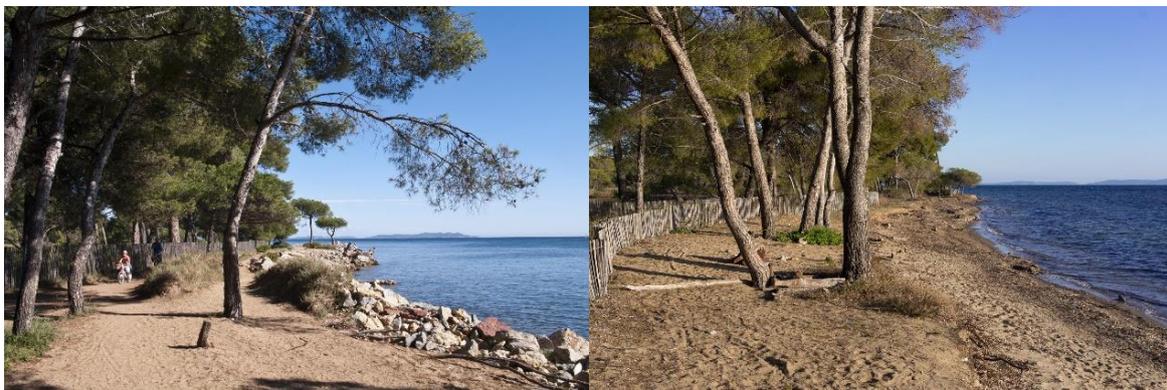


Figure 19 : Exemple de suppression d'enrochement à Vieux Salins d'Hyères (projet Adapto)

## Le rechargement (méthode hybride = qui peut être combinée à des actions SFN)

Le rechargement des plages consiste à ajouter artificiellement des sédiments adaptés sur des plages en érosion. Son but est de maintenir la plage de sable sur une largeur qui assure une protection contre les tempêtes. En effet, plus elle est large et plate, plus la plage améliore la dissipation de l'énergie des vagues. À l'inverse, les plages étroites et abruptes réfléchissent davantage les vagues, accentuant l'érosion<sup>23</sup>. Le rechargement des plages a également un intérêt pour les dunes. Lorsqu'une plage est élargie, de nouvelles dunes embryonnaires peuvent se formées en raison d'un apport suffisant de sable (soufflé par le vent) et d'une protection suffisante contre les ondes de tempête<sup>37</sup>.

<sup>41</sup> Nordstrom K.F., Jackson N.L., 2013. Removing shore protection structures to facilitate migration of landforms and habitats on the bayside of a barrier spit. *Geomorphology* 199 (2013) 179-191.

<sup>42</sup> Nordstrom K.F., Jackson N.L., Roman C.T., 2016. Facilitating landform migration by removing shore protection structures: Opportunities and constraints. *Environmental Science & Policy* 66 (2016) 217-226

Le rechargement des plages est réalisé partout dans le monde. Au Pays-Bas, le rechargement en sable est réalisé sur l'ensemble de du littoral depuis 1995, date pour laquelle le gouvernement national a mise en place sa nouvelle politique de gestion. Chaque année, une quantité totale de 12 millions de m<sup>3</sup> de sable est ajoutée sur les plages néerlandaises, majoritairement par voie maritime<sup>43</sup>.



Figure 20: Méthodes de rechargement

L'effet bénéfique de l'alimentation des plages est toutefois temporaire et donc l'action doit être répétée tous les deux à sept ans, ce qui fait de cette solution une option coûteuse à long terme<sup>23</sup>. Pour pallier ce problème, les Néerlandais expérimentent une nouvelle approche du rechargement en sable : le Sand Motor ("De Zandmotor"). Un méga rechargement de 20 millions de m<sup>3</sup> de sable a été réalisé en 2010 devant la côte de La Haye sur une superficie d'environ 2,5 km<sup>2</sup>. L'idée principale du « moteur à sable » est que les sédiments sont remaniés par les vagues et les courants, fournissant un apport à long terme dans le budget sédimentaire local pour maintenir l'approvisionnement en sédiments des flèches de sable, des plages et dunes à plusieurs kilomètres de distance. Sa durée de vie est estimée à 20 ans. Cette méthode est ainsi moins coûteuse que les rechargements successifs au même endroit<sup>44</sup>.

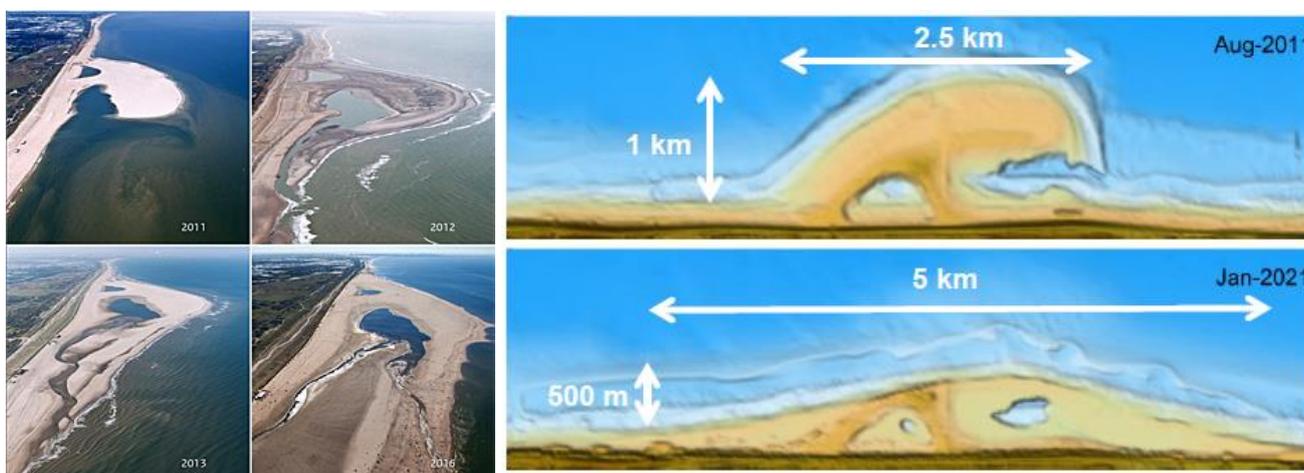


Figure 21: le Sand Motor (source : Dutchwatersector et <sup>43,44</sup>)

Les zones en excès de sable en Bretagne pourraient servir pour des opérations de re-ensablement des plages et ainsi constituer un exemple local. Si l'origine du sable vient du large, l'extraction peut toutefois causer des dommages à l'environnement sur le court terme. De même que les communautés d'invertébrés vivant dans le sable sont très sensibles aux changements de type de sédiment. C'est pourquoi des études appropriées et approfondies doivent être réalisées avant toute extraction et rechargement. La mise en place d'un suivi est également indispensable pour pouvoir juger de la pertinence et de l'efficacité des actions engagées<sup>23</sup>.

<sup>43</sup> van der Meulen F., Ijff S., van Zetten R., 2022. Nature-based solutions for coastal adaptation management, concepts and scope, an overview. Nordic Journal of Botany, 2022 : e03290

<sup>44</sup> Huisman B.J.A., Wijsman J.W.M., Arens S.M., Vertegaal C.T.M., Van der Valk L., Van Donk S.C., Vreugdenhil H.S.I, Taal M.D., 2012. 10-years evaluation of the Sand Motor Results of the Monitoring- and Evaluation Program (MEP) for the period 2011 to 2021.

### 3.1.2. Les marais maritimes



Les marais maritimes offrent une protection naturelle contre les inondations et les tempêtes<sup>45 46</sup> et fournissent un habitat pour de nombreuses espèces animales<sup>47</sup>. Malheureusement ces zones humides disparaissent en raison de diverses pressions d'origine humaine (récupération des terres, compression côtière) ou naturelle (événements climatiques extrêmes, etc.). Pour s'adapter au changement climatique, les marais maritimes doivent pouvoir migrer vers l'intérieur des terres ou accumuler des sédiments. Cependant, ces actions sont entravées par l'urbanisation du littoral. La prise de conscience de l'importance de ces zones humides côtières s'est accompagnée d'efforts visant à préserver ces écosystèmes par la restauration des marais qui s'érodent afin de les ramener à leur état d'origine au plus proche ou la création de nouveaux marais pour inverser le déclin des écosystèmes des marais salants<sup>46</sup>.

Tableau 4 : Principales méthodes de restauration des marais d'après Billah & al., 2021.

Stratégie de restauration	Description
Rétablissement des échanges de marée	Par l'entretien ou la mise en place de canaux/passes Permet la circulation des eaux et permet l'alternance des phases d'inondations et assèchements
Rétablissement des caractéristiques du sédiments	Afin d'améliorer les caractéristiques du sol en vue de la végétalisation, les gravats sont enlevés et remplacés par des sédiments organiques (type vase)
Réalignement géré	Rupture partielle ou totale des structures de défense côtière pour améliorer l'habitat des marais salants. La rupture des digues est intentionnelle ou causée par des processus naturels, tels que les actions des vagues.
Reconstruction du niveau du sol	Du sédiment fin est ajouté au marais pour réduire le stress lié aux inondations pour les plantes moins résistantes au sel
Végétalisation	Effectuée par transplantation d'espèces
Gestion	Suppression des espèces invasives, Gestion de la fréquentation

La restauration des marais salés est très répandue dans l'est des États-Unis et en Europe du Nord<sup>48</sup>. Les actions de restauration se font principalement par la plantation de végétation, la reconnexion hydrologique de terres récupérées à la mer, le retrait géré par la suppression des ouvrages de défense, et le placement de sédiments en couche mince qui augmente l'élévation des marais.

En général, les stratégies de restaurations varient en fonction de l'état de dégradation du marais et des pressions existantes (ex : compression côtière, espèces invasives). En Europe, les marais maritimes se font principalement par « réalignement géré » en supprimant ou en créant des brèches dans les digues. Aux États-Unis, les restaurations se font beaucoup par sédimentation artificielle de marais, par revégétalisation ou encore par élimination de plantes invasives<sup>49</sup>.

<sup>45</sup> Zhu, Z., Vuik, V., Visser, P.J. et al. Historic storms and the hidden value of coastal wetlands for nature-based flood defence. *Nat Sustain* 3, 853–862 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0556-z>

<sup>46</sup> Caldera, G., Stolle, J., Bang, D. P. V., Cornett, A., Murphy, E., & Nistor, I. (2023). WAVE ATTENUATION OF SALT MARSH VEGETATION UNDER STORM CONDITIONS. *Coastal Engineering Proceedings*, (37), management.26.

<sup>47</sup> Myszewski, Margaret A. and Merryl Alber, 2017. Use of Thin Layer Placement of Dredged Material for Salt Marsh Restoration. Report prepared for the Coastal Resources Division, Georgia Department of Natural Resources by the Georgia Coastal Research Council, University of Georgia, Athens, GA, pp. 45.

<sup>48</sup> Mossman, H. L., A. J. Davy, A. Grant, and C. Elphick. 2012. Does managed coastal realignment create saltmarshes with 'equivalent biological characteristics' to natural reference sites? *J. Appl. Ecol.* 49: 1446– 1456. doi:10.1111/j.1365-2664.2012.02198.x

<sup>49</sup> Billah M.M., Bhuiyan M.K.A., Islam M.A., Das K., Hoque R., 2021. Salt marsh restoration: an overview of techniques and success indicators. Vol.:(0123456789)1 *3Environmental Science and Pollution Research*

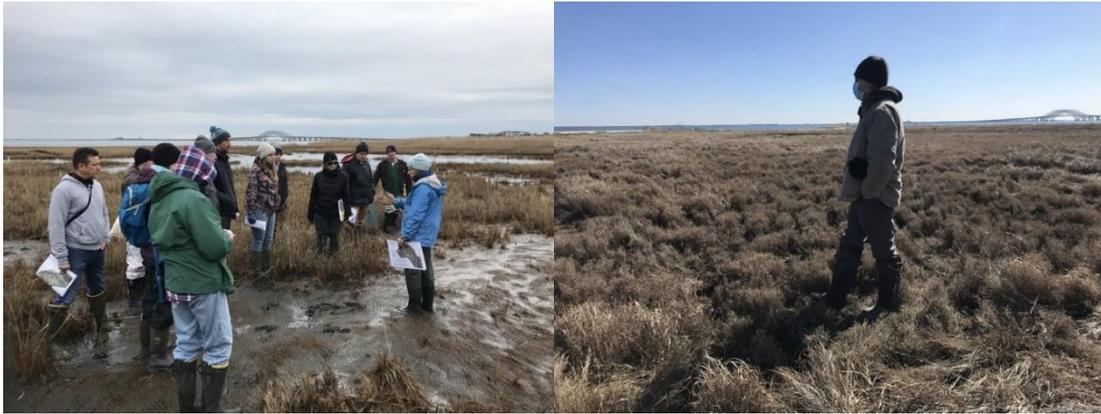


Figure 22 : Les marais de Gardiner County Park avant (2018) et après (2021) la restauration (N. Maher @TNC) <sup>51</sup>

Les marais restaurés peuvent avoir une densité de végétation plus élevée, en raison d'une plantation artificielle ou un cadre de marée plus favorable au développement de la végétation. Une biomasse végétale plus élevée favorise ainsi le piégeage et l'accrétion des sédiments<sup>5</sup>.

La clé d'une restauration réussie est de s'assurer que les processus physiques sont restaurés. Les gestionnaires doivent être conscients qu'une gestion continue est nécessaire pour faire face à des changements d'environnements (ex : invasion d'espèces invasive). La consultation du public et l'établissement d'un dialogue entre les parties intéressées constituent également un élément de plus en plus important des projets de restauration <sup>51</sup>.

### Réalignement géré /Dépoldérisation (méthode hybride)

Le réalignement consiste à déplacer vers l'intérieur des terres les structures de défenses contre les inondations (digues) afin de créer un nouvel espace pour le développement des marais <sup>5</sup>. Le marais établi devant la nouvelle digue offre ensuite une protection à la digue grâce à l'atténuation de l'énergie des vagues<sup>52</sup>.

Les marais salants développés par le biais d'un réalignement géré présentent souvent des différences à long terme par rapport aux marais naturels<sup>53</sup>. Mossman et al. (2012) <sup>50</sup> ont constaté que la végétation halophyte colonise rapidement le marais, mais la composition des communautés végétales diffère, en particulier dans le haut marais.

Toutefois, en tant que réponse d'adaptation, donner la possibilité aux marais maritimes de se déplacer progressivement vers l'intérieur des terres à mesure que le niveau de la mer augmente sans qu'ils soient bloqués par les infrastructures humaines, leur permet de mieux s'adapter au changement climatique<sup>54</sup>.

<sup>50</sup> Maher, N., Salazar, C. & Fournier, A. Advancing salt marsh restoration for coastal resilience: a learning exchange. *Wetlands Ecol Manage* 30, 1033–1047 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11273-021-09841-5>

<sup>51</sup> Paul Adam, Chapter 23 - Salt Marsh Restoration, Editor(s): Gerardo M.E. Perillo, Eric Wolanski, Donald R. Cahoon, Charles S. Hopkinson, *Coastal Wetlands (Second Edition)*, Elsevier, 2019, Pages 817-861, ISBN 9780444638939

<sup>52</sup> Vuik, V. et al. 2018. Assessing safety of nature-based flood defenses : dealing with extremes and uncertainties – *Coast Eng.*, 139: 47-645.

<sup>53</sup> Spencer D.S. Virgin, Allen D. Beck, Laura K. Boone, Allison K. Dykstra, Jeff Ollerhead, Myriam A. Barbeau, Nic R. McLellan, A managed realignment in the upper Bay of Fundy: Community dynamics during salt marsh restoration over 8 years in a megatidal, ice-influenced environment, *Ecological Engineering*, Volume 149, 2020, 105713, ISSN 0925-8574

<sup>54</sup> Cohn, J.L., Copp Franz, S., Mandel, R.H., Nack, C.C., Brainard, A.S., Eallonardo, A. and Magar, V. (2022), Strategies to work towards long-term sustainability and resiliency of nature-based solutions in coastal environments: A review and case studies. *Integr Environ Assess Manag*, 18: 123-134.

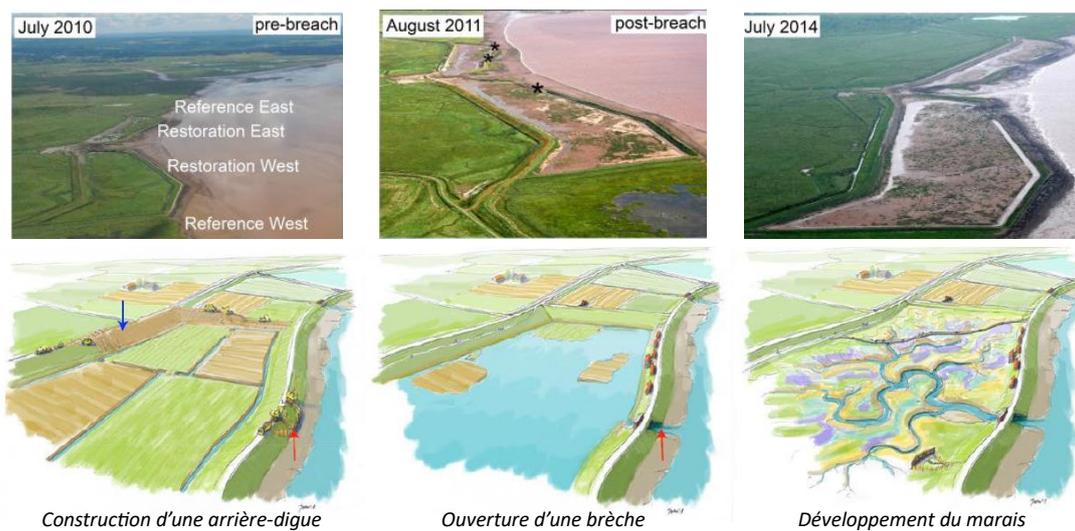


Figure 23 : Exemple de projet de réalignement en baie de Fundy<sup>53</sup> et illustration du concept par Jeroen Helmer<sup>45</sup>

## Création de marais

Des techniques ont été mises au point pour créer des marais sur des sites où ils n'existaient pas auparavant. L'objectif est de fournir des habitats dont la structure et la fonction sont similaires à celles des marais naturels. Cependant, l'établissement de marais aux endroits souhaités peut être difficile à réaliser et la plantation active ne conduit pas nécessairement à la réussite de l'opération<sup>48</sup>. Pour assurer la réussite de la création d'un marais, plusieurs facteurs abiotiques doivent être pris en compte : l'altitude (pour le régime des marées), la pente, les courants, la salinité, les propriétés physiques du sol, etc. Les étapes de la sélection des espèces végétales, la plantation des semis/plantules, la fertilisation du sol ou encore l'entretien et le contrôle des espèces envahissantes sont également importantes pour le succès des opérations<sup>47</sup>. Les communautés végétales peuvent être équivalentes aux marais naturels de référence en quelques années, alors que d'autres caractéristiques, telles que la matière organique du sol, le nombre et les espèces d'invertébrés benthiques, nécessitent beaucoup plus de temps pour atteindre l'équivalence.



Figure 24: Création de marais à Portsmouth et Chatham (source : Northeast Regional Ocean Council)

## Sédimentation artificielle des marais (Thin layer placement) (méthode hybride)

L'une des méthodes hybrides permettant de ralentir la disparition des marais consiste à alimenter artificiellement les marais en sédiments et en matières organiques supplémentaires sous la forme de matériaux de dragage<sup>47</sup>. Une méthode d'application des matériaux de dragage qui est devenue de plus en plus populaire ces dernières années, le placement en couches minces, thin layer placement (TLP) en anglais consiste à déposer des sédiments de dragage en couches minces. Les sédiments sont généralement appliqués par voie hydraulique sous forme de pulvérisation aérienne. L'utilisation au TLP peut avoir quelques effets indésirables : turbidité de la colonne d'eau, recouvrement d'organismes benthiques. La couche de sédiment doit être suffisamment fine pour éviter l'assèchement des marais. De même, si les sédiments déposés n'ont pas les mêmes propriétés physiques et chimiques que les sédiments locaux, les organismes qui recolonisent le site peuvent être différents<sup>47</sup>. Il est ainsi nécessaire d'avoir une évaluation minutieuse et approfondie du site et lors de la planification.

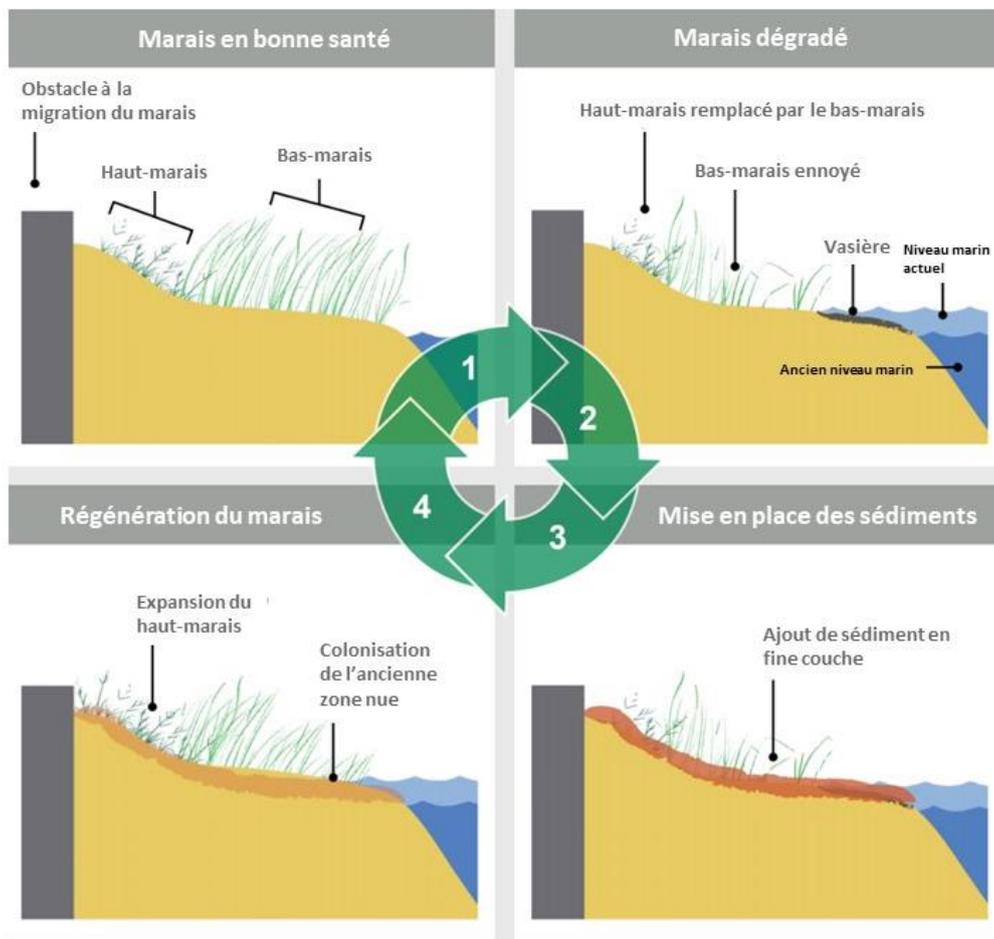


Figure 25: Principe du Thin layer placement<sup>46</sup>

### 3.1.3. Les herbiers

Les herbiers marins constituent le plus grand écosystème de végétation aquatique submergé protégé en Europe. Leur capacité à accumuler les sédiments, ainsi qu'à atténuer les vagues est largement reconnu<sup>55 56</sup>. En Bretagne, le rapport de l'IFREMER de 2007 montre que les herbiers de zostères en Bretagne couvrent plusieurs centaines d'hectares, répartis principalement dans les zones abritées et peu profondes des côtes, telles que le Golfe du Morbihan ou la baie de Morlaix<sup>57</sup>.

Bien que les herbiers marins atténuent beaucoup moins l'énergie des vagues que les ouvrages en durs, ils offrent un avantage supplémentaire : ils stabilisent et captent naturellement les sédiments dans les zones peu profondes sans affecter les courants littoraux, le potentiel de remise en suspension des sédiments est également moindre. Ils offrent ainsi une protection côtière dans les zones abritées et à faible conditions hydrodynamiques. Les zones côtières occupées par des herbiers marins sont toutefois confrontées à des menaces d'origines humaines (dragage, mouillage, pollution, etc.) et naturelles (ex : augmentation de la température de l'eau et du niveau marin, baisse de luminosité)<sup>56</sup>.

La réduction des pressions humaines sur les herbiers existants et l'amélioration de la qualité des eaux sont déjà des premiers pas pour préserver leur santé et leur habitat. Toutefois, le déclin des herbiers est plus rapide que leur régénération naturelle<sup>56</sup>. Par conséquent, au cours des dernières décennies, de nombreux projets de restauration par transplantation ont été tentés. Il s'agit principalement de la plantation de bouture, mais cela peut être également la plantation de plantules germés en laboratoire ou la plantation de graines récoltées en mer ou sur les plages<sup>56</sup>. La transplantation d'herbier peut concerner (a) la réintroduction dans une zone où il a complètement disparu ; (b) le repeuplement d'herbier dans un habitat existant dégradé pour rétablir son abondance passée ; (c) ou la création d'un nouvel habitat dans une zone historiquement non colonisée par des herbiers<sup>58</sup>. *Zostera marina* est l'espèce la plus transplantée dans le monde. Les boutures peuvent être ancrés dans diverses structures pour réduire les risques qu'elles soient balayées par les courants après une transplantation : tapis de jute, treillis en bambou, etc. La restauration des herbiers marins est toutefois difficile. Le succès varie énormément selon l'espèce et la méthode de plantation. Par exemple, sur une compilation de 53 expériences de plantation aux États-Unis, le taux de survie des herbiers plantés est de 42% après un an<sup>58</sup>. La majorité des restaurations d'herbier se font à petite échelle, expliquant possiblement le faible taux de succès<sup>59</sup>.

Une planification minutieuse et des connaissances scientifiques peuvent augmenter les chances de réussite de la transplantation d'herbiers marins. Dans un premier temps, réduire les pressions existantes sur le milieu avant la plantation est fortement conseillé. Des parcelles de restauration plus grandes et plus densément plantées auraient plus de chances de réussir<sup>60</sup>. Des études soulignent également de collecter des boutures de plantes mères provenant d'habitats comparables et proches géographiquement au site receveur<sup>60</sup>.

<sup>55</sup> Ondiviela B., Losada I.J., Lara J.L., Maza M., Galván C., Bouma T.J., van Belzen J., 2014. The role of seagrasses in coastal protection in a changing climate, Coastal Engineering, Volume 87, 2014, Pages 158-168, ISSN 0378-383

<sup>56</sup> Dinu I., Monclús i Borí A., Gràcia V., García-León M., Lin-Ye J., Stănică A., Sánchez-Arcilla A., 2023. Assessing the coastal protection role of seagrass meadows along a barrier beach, southern Romanian coast, Journal of Sea Research, Volume 191, 2023, 102329, ISSN 1385-1101

<sup>57</sup> Rollet Claire, Corbeau Clémence (2008). Atlas des herbiers de zostères (*Zostera marina* et *Zostera noltii*) de la région Bretagne. Inventaire 2007 des sites de localisation. Ref. 45 cartes. + annexes - RST/IFREMER/DYNECO/AG/08-08/1/REBENT (V1) Edition 09/2008. Ifremer. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00765/87708/>

<sup>58</sup> Boudouresque, C.-F.; Blanfuné, A.; Pergent, G.; Thibaut, T. 2021. Restoration of Seagrass Meadows in the Mediterranean Sea: A Critical Review of Effectiveness and Ethical Issues. Water 2021, 13, 1034. <https://doi.org/10.3390/w13081034>

<sup>59</sup> Katwijk, Marieke & Thorhaug, Anitra & Marba, Nuria & Orth, Robert & Duarte, Carlos & Kendrick, Gary & Althuizen, Inge & Balestri, Elena & Bernard, Guillaume & Cambridge, Marion & Cunha, Alexandra & Durance, Cynthia & Giesen, Wim & Han, Qiuying & Hosokawa, Shinya & Kiswara, Wawan & Komatsu, Teruhisa & Lardicci, Claudio & Lee, Kun-Seop & Verduin, Jennifer, 2015. Global analysis of seagrass restoration: The importance of large-scale planting. Journal of Applied Ecology. 53. n/a-n/a. 10.1111/1365-2664.12562.

Enfin, la sélection de l'habitat est cruciale. Dans son guide méthodologique van Katwijk et al, 2009<sup>60</sup> concluent que le site de transplantation (i) doit de préférence avoir eu des antécédents de croissance d'herbiers marins, (ii) sa profondeur doit être similaire à celle des herbiers naturels situés à proximité et (iii) les exigences en matière d'habitat doivent être satisfaites autant que possible (type de sédiments, faibles courants, taux de salinité, luminosité importante, etc.). En cas de succès, la transplantation d'herbiers peut également soutenir la biodiversité marine<sup>61</sup>.

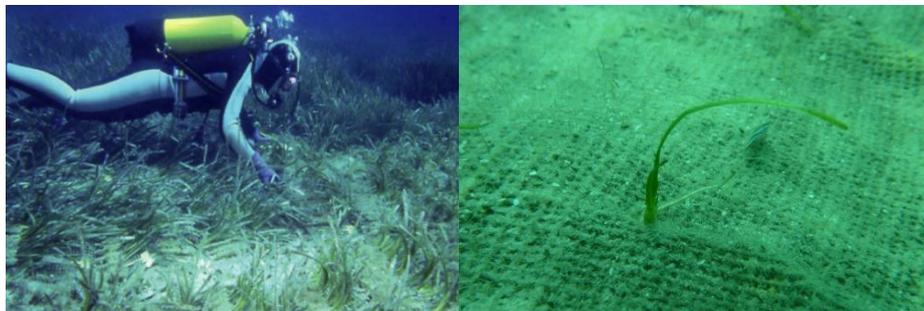


Figure 26: Transplantation de *Posidonia oceanica* en méditerranée ; transplantation dans un filet de jute

### 3.1.4. Les récifs coquilliers



Les récifs coquilliers de la même façon que les récifs coraliens, marais et herbiers, fournissent des services écologiques importants tel que la protection du rivage en agissant comme des brise-lames<sup>62</sup>, l'approvisionnement en nourriture, l'amélioration de la qualité des eaux et la biodiversité<sup>63</sup>. Ils présentent également l'avantage de s'adapter à l'élévation du niveau de la mer car ils peuvent croître rapidement<sup>64</sup>. La surexploitation, la pollution, les maladies et les prédateurs envahissants ont toutefois entraîné un déclin rapide et le plus souvent irréversible<sup>65</sup>. Concernant les huîtres, les pertes au niveau mondial seraient estimées à plus de 85 %<sup>66</sup>.

Avec une intervention de restauration, les récifs peuvent se rétablir, notamment concernant les huîtres. Les projets de restauration d'huîtres se multiplient en ampleur et en quantité, principalement aux Etats-Unis<sup>67</sup>. Ces projets ont besoin de substrats, en général, les coquilles d'huîtres consolidées sont des substrats privilégiés pour le recrutement des huîtres<sup>68</sup>. Des alternatives de substrats existent comme le calcaire, la

<sup>60</sup> M.M. van Katwijk, A.R. Bos, V.N. de Jonge, L.S.A.M. Hanssen, D.C.R. Hermus, D.J. de Jong, Guidelines for seagrass restoration: Importance of habitat selection and donor population, spreading of risks, and ecosystem engineering effects, *Marine Pollution Bulletin*, Volume 58, Issue 2, 2009, Pages 179-188, ISSN 0025-326X

<sup>61</sup> Saleh, Ejria & Yap, Tzuen Kiat & Gallagher, John., 2020. Seagrass coverage and associated fauna at Gaya Island, Sabah, Malaysia: A pilot seagrass transplantation. *Borneo Journal of Marine Science and Aquaculture (BjOMSA)*. 4. 14-19. 10.51200/bjomsa.v4i1.1786.

<sup>62</sup> Hitzegrad, J., Rentsch, L., Windt, C., & Goseberg, N. (2023). OYSTER REEF AND MUSSEL BED SURROGATES SUBJECTED TO WAVES. *Coastal Engineering Proceedings*, (37), waves.32. <https://doi.org/10.9753/icce.v37.waves.32>

<sup>63</sup> Ralph J.M. Temmink, Gregory S. Fivash, Laura L. Govers, Janne Nauta, Beatriz Marin-Díaz, Peter M.J.M. Cruijsen, Karin Didderen, Emma Penning, Han Olf, Jannes H.T. Heusinkveld, Leon P.M. Lamers, Wouter Lengkeek, Marjolijn J.A. Christianen, Valérie C. Reijers, Tjeerd J. Bouma, Tjisse van der Heide, Initiating and upscaling mussel reef establishment with life cycle informed restoration: Successes and future challenges, *Ecological Engineering*, Volume 175, 2022, 106496, ISSN 0925-8574

<sup>64</sup> Stephen Hynes, Ryan Burger, João Tudella, Daniel Norton, Wenting Chen, Estimating the costs and benefits of protecting a coastal amenity from climate change-related hazards: Nature based solutions via oyster reef restoration versus grey infrastructure, *Ecological Economics*, Volume 194, 2022, 107349, ISSN 0921-8009

<sup>65</sup> K. Liversage, An example of multi-habitat restoration: Conceptual assessment of benefits from merging shellfish-reef and boulder-reef restorations, *Ecological Engineering*, Volume 143, 2020, 105659, ISSN 0925-8574

<sup>66</sup> Beck, M.W., Brumbaugh, R.D., Airoidi, L., Carranza, A., Coen, L.D., Crawford, C., Defeo, O., Edgar, G.J., Hancock, B., Kay, M.C., Lenihan, H.S., 2011. Oyster reefs at risk and recommendations for conservation, restoration, and management. *BioScience* 61, 107-116

<sup>67</sup> Taylor Goelz, Bruce Vogt, Troy Hartley "Alternative Substrates Used for Oyster Reef Restoration: A Review," *Journal of Shellfish Research*, 39(1), 1-12, (14 April 2020)

<sup>68</sup> Mohammad J. Uddin, Kelly J. Smith, Craig W. Hargis, Development of pervious oyster shell habitat (POSH) concrete for reef restoration and living shorelines, *Construction and Building Materials*, Volume 295, 2021, 123685, ISSN 0950-0618

porcelaine, pierres, autres coquilles etc<sup>68</sup>. Les bases calcaïques de nombreux substrats sont toutefois vulnérables à l'acidification ce qui peut nuire à leur efficacité sur le long terme.

Une expérimentation aux Pays-Bas a utilisé des structures biodégradables intégrées à des cordes de coco pour stimuler le recrutement des larves de moule et réduire par la suite la prédation grâce à la complexité du substrat<sup>65</sup>. Malgré la sédimentation et les tempêtes qui provoquent respectivement des enfouissements et la disparition de structures, le principe de restauration fonctionne en entraînant une augmentation de la biomasse des moules après 2 ans.

Pour assurer la viabilité à long terme des récifs ostréicoles, les populations d'huîtres doivent être durables. Le recrutement des naissains est un mécanisme critique pour le succès de la restauration. Lors de l'évaluation des sites de restauration de récifs, la distance par rapport au récif vivant le plus proche ou encore les conditions hydrodynamiques doivent être prise en compte<sup>69</sup>. De même, il n'est pas rare que les efforts de restauration des récifs d'huîtres échouent en raison des prédateurs<sup>70</sup>.

Les récifs coquilliers sont beaucoup utilisés dans les opérations de « living shoreline », concept très développé aux Etats-Unis dans les zones abritées en alternatives à des ouvrages traditionnels comme les digues pour assurer la résilience côtière à long terme et la fonction de l'écosystème<sup>43</sup>. Ces projets se concentrent sur l'utilisation de substrats principalement naturels pour créer des récifs artificiels qui offrent des possibilités de cohabitation<sup>71</sup>. Les récifs d'huîtres naturels (ou des sacs de coquilles d'huîtres) peuvent être utilisés pour protéger des plantations de marais maritimes. Lorsqu'elles sont planifiées et mises en œuvre avec succès, ces méthodes permettraient d'atténuer l'énergie des vagues, d'améliorer la qualité de l'eau et fournir un habitat<sup>54</sup>.

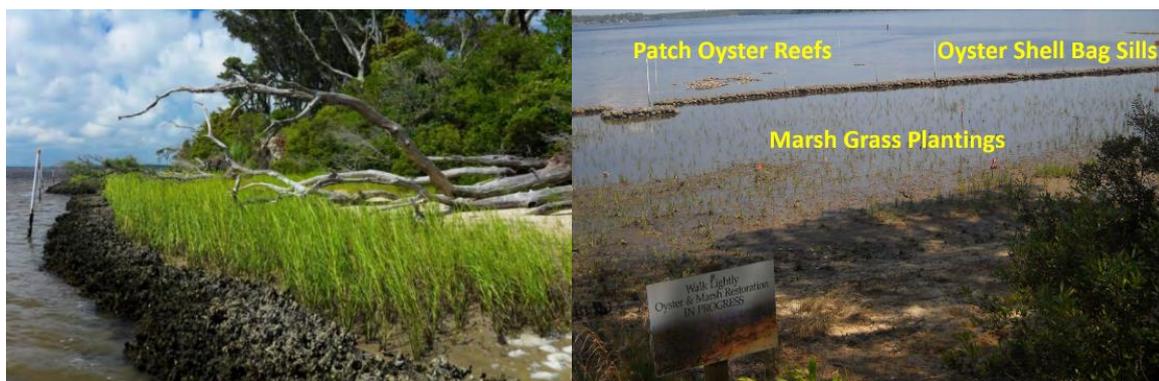


Figure 27: Exemple de "living shoreline" avec récifs coquilliers en Caroline du Nord (photos: North Carolina Coastal Federation)

### 3.1.5. Les falaises



Les falaises bretonnes sont essentiellement rocheuses (granit, grès, etc.) plutôt que meubles (sable, limon, argile, craie, etc.). Les falaises meubles sont plus sujettes à l'érosion et aux glissements de terrain que les falaises rocheuses. L'érosion des falaises concerne principalement le pied de falaise en raison de l'action des vagues. D'autres facteurs peuvent causer des effondrements tel que la structure géologique (failles), la pente de la falaise et le climat (pluie).

<sup>69</sup> Megan La Peyre, Jessica Furlong, Laura A. Brown, Bryan P. Piazza, Ken Brown, Oyster reef restoration in the northern Gulf of Mexico: Extent, methods and outcomes, *Ocean & Coastal Management*, Volume 89, 2014, Pages 20-28, ISSN 0964-5691

<sup>70</sup> Benjamin A. Belgrad, Emily M. Combs, William C. Walton, Delbert L. Smee, Use of predator cues to bolster oyster resilience for aquaculture and reef restoration, *Aquaculture*, Volume 538, 2021, 736553, ISSN 0044-8486

<sup>71</sup> Moosavi S. 2017. Ecological Coastal Protection: Pathways to Living Shorelines. *Procedia Engineering* 196 ( 2017 ) 930 – 938

Les falaises ont une grande valeur paysage et attirent de plus en plus de visiteurs<sup>72</sup>. Toutefois, l'augmentation de la fréquentation et du niveau de la mer accélère les risques d'érosion des falaises<sup>73</sup>. C'est pourquoi il est donc de plus en plus nécessaire de gérer ces espaces en tenant compte de la sécurité des visiteurs, mais aussi de la préservation de l'environnement<sup>74</sup>. Les stratégies de gestion côtières doivent également envisager une meilleure gestion des falaises et des zones à proximité afin de garantir la résilience côtière<sup>74</sup>. Par exemple, les linéaires côtiers les plus exposés devraient être délimités pour empêcher l'accès du public<sup>75</sup>.

En termes de solutions douces, la stabilisation des falaises est utilisée pour limiter l'érosion et le risque d'effondrement. L'une des techniques de stabilisation consiste à revégétaliser le sommet de falaise, les zones endommagées ou la pente afin de limiter le risque d'instabilité<sup>76</sup>. Cette technique est particulièrement adaptée aux falaises meubles. La végétation contribue à renforcer la structure de la falaise et augmenter sa cohésion. Cette mesure peut être appliquée en créant des bermes boisées ou des fossés d'évacuation des eaux. Le type de végétation planté doit être choisi en fonction de la nature du sol ou de la surface rocheuse mais elle doit être également adaptée en fonction de la stabilité de la pente. Sur les pentes instables, les espèces végétales à croissance rapide ayant des racines profondes sont à privilégier car elles fixent le sol et diminuent les mouvements. Si elle n'est pas bien gérée, la croissance des racines peut même avoir des effets néfastes en provoquant la fracturation de la roche. Malheureusement, la revégétalisation ne peut être appliquée qu'à de petites zones et, dans la plupart des cas, elle ne constitue qu'une solution à court terme. Dans la pratique, l'approche est ainsi souvent combinée avec des méthodes plus traditionnelles (grille ou filet, enrochements, fixations, drainage des eaux souterraines, reprofilage de la pente des falaises)

Une autre méthode consiste à drainer l'excès d'eau en surface<sup>76</sup>. Elle peut se faire en créant des fossés au sommet/ ou sur la pente. Cela empêchera l'eau de s'écouler le long des zones fragiles, ce qui peut entraîner des glissements de roches et de sédiments jusqu'au pied de la falaise.

La mise en place d'un stock de sable ou galet en pied de falaise peut également compenser le déséquilibre de sédiments. Dans ce sens, les dunes de sables peuvent être considérées comme des barrières naturelles contre les risques d'effondrement des falaises<sup>74</sup>.



Figure 28: Expérimentation d'une dune en pied de falaise<sup>72</sup>

<sup>72</sup> Clemente J.A., Uriarte J.A., Spizzichino D., Faccini F., Morales T., 2023. Rockfall hazard mitigation in coastal environments using dune protection: A nature-based solution case on Barinatxe beach (Basque Coast, northern Spain). *Engineering Geology* Volume 314, 5 March 2023, 107014

<sup>73</sup> Pena S.B., Abreu M.M., Magalhaes M.R., 2021. Rethinking coastal cliff protection zones for landscape planning. What limits are enough? *Applied Geography* Volume 127, February 2021, 102387

<sup>74</sup> Morales T., Clemente J.A., Damás Mollá L., Izagirre E., Uriarte J.A., 2021. Analysis of instabilities in the Basque Coast Geopark coastal cliffs for its environmentally friendly management (Basque-Cantabrian basin, northern Spain) *Eng. Geol.*, 283 (2021), Article e106023

<sup>75</sup> Bergillos R.J., Rodríguez-Delgado C., Medina L., Iglesias G., 2020. Coastal cliff exposure and management, *Ocean & Coastal Management*, Volume 198, 2020, 105387, ISSN 0964-5691

<sup>76</sup> Climate ADAPT (<https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/adaptation-options/cliff-stabilisation>)

## CONCLUSION

---

La mise en œuvre de solutions fondées sur la nature (SFN) en milieu littoral présente de nombreux atouts, mais elle demeure une démarche complexe, qui nécessite une connaissance approfondie et contextuelle des sites d'intervention. Une solution efficace dans un endroit donné ne peut être appliquée systématiquement ailleurs : les caractéristiques locales — régimes de vents, marées, courants, houles, morphologie côtière, sédiments, occupation du sol — influencent fortement la performance des actions envisagées. Une approche intégrée, conciliant contraintes physiques, dynamiques écologiques, enjeux socio-économiques et cadre réglementaire est donc essentielle pour éviter des interventions mal adaptées, voire contre-productives. Dans la pratique, il est souvent réalisé une combinaison de plusieurs types d'interventions, en associant des solutions fondées sur la nature à des approches dites hybrides, mêlant éléments écologiques et infrastructures grises, voire à des ouvrages de protection "durs" lorsque les enjeux ou les contraintes l'exigent. Il convient toutefois de rappeler qu'une SFN repose sur trois critères fondamentaux : le projet doit être fondé sur le fonctionnement des écosystèmes, répondre à un défi sociétal clairement identifié (comme l'érosion, la submersion, ou la perte de biodiversité), et générer des bénéfices pour la nature et la biodiversité.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- <sup>1</sup> Barbier E. B., 2015. Climate change impacts on rural poverty in low- elevation coastal zones. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 165, A1–A13.
- <sup>2</sup> Observatoire de l'environnement en Bretagne : <https://bretagne-environnement.fr/>
- <sup>3</sup> Di Noia J., 2022. Agent-Based Models for Climate Change Adaptation in Coastal Zones. A Review, Nota di Lavoro 020.2022, Milano, Italy: Fondazione Eni Enrico Mattei.
- <sup>4</sup> Davis MK., Krüger I., Hinzmann, M., 2015. Coastal Protection and Suds – Nature-Based Solutions. RECREATE Project Policy Brief No. 4.
- <sup>5</sup> Van Coppenolle R., 2018. Potential for Nature-based Mitigation of Coastal Flood Risks: From Regional to Global Scale Assessments. [Biology] Temmerman, Stijn. Ph.D.(irua:156495): 208.
- <sup>6</sup> <https://www.ipcc.ch/>
- <sup>7</sup> Short A. D., Jackson D. W. T., 2021. Beach morphodynamics. In Reference module in earth systems and environmental sciences. Elsevier.
- <sup>8</sup> Jackson D. W. T., Costas S., González-Villanueva R., Cooper J. A. G., 2019. A global 'greening' of coastal dunes: An integrated consequence of climate change? *Global and Planetary Change*, 182, 103026.
- <sup>9</sup> IPCC, 2013. Summary for policymakers. In: Stocker, T.F., et al. (Eds.), *Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- <sup>10</sup> IPCC, 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. In: Masson-Delmotte V., & al. (Eds). Cambridge University Press.
- <sup>11</sup> Toimil A., Losada I.J., Nicholls R.J., Dalrymple R.A., Stive M.J.F., 2020. Addressing the challenges of climate change risks and adaptation in coastal areas: A review. *Coastal Engineering* 156 (2020) 103611.
- <sup>12</sup> Masselink, G., Scott, T., Poate, T., Russell, P., Davidson, M., and Conley, D. (2016). The Extreme 2013/2014 Winter Storms: Hydrodynamic Forcing and Coastal Response along the Southwest Coast of England. *Earth Surf. Process. Landforms* 41 (3), 378–391.
- <sup>13</sup> Haut Conseil Breton pour le Climat, 2024. Le changement climatique en Bretagne, Bulletin 2024, 36p.
- <sup>14</sup> Kraus N.C., 1996. *History and Heritage of Coastal Engineering*. American Society of Civil Engineering, New York, NY.
- <sup>15</sup> Sorensen, R.M., Weisman, R.N., Lennon, G.P., 1984. Control of erosion, inundation, and salinity intrusion caused by sea level rise. In: Barth, M.C., Titus, J.G., by, Published (Eds.), *Greenhouse Effect and Sea Level Rise. A Challenge for This Generation*. Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York. ISBN 0-442-20992-6.
- <sup>16</sup> Tol R.S.J., Klein R.J.T., & Nicholls R.J. 2008. Towards successful adaptation to sea-level rise along Europe's coasts. *Journal of Coastal Research*, 24(2), 432–442.
- <sup>17</sup> Borner J. S, 2020. *Climate Adaptation for Coastal Zones: Benefits and tradeoffs in a southern Swedish case. Second cycle, A2E*. Alnarp: SLU, Dept. Of Landscape Architecture, Planning and Management.
- <sup>18</sup> Europe's seas and coasts, 2020.
- <sup>19</sup> European Commission, 2021. *The EU Blue Economy Report*. Publications Office of the European Union. Luxembourg
- <sup>20</sup> IPCC, 2019. Chapter 4: Sea Level Rise and Implications for Low Lying Islands, Coasts and Communities.
- <sup>21</sup> O'Leary B.C., Fonseca C., Cornet C.C., de Vries M.B., Degia A.K., Failler P., Furlan E., Garrabou J., Gil A., Hawkins J.P., Krause-Jensen D., Le Roux X., Peck M.A., Pérez G., Queirós A.M., Rózyński G., Sanchez-Arcilla A., Simide R., Pinto I.S., Trégarot E., Roberts C.M., 2023. Embracing Nature-based Solutions to promote resilient marine and coastal ecosystems, *Nature-Based Solutions*, Volume 3, 2023, 100044, ISSN 2772-4115, <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100044>.
- <sup>22</sup> Chee S.Y., Firth L.B., Then AY-H, Yee J.C, Mujahid A., Affendi Y.A., Amir A.A., Lau C.M., Ooi J.L.S., Quek Y.A., Tan C.E., Yap T.K., Yeap C.A. and McQuatters-Gollop A. 2021. Enhancing Uptake of Nature-Based Solutions for Informing Coastal Sustainable Development Policy and Planning: A Malaysia Case Study. *Front. Ecol. Evol.* 9:708507
- <sup>23</sup> World Bank. 2022. *Compendium : Coastal Management Practices in West Africa - Existing and Potential Solutions to Control Coastal Erosion, Prevent Flooding and Mitigate Damage to Society*. Washington, DC: World Bank. © World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/37351> License: CC BY 3.0 IGO
- <sup>24</sup> IUCN Comité Français, 2022. *Les solutions fondées sur la Nature pour les risques littoraux en France*. Paris. Fr
- <sup>25</sup> Temmerman S., Meire P., Bouma T. J., Herman P. M. J., Ysebaert T., & De Vriend H. J., 2013. Ecosystem based coastal defence in the face of global change. *Nature*, 504(7478), 79–83. <https://doi.org/10.1038/nature12859>
- <sup>26</sup> Saleh F. & Weinstein M.P. 2016. The role of nature-based infrastructure (NBI) in coastal resiliency planning: A literature review. *Journal of Environmental Management* 183 (2016) 1088-1098. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.077>
- <sup>27</sup> Jordan P. & Fröhle P., 2021. Bridging the gap between coastal engineering and nature conservation? A review of coastal ecosystems as nature-based solutions for coastal protection. *Journal of Coastal Conservation* (2022)
- <sup>28</sup> Fernandez-Montblanc T., Duo E., Ciavola P., 2020. Dune reconstruction and revegetation as a potential measure to decrease coastal erosion and flooding under extreme storm conditions. *Ocean and Coastal Management* 188 (2020) 105075.
- <sup>29</sup> Eichmanns, C.; Lechthaler, S.; Zander, W.; Pérez, M.V.; Blum, H.; Thorenz, F.; Schüttrumpf, H. Sand Trapping Fences as a Nature-Based Solution for Coastal Protection: An International Review with a Focus on Installations in Germany. *Environments* 2021, 8, 135.
- <sup>30</sup> Gouguet, Loïc. (2018). *Guide de gestion des dunes et des plages associées*. 10.35690/978-2-7592-2482-1.

- <sup>31</sup> Lawlor P., Jackson, D.W.T., 2022. A Nature-Based Solution for Coastal Fore-dune Restoration: The Case Study of Maghera, County Donegal, Ireland. In: Misiune, I., Depellegrin, D., Egarter Vigl, L. (eds) Human-Nature Interactions. Springer, Cham.
- <sup>32</sup> Bessette S.R., Hicks D.W, Fierro-Cabo A., 2018. Biological assessment of dune restoration in south Texas. *Ocean and Coastal Management* 163 (2018) 466–477
- <sup>33</sup> Heathfield, D.K.; Walker, I.J. Analysis of coastal dune dynamics, shoreline position, and large woody debris at Wickaninnish Bay, Pacific Rim National Park, British Columbia. *Can. J. Earth Sci.* 2011, 48, 1185–1198.
- <sup>34</sup> Kennedy, D.; Woods, J.L. The influence of coarse woody debris on gravel beach geomorphology. *Geomorphology* 2012, 159–160, 106–115.
- <sup>35</sup> Falkenrich, P.; Wilson, J.; Nistor, I.; Goseberg, N.; Cornett, A.; Mohammadian, A. Nature-Based Coastal Protection by Large Woody Debris as Compared to Seawalls: A Physical Model Study of Beach Morphology and Wave Reflection. *Water* 2021, 13, 2020
- <sup>36</sup> Paskoff R., 2010. 4. Les dunes littorales. Dans :R. Paskoff, Les littoraux: Impact des aménagements sur leur évolution (pp. 77-99). Paris: Armand Colin.
- <sup>37</sup> Labuz T., 2015. Coastal Dunes: Changes of Their Perception and Environmental Management.
- <sup>38</sup> Nordstrom KF, Hartman JM, Freestone AL, Wong M, Jackson NL., 2007. Changes in topography and vegetation near gaps in a protective fore-dune. *Ocean Coast Manag* 50:945–959
- <sup>39</sup> Williams A., Feagin R., 2010. Sargassum as a Natural Solution to Enhance Dune Plant Growth. *Environmental Management* (2010) 46:738–747
- <sup>40</sup> Sedrati M., Dalour L., Bulot G., Metge N., 2025. Nature-Based Solutions for Coastal Dune Restoration: The Case Study of Albox in South Brittany, France. *Ecological Engineering* Volume 210, January 2025, 107440.
- <sup>41</sup> Nordstrom K.F., Jackson N.L., 2013. Removing shore protection structures to facilitate migration of landforms and habitats on the bayside of a barrier spit. *Geomorphology* 199 (2013) 179-191.
- <sup>42</sup> Nordstrom K.F., Jackson N.L, Roman C.T., 2016. Facilitating landform migration by removing shore protection structures: Opportunities and constraints. *Environmental Science & Policy* 66 (2016) 217-226
- <sup>43</sup> van der Meulen F., Ijff S., van Zetten R., 2022. Nature-based solutions for coastal adaptation management, concepts and scope, an overview. *Nordic Journal of Botany*, 2022 : e03290
- <sup>44</sup> Huisman B.J.A, Wijsman J.W.M., Arens S.M., Vertegaal C.T.M., Van der Valk L., Van Donk S.C., Vreugdenhil H.S.I, Taal M.D., 2012. 10-years evaluation of the Sand Motor Results of the Monitoring- and Evaluation Program (MEP) for the period 2011 to 2021.
- <sup>45</sup> Zhu, Z., Vuik, V., Visser, P.J. et al. Historic storms and the hidden value of coastal wetlands for nature-based flood defence. *Nat Sustain* 3, 853–862 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0556-z>
- <sup>46</sup> Caldera, G., Stolle, J., Bang, D. P. V., Cornett, A., Murphy, E., & Nistor, I. (2023). WAVE ATTENUATION OF SALT MARSH VEGETATION UNDER STORM CONDITIONS. *Coastal Engineering Proceedings*, (37), management.26.
- <sup>47</sup> Myszewski, Margaret A. and Merryl Alber, 2017. Use of Thin Layer Placement of Dredged Material for Salt Marsh Restoration. Report prepared for the Coastal Resources Division, Georgia Department of Natural Resources by the Georgia Coastal Research Council, University of Georgia, Athens, GA, pp. 45.
- <sup>48</sup> Mossman, H. L., A. J. Davy, A. Grant, and C. Elphick. 2012. Does managed coastal realignment create saltmarshes with 'equivalent biological characteristics' to natural reference sites?. *J. Appl. Ecol.* 49: 1446– 1456. doi:10.1111/j.1365-2664.2012.02198.x
- <sup>49</sup> Billah M.M., Bhuiyan M.K.A., Islam M.A., Das K., Hoque R., 2021. Salt marsh restoration: an overview of techniques and success indicators. Vol.:(0123456789)1 *3Environmental Science and Pollution Research*
- <sup>50</sup> Maher, N., Salazar, C. & Fournier, A. Advancing salt marsh restoration for coastal resilience: a learning exchange. *Wetlands Ecol Manage* 30, 1033–1047 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11273-021-09841-5>
- <sup>51</sup> Paul Adam, Chapter 23 - Salt Marsh Restoration, Editor(s): Gerardo M.E. Perillo, Eric Wolanski, Donald R. Cahoon, Charles S. Hopkinson, *Coastal Wetlands (Second Edition)*, Elsevier, 2019, Pages 817-861, ISBN 9780444638939
- <sup>52</sup> Vuik, V. et al. 2018. Assessing safety of nature-based flood defenses : dealing with extremes and uncertainccites – *Coast Eng.*, 139: 47-645.
- <sup>53</sup> Spencer D.S. Virgin, Allen D. Beck, Laura K. Boone, Allison K. Dykstra, Jeff Ollerhead, Myriam A. Barbeau, Nic R. McLellan, A managed realignment in the upper Bay of Fundy: Community dynamics during salt marsh restoration over 8 years in a megatidal, ice-influenced environment, *Ecological Engineering*, Volume 149, 2020, 105713, ISSN 0925-8574
- <sup>54</sup> Cohn, J.L., Copp Franz, S., Mandel, R.H., Nack, C.C., Brainard, A.S., Eallonardo, A. and Magar, V. (2022), Strategies to work towards long-term sustainability and resiliency of nature-based solutions in coastal environments: A review and case studies. *Integr Environ Assess Manag*, 18: 123-134.
- <sup>55</sup> Ondiviela B., Losada I.J., Lara J.L., Maza M., Galván C., Bouma T.J., van Belzen J., 2014. The role of seagrasses in coastal protection in a changing climate, *Coastal Engineering*, Volume 87, 2014, Pages 158-168, ISSN 0378-383
- <sup>56</sup> Dinu I., Monclús i Bori A., Gràcia V., García-León M., Lin-Ye J., Stănică A., Sánchez-Arcilla A., 2023. Assessing the coastal protection role of seagrass meadows along a barrier beach, southern Romanian coast, *Journal of Sea Research*, Volume 191, 2023, 102329, ISSN 1385-1101
- <sup>57</sup> Rollet Claire, Corbeau Clémence (2008). Atlas des herbiers de zostères (*Zostera marina* et *Zostera noltii*) de la région Bretagne. Inventaire 2007 des sites de localisation. Ref. 45 cartes. + annexes - RST/IFREMER/DYNECO/AG/08-08/1/REBENT (V1) Edition 09/2008. Ifremer. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00765/87708/>
- <sup>58</sup> Boudouresque, C.-F.; Blanfuné, A.; Pergent, G.; Thibaut, T. 2021. Restoration of Seagrass Meadows in the Mediterranean Sea: A Critical Review of Effectiveness and Ethical Issues. *Water* 2021, 13, 1034. <https://doi.org/10.3390/w13081034>
- <sup>59</sup> Katwijk, Marieke & Thorhaug, Anitra & Marba, Nuria & Orth, Robert & Duarte, Carlos & Kendrick, Gary & Althuisen, Inge & Balestri, Elena & Bernard, Guillaume & Cambridge, Marion & Cunha, Alexandra & Durance, Cynthia & Giesen, Wim & Han, Qiuying & Hosokawa, Shinya & Kiswara, Wawan & Komatsu, Teruhisa & Lardicci, Claudio & Lee, Kun-Seop & Verduin, Jennifer, 2015. Global analysis of seagrass restoration: The importance of large-scale planting. *Journal of Applied Ecology*. 53. n/a-n/a. 10.1111/1365-2664.12562.
- <sup>60</sup> M.M. van Katwijk, A.R. Bos, V.N. de Jonge, L.S.A.M. Hanssen, D.C.R. Hermus, D.J. de Jong, Guidelines for seagrass restoration: Importance of habitat selection and donor population, spreading of risks, and ecosystem engineering effects, *Marine Pollution Bulletin*, Volume 58, Issue 2, 2009, Pages 179-188, ISSN 0025-326X
- <sup>61</sup> Saleh, Ejria & Yap, Tzuen Kiat & Gallagher, John., 2020. Seagrass coverage and associated fauna at Gaya Island, Sabah, Malaysia: A pilot seagrass transplantation. *Borneo Journal of Marine Science and Aquaculture (BjMSA)*. 4. 14-19. 10.51200/bjmsa.v4i1.1786.
- <sup>62</sup> Hitzegrad, J., Rentsch, L., Windt, C., & Goseberg, N. (2023). OYSTER REEF AND MUSSEL BED SURROGATES SUBJECTED TO WAVES. *Coastal Engineering Proceedings*, (37), waves.32. <https://doi.org/10.9753/icce.v37.waves.32>

- <sup>63</sup> Ralph J.M. Temmink, Gregory S. Fivash, Laura L. Govers, Janne Nauta, Beatriz Marin-Diaz, Peter M.J.M. Cruijsen, Karin Didderen, Emma Penning, Han Olf, Jannes H.T. Heusinkveld, Leon P.M. Lamers, Wouter Lengkeek, Marjolijn J.A. Christianen, Valérie C. Reijers, Tjeerd J. Bouma, Tjisse van der Heide, Initiating and upscaling mussel reef establishment with life cycle informed restoration: Successes and future challenges, *Ecological Engineering*, Volume 175, 2022, 106496, ISSN 0925-8574
- <sup>64</sup> Stephen Hynes, Ryan Burger, João Tudella, Daniel Norton, Wenting Chen, Estimating the costs and benefits of protecting a coastal amenity from climate change-related hazards: Nature based solutions via oyster reef restoration versus grey infrastructure, *Ecological Economics*, Volume 194, 2022, 107349, ISSN 0921-8009
- <sup>65</sup> K. Liversage, An example of multi-habitat restoration: Conceptual assessment of benefits from merging shellfish-reef and boulder-reef restorations, *Ecological Engineering*, Volume 143, 2020,105659, ISSN 0925-8574
- <sup>66</sup> Beck, M.W., Brumbaugh, R.D., Airoidi, L., Carranza, A., Coen, L.D., Crawford, C., Defeo, O., Edgar, G.J., Hancock, B., Kay, M.C., Lenihan, H.S., 2011. Oyster reefs at risk and recommendations for conservation, restoration, and management. *BioScience* 61, 107–116
- <sup>67</sup> Taylor Goelz, Bruce Vogt, Troy Hartley "Alternative Substrates Used for Oyster Reef Restoration: A Review," *Journal of Shellfish Research*, 39(1), 1-12, (14 April 2020)
- <sup>68</sup> Mohammad J. Uddin, Kelly J. Smith, Craig W. Hargis, Development of pervious oyster shell habitat (POSH) concrete for reef restoration and living shorelines, *Construction and Building Materials*, Volume 295, 2021, 123685, ISSN 0950-0618
- <sup>69</sup> Megan La Peyre, Jessica Furlong, Laura A. Brown, Bryan P. Piazza, Ken Brown, Oyster reef restoration in the northern Gulf of Mexico: Extent, methods and outcomes, *Ocean & Coastal Management*, Volume 89, 2014, Pages 20-28, ISSN 0964-5691
- <sup>70</sup> Benjamin A. Belgrad, Emily M. Combs, William C. Walton, Delbert L. Smee, Use of predator cues to bolster oyster resilience for aquaculture and reef restoration, *Aquaculture*, Volume 538, 2021, 736553, ISSN 0044-8486
- <sup>71</sup> Moosavi S. 2017. Ecological Coastal Protection: Pathways to Living Shorelines. *Procedia Engineering* 196 ( 2017 ) 930 – 938
- <sup>72</sup> Clemente J.A., Uriarte J.A., Spizzichino D., Faccini F., Morales T., 2023. Rockfall hazard mitigation in coastal environments using dune protection: A nature-based solution case on Barinatxe beach (Basque Coast, northern Spain). *Engineering Geology* Volume 314, 5 March 2023, 107014
- <sup>73</sup> Pena S.B., Abreu M.M., Magalhaes M.R., 2021. Rethinking coastal cliff protection zones for landscape planning. What limits are enough? *Applied Geography* Volume 127, February 2021, 102387
- <sup>74</sup> Morales T., Clemente J.A., Damás Mollá L., Izagirre E., Uriarte J.A., 2021. Analysis of instabilities in the Basque Coast Geopark coastal cliffs for its environmentally friendly management (Basque-Cantabrian basin, northern Spain) *Eng. Geol.*, 283 (2021), Article e106023
- <sup>75</sup> Bergillos R.J., Rodriguez-Delgado C., Medina L., Iglesias G.,2020. Coastal cliff exposure and management, *Ocean & Coastal Management*, Volume 198, 2020, 105387,ISSN 0964-5691
- <sup>76</sup> Climate ADAPT (<https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/adaptation-options/cliff-stabilisation>)



# **ADALITT BREIZH**