



AUGMENTATION DU NIVEAU MARIN ET SES CONSÉQUENCES SUR LES RISQUES LITTORAUX

1.	Contexte et objet de l'avis	1
2.	Les variations du niveau marin à l'épreuve du temps	2
3.	Conséquences de l'augmentation du niveau marin sur les zones littorales	6
4.	Surveillance et observation de la bande côtière	11
5.	Quelle planification à court et à plus long terme pour répondre à la montée niveau de la mer ?	e du 12
6.	Comment se préparer pour le long terme dans le cas des ports, installation	ns et
	infrastructures côtières ?	16
Ré	ecapitulatif des recommandations	18

1. Contexte et objet de l'avis

Depuis 2020, l'Académie s'est saisie du sujet de l'augmentation du niveau marin et ses conséquences sur les risques littoraux, avec un double objectif : d'une part, faire un point sur les réponses d'ordre technologique en matière de mitigation des risques littoraux, et d'autre part, d'évaluer les efforts nécessaires en matière d'adaptation des activités économiques et industrielles qui pourraient être impactées, à court et moyen terme.

Bien avant que le changement climatique, ses causes et ses conséquences ne fassent constamment l'actualité, les populations côtières ont été de tout temps confrontées aux risques et aléas d'origine naturelle, dont le plus prégnant a toujours été le risque de submersion. La préservation des conquêtes de terres cultivables et de zones habitables dans la bande côtière a été le souci de bien des populations côtières, voire de nations entières comme les Pays-Bas, depuis des siècles. L'accélération de l'urbanisation, de l'artificialisation des milieux, de la pression démographique en zone littorale, mais aussi la prise de conscience des causes et conséquences du changement climatique (dont l'accélération de l'augmentation du niveau marin), et des nécessités de s'y adapter obligent nos sociétés à y apporter des réponses. En France, l'État et ses services, les collectivités territoriales se mobilisent de plus en plus sur le



sujet, notamment à la suite de la catastrophe Xynthia de 2010. Ainsi, des plans de prévention des risques littoraux ont été institués dans de nombreux secteurs, des observatoires et dispositifs divers ont été créés avec le soutien des collectivités locales concernées, mais aussi des organismes nationaux de recherche et d'expertise (Cerema, BRGM, Shom, etc.). Une stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte (SNGITC)¹ a été mise en œuvre en 2012, afin « d'accompagner les territoires littoraux dans leur recomposition spatiale, en développant les outils nécessaires, en renforçant la connaissance et en facilitant l'information et la mobilisation de tous ». Cette stratégie est déclinée régionalement ou localement dans la plupart des secteurs concernés. Plus récemment, la loi dite « Climat et Résilience » du 22 août 2021² a intégré plusieurs articles visant à mieux protéger le littoral, et encadrer de manière très volontariste son aménagement et la gestion du foncier. Enfin, plusieurs rapports ont été rendus publics ces derniers mois, parmi lesquels on peut en retenir au moins trois :

- Protection du trait de côte et analyse des enjeux au niveau national, Échéance à 5 ans et Horizons 2050 et 2100 (Cerema, février 2024) ;
- <u>La gestion du trait de côte en période de changement climatique</u>, extrait du Rapport public annuel 2024 de la Cour des comptes;
- Adapter le système assurantiel français face à l'évolution des risques climatiques, rapport préparé pour les ministères en charge de l'économie et de la transition écologique.

Ces trois rapports mettent en avant la nécessité de mieux se préparer à court comme à moyen terme, et mettent en lumière les défis auxquels les collectivités territoriales concernées devront faire face, la nécessité d'un renforcement de la gouvernance, mais aussi des dispositifs de couverture des risques et de financement pour accompagner les profondes transformations nécessaires de la bande côtière. L'Académie des technologies, à travers le présent avis, souhaite insister sur les domaines spécifiques en lien avec ses missions et compétences, et propose une série de recommandations, en apportant des éléments de réponse aux questions suivantes :

- Quelles sciences et technologies sont à renforcer pour les actions à court et moyen terme ?
- Quelles sont les mesures de plus long terme, d'ordre plus général, incluant des volets sociaux et économiques?
- Quels sont les défis technologiques pour le plus long terme ?

2. Les variations du niveau marin à l'épreuve du temps

Nota Bene : Toutes les données et estimations quantitatives ci-après sont extraites du sixième rapport d'évaluation du GIEC, AR6³.

Variations passées naturelles

Le niveau moyen de la mer a très fortement varié à l'échelle des périodes glaciaires-interglaciaires, du fait des variations de volume des calottes de glace continentales, en parallèle avec les variations de la température à la surface de la Terre – une forte diminution (de l'ordre de 125 à 134 mètres) lors des glaciations, et un niveau marin plus élevé de plusieurs mètres à l'échelle de millénaires, lors des périodes plus douces que le climat préindustriel. Lors de la période chaude du Pliocène, par exemple, la dernière

¹ https://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/strategie-nationale-de-gestion-integree-du-trait-r434.html

² https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000043956924

³ https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/



fois que la concentration atmosphérique en CO_2 était aussi élevée qu'aujourd'hui, il y a environ 3,3 millions d'années, le niveau moyen de la mer s'est élevé de 5 à 25 mètres, pour un niveau de température globale de surface de l'ordre de 2,5 à 4 $^{\circ}$ C au-dessus du niveau préindustriel.

La dernière occurrence de grande variation s'est produite lors de la dernière période interglaciaire, il y a environ 125 000 ans, où la configuration de l'orbite terrestre a conduit à des conditions plus chaudes aux pôles et un niveau de température globale de surface de 0,5 °C à 1,5 °C au-dessus du niveau préindustriel, conduisant à un niveau marin 5 à 10 mètres plus élevé qu'actuellement.

Variations des temps modernes et projections de « court terme »

Alors que le niveau moyen de la mer était relativement stable au cours des trois millénaires précédant la révolution industrielle, il a augmenté de 20 ± 5 cm de 1901 à 2018, avec une accélération depuis les dernières décennies du XX° siècle. Sur la période 1901-1971, on a constaté une augmentation moyenne de $1,3 \pm 0,7$ mm/an, puis $1,9 \pm 1,1$ mm/an sur la période 1971-2015, et $3,7 \pm 0,5$ mm/an sur la période 2006-2018. Le niveau moyen de la mer à l'échelle du globe s'est élevé plus rapidement depuis 1900 qu'au cours de tout autre siècle au cours des trois derniers millénaires. Cette accélération reproduit la tendance observée pour l'augmentation des températures moyennes.

L'accumulation d'énergie dans le système climatique en réponse aux émissions de gaz à effet de serre (GES) dues aux activités humaines a provoqué l'élévation du niveau moyen de la mer à l'échelle du globe en raison de la fonte des glaces continentales et de la dilatation thermique due au réchauffement de l'océan. Selon les derniers rapports du GIEC, la dilatation thermique de l'océan explique 38 % de l'élévation entre 1901 et 2018, la perte de masse des glaciers environ 41 %. Le rythme de perte de masse des calottes du Groenland et de l'Antarctique a augmenté d'un facteur 4 entre 1992-1999 et 2010-2019. Ensemble, les pertes de masse des calottes glaciaires et des glaciers représentent la contribution prépondérante à la montée du niveau de la mer entre 2006 et 2018. Les études d'attribution conduites dans le cadre du GIEC ont montré que l'influence humaine est le principal facteur de cette élévation depuis au moins 1971. Il faut noter que cette période correspond à la baisse significative des émissions particulaires liées aux activités humaines. En effet, la lumière solaire était moins filtrée, la hausse des températures s'est accélérée.

Les émissions de GES passées entraînent un réchauffement de l'océan qui va se poursuivre. Les glaciers de montagne et polaires vont continuer à fondre dans les décennies et siècles à venir, de même que la fonte des calottes du Groenland et de l'Antarctique se poursuivra. L'élévation du niveau moyen de la mer à l'échelle du globe va donc continuer à se produire au cours des prochains siècles à millénaires, du fait de la poursuite du réchauffement de l'océan profond et de la fonte des calottes glaciaires, et restera élevé pendant des milliers d'années.

Les émissions passées de GES ont déjà acté environ un mètre de montée du niveau de la mer à l'échelle des prochains siècles, mais en fonction des scénarios cela pourra être beaucoup plus.

Par rapport à 1995-2014, les émissions passées et à venir vont entraîner une montée supplémentaire du niveau moyen de la mer à l'échelle du globe d'ici 2050 de l'ordre de 20 cm quelle que soit la trajectoire d'émissions à venir – autant qu'entre 1901 et 2018. Au-delà de 2050, le rythme et l'ampleur de la montée dépendront des émissions de GES à venir. Sans tenir compte des processus spécifiques liés aux calottes de glace du Groenland et surtout d'instabilités d'écoulement des grandes calottes de l'Antarctique, associés à une incertitude profonde, il est projeté une augmentation par rapport à 1995-2014 de l'ordre de 45 cm (avec une plage de 32 à 62 cm) d'ici 2100 et de 70 cm d'ici 2150 dans le cas du scénarios de forte baisse des émissions mondiales de GES limitant le réchauffement sous 2 °C (SSP1-2.6) ; de l'ordre de 55 cm (avec une plage de 45 à 76 cm) d'ici 2100 et de 90 cm d'ici 2150 dans le cas du scénario d'émissions de GES intermédiaires (SSP2-4.5) ; enfin, de l'ordre de 80 cm (avec une plage de 63 à 101 cm) d'ici 2100 et de 130 cm d'ici 2150 dans le cas du scénario d'émissions de GES les plus élevées (SSP5-8.5).



La mise en évidence d'instabilités potentielles des calottes de glace antarctiques⁴ permet d'envisager une augmentation forte de la perte de masse des calottes polaires. Ces phénomènes sont abordés sous l'angle d'éventualités dont la probabilité d'occurrence est difficile à évaluer mais dont les impacts seraient considérables. Si ces processus, qui comportent des points de bascule, se déclenchent, une estimation haute, physiquement plausible, de montée du niveau de la mer est évaluée à 90 cm d'ici 2100 et 2,5 mètres d'ici 2300 pour un pic de réchauffement limité à 2 °C (scénario de forte baisse d'émissions), et de 1,6 mètre d'ici 2100 et d'au moins 10,4 mètres d'ici 2300 pour le scénario de très fortes émissions. Ces éventualités maximales, physiquement plausibles, sont importantes à intégrer au dimensionnement d'infrastructures critiques à longue durée de vie.

Un pic de réchauffement planétaire de l'ordre de 1,5 °C, 2 °C, 3 °C, 4 °C conduirait respectivement à une montée du niveau de la mer de l'ordre de 2 à 3 mètres, 2 à 6 mètres, 4 à 10 mètres et 12 à 16 mètres au bout de 2 000 ans, et davantage au bout de 10 000 ans. Ces projections plurimillénaires sont cohérentes avec les niveaux atteints lors des périodes climatiques chaudes du passé.

Il est quasi certain que l'élévation relative moyenne régionale du niveau de la mer se poursuivra, sauf dans les quelques régions où le taux de soulèvement géologique (réajustement isostatique) est important, compensant ainsi localement la montée des eaux. Pour environ 2/3 du littoral, les projections régionales se situent dans une plage de plus ou moins 20 % de la montée du niveau de la mer à l'échelle mondiale suivant ainsi le niveau mondial de montée des eaux. Le rythme local peut être amplifié par la subsidence côtière (souvent d'origine humaine). Les projections du GIEC sur chaque site de marégraphe sont disponibles sur l'atlas interactif de la NASA⁵, y compris le moment où il est estimé que, localement, des niveaux de 50 cm, 1 mètre ou davantage de montée du niveau de la mer seront atteints.

⁴ Pattyn, F., The paradigm shift in Antarctic ice sheet modelling, Nature Communications, 2018, 9: 2728) – https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool



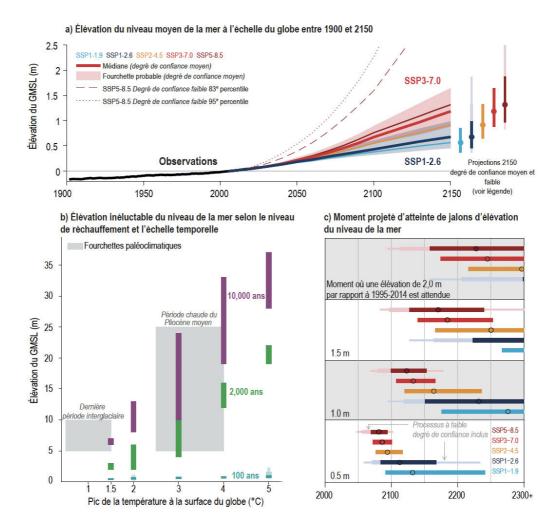


Figure 1. Changement du niveau moyen de la mer à l'échelle du globe (GMSL)
à différentes échelles temporelles et selon différents scénarios
[Source: Contribution du Groupe de travail I (GTI) au sixième rapport d'évaluation (AR6) du Groupe
d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), Résumé technique, Encadré RT.4 Niveau
de la mer https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_TS_French.pdf]

Le niveau moyen de la mer à l'échelle du globe (GMSL) a augmenté de 0,20 m au cours de la période 1901-2018 et le rythme d'élévation s'est accéléré depuis les années 1960 pour atteindre 3,7 mm par an au cours de la période 2006-2018. Il est très probable que les activités humaines sont le principal facteur de l'augmentation observée depuis 1971, et de nouveaux éléments issus d'observations aboutissent, pour la période 1901-2018, à une élévation évaluée du niveau de la mer qui concorde avec la somme des composantes individuelles qui alimentent la montée des eaux, y compris la dilatation due au réchauffement de l'océan et la fonte des glaciers et des calottes glaciaires. Il est quasi certain que le GMSL continuera d'augmenter au XXI^e siècle en réponse au réchauffement continu du système climatique.

Le niveau de la mer réagit plus lentement aux émissions de GES que la température à la surface du globe. La lenteur de cette réponse se traduit toutefois par une élévation inéluctable du niveau de la mer à long terme, liée à l'absorption continue de chaleur par l'océan et à l'ajustement lent des calottes glaciaires, qui se poursuivra pendant des siècles et des millénaires après l'arrêt des émissions. Étant donné le caractère inéluctable à long terme de la montée du niveau de la mer, l'incertitude quant au moment où seront atteints différents niveaux d'élévation du GMSL est importante pour planifier l'adaptation.



3. Conséquences de l'augmentation du niveau marin sur les zones littorales

Les conséquences de cette accélération de l'augmentation du niveau marin sont importantes sur les facteurs climatiques (importance des marées, pluies...), générateurs d'impacts sur le littoral (aléas) et sur le trait de côte lui-même.

(a) Schematic effect of regional sea level rise on projected extreme sea level events (not to scale) Historical Centennial extreme sea level Sea level height and recurrence frequency Events (HCEs) become more common 1/century due to sea level rise 1/decade HCF 1/century 1/year 1/decade 1/month 1/year mean sea level 1/month sea level mean sea level rise future recent past Time

Figure 2. Augmentation de la fréquence des niveaux extrêmes
Schéma issu d'un rapport du GIEC montrant l'effet de l'augmentation
du niveau marin moyen
sur la fréquence des niveaux extrêmes centennaux, qui deviendrons
décennaux puis annuels.
[Source: GIEC, Special Report on the Ocean and Cryosphere in a
Changing Climate – https://www.ipcc.ch/srocc/]

L'augmentation du niveau de la mer régional a été le principal facteur d'augmentation de la fréquence d'occurrence de niveaux marins extrêmes sur l'ensemble du réseau mondial des marégraphes au cours du XX° siècle, et sera le principal facteur d'une augmentation substantielle de la fréquence des niveaux marins extrêmes au cours de ce siècle. Ainsi les évènements d'inondations chroniques à marée haute, qui se produisaient 5 fois par an entre 1960 et 1980, se produisent 8 fois par an entre 1995 et 2014. Tout autre facteur étant constant (marées, ondes de tempête, vagues), les niveaux marins extrêmes qui se produisaient une fois par siècle dans le passé récent se produiront annuellement ou encore plus fréquemment pour 19 à 31 % des sites de marégraphes d'ici 2050, et 60 à 80 % (selon les trajectoires d'émissions) d'ici 2100. Ils seront 20 à 30 fois plus fréquents d'ici 2050 et 160 à 530 fois plus fréquents d'ici 2100. L'élévation relative de la montée du niveau de la mer augmente la fréquence et la sévérité des inondations côtières et l'érosion des côtes sableuses.



À cela peuvent s'ajouter d'autres facteurs de risques comme les augmentations, observées et projetées, de l'intensité des pluies extrêmes et, dans les régions tropicales, de la proportion de cyclones tropicaux de très forte intensité, augmentant notamment la probabilité d'occurrence d'inondations composites (submersion et pluies extrêmes).

L'une des premières études portant sur l'attribution de l'augmentation d'inondations chroniques à marée haute porte sur Cayenne, en Guyane française⁶. Ce travail publié par des chercheurs du BRGM en 2023 présente des preuves d'observation et de modélisation d'inondations à marée haute qui sont peu susceptibles de se produire sans prise en compte de l'augmentation du niveau de la mer en Guyane française, où les taux d'élévation du niveau de la mer sont proches de la moyenne mondiale et où il n'y a pas d'affaissement significatif (subsidence) du sol.

L'aléa « submersion marine » est ainsi amplifié d'année en année faisant que, lors de tempêtes et houles exceptionnelles, conjuguées à des marées hautes en périodes de vives-eaux et à des surcotes importantes liées aux dépressions, l'on peut assister à des évènements pouvant dégénérer en catastrophes comme lors de la tempête Xynthia en 2010. Cette tempête a causé des ruptures de digues et des inondations catastrophiques ayant occasionné 35 décès dans le seul département de la Vendée.

Une carte interactive disponible sur le site du BRGM⁷ permet de visualiser rapidement les zones côtières et estuariennes menacées en France métropolitaine.

En 2022, le passage de la dépression post-tropicale intense Fiona sur l'archipel de Saint-Pierre et Miquelon s'est accompagné d'importants dégâts sur la route littorale de Miquelon à l'ouest et au sud, dus à l'énorme houle de sud (hauteur maximum des vagues avant déferlement estimée entre 15 et 20 m). Le plan de prévention des risques littoraux (PPRL) de l'archipel, approuvé en 2018, prévoyait une série d'actions de prévention à court terme et de mises en sécurité à long terme (implantation d'équipements critiques au-dessus du niveau marin de référence pour 2100), avec des priorités et des délais de mise en conformité de 5 ans. Le passage de la tempête Fiona a mis en évidence l'atteinte d'une limite « souple » d'adaptation : les vulnérabilités sont connues et l'application des mesures préventives engagées, mais elles n'ont pas encore produit les effets suffisants pour élever la protection des personnes et des biens au niveau souhaité. La collectivité locale s'est engagée en 2022 dans une démarche de co-construction de projet de territoire pour envisager toutes les possibilités d'aménagement y compris la relocalisation du village.

⁶ Thiéblemont, R., Le Cozannet, G., D'Anna, M. et al., Chronic flooding events due to sea-level rise in French Guiana, Sci. Rep., 2023, 13: 21695) - https:/ /doi.org/10.1038/s41598-023-48807-w

⁷ https://sealevelrise.brgm.fr/slr/



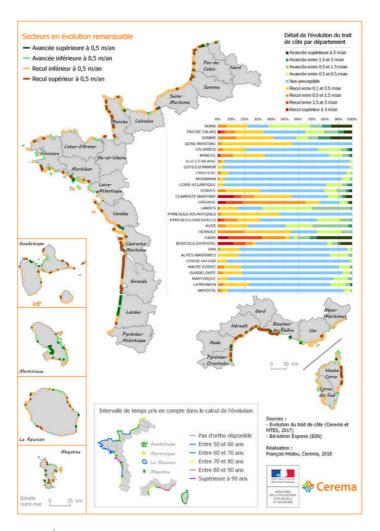


Figure 3. Évolution du trait de côte d'après les données de l'indicateur national de l'érosion côtière

[Source: Cerema (2018), d'après: https://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/indicateur-national-de-l-erosion-cotiere-premiers-a1511.html

Le recul du trait de côte affecte une proportion importante du littoral français, en métropole comme dans les outre-mer, notamment des côtes « meubles », sableuses. Ce processus de recul est progressif et continu, et se produit depuis des décennies mais peut enregistrer des épisodes très aigus lors de grandes tempêtes. Les principales causes de ces reculs sont à rechercher dans les effets de la houle, des courants côtiers, et sont accentués quand l'apport de sédiments est déficitaire, et peuvent aussi résulter de mouvements verticaux d'origine tectonique (subsidence).

Ainsi selon les données reprises de l'indicateur national de l'érosion côtière⁸, 41 % des plages sableuses françaises subissent une érosion, 11 % une accrétion ; 46 % restent considérées comme « stables », mais la part de ces dernières tend à diminuer depuis quelques années. L'augmentation du niveau marin n'est actuellement pas le principal facteur d'érosion du trait de côte, mais l'accélération notable de cette augmentation, enregistrée depuis un demi-siècle et qui va s'amplifier, va progressivement prendre une part de plus en plus importante dans les causes du recul du trait de côte. Depuis les travaux pionniers de Bruun⁹, on peut relier le retrait d'un littoral à l'augmentation du niveau marin, en fonction de la topographie, de la bathymétrie. Les modèles prédictifs se sont depuis considérablement améliorés, mais devront encore progresser afin d'obtenir des prévisions d'évolution locale utilisables pour les politiques publiques.

⁸ Cerema, 2018: https://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/indicateur-national-de-l-erosion-cotiere-premiers-a1511.html

⁹ Sea-Level Rise as a Cause of Shore Erosion, American Society of Civil Engineers, Journal of the Waterways and Harbours Division, 1962, 88: 117-130



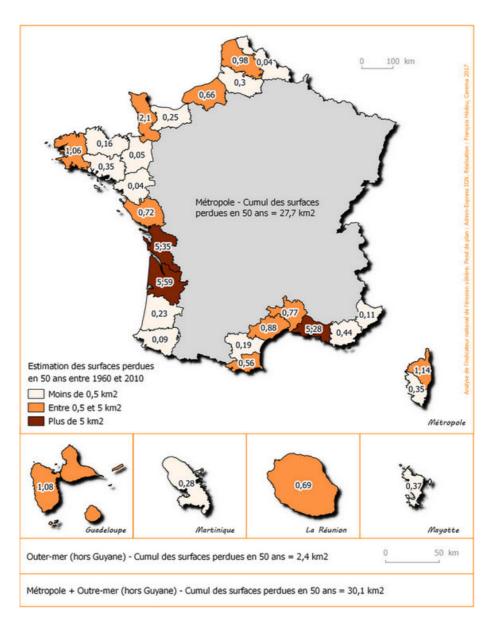


Figure 4. Estimation des surfaces perdues liées au recul du trait de côte par département (hors Guyane) en 50 ans entre 1960 et 2010 (en km²)

[Source : Cerema (2018), d'après : https://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/indicateur-national-de-l-erosion-cotiere-premiers-a1511.html]

Les côtes rocheuses peuvent apparaître moins impactées, néanmoins pour certaines côtes composées de roches plus tendres (falaises de craie du Pays de Caux, côte de Nacre, ou Flysch de la côte Basque), l'érosion s'accélère.



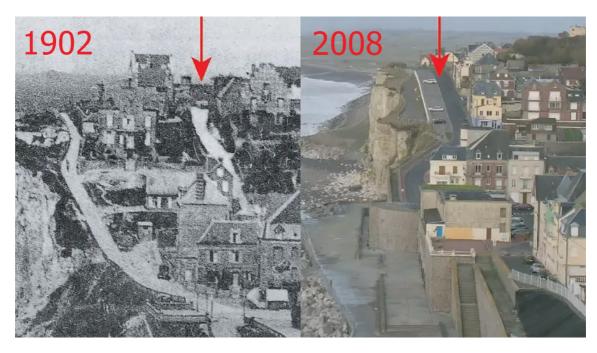


Figure 5. Falaises d'Ault (Somme) [Source: D'après Costa, Atelier EUCC-France, Baie de Somme: des falaises d'Ault au Marquenterre (octobre 2013) https://euccfrance.org/wp-content/uploads/2023/02/Livret-Guide-de-latelier-EUCC-F-en-Baie-de-Somme-1.pdf]

Les conséquences sur les logements et infrastructures bâtis en zones côtières sont très importantes. Ainsi une étude du GIP Littoral, en cours de finalisation cette année, à l'échelle de la région Nouvelle-Aquitaine à l'horizon 2050 (30 ans) dénombre 6 000 logements menacés si les ouvrages de protection et les diques existantes n'étaient pas maintenus, ce qui représenterait un coût de plus de 2,5 milliards d'euros. Le maintien en état de ces ouvrages et digues existants permettrait de limiter le nombre de logements menacés à 660. Le rapport passe ainsi de 1 à 10. Bien entendu chaque tronçon de côte doit être regardé spécifiquement pour bien évaluer les impacts des remontées du niveau de la mer, notamment en tenant compte de l'augmentation de la fréquence d'inondations composites (submersion marine et pluies extrêmes). Une étude récente du Cerema, publiée en deux volets en février 2024¹⁰, fait état des estimations suivantes : un millier de bâtiments, de toutes sortes, pourraient être touchés par le recul du trait de côte à l'échelle nationale dans les 5 prochaines années. La valeur vénale des bâtiments identifiés, principalement résidentiels et commerciaux, est estimée à environ 240 millions d'euros. Ces estimations ne concernent pas la Guyane et Mayotte où les spécificités de ces territoires ne permettent pas le déploiement complet de la méthode. À l'horizon 2050, 5 200 logements et 1 400 locaux d'activités pourraient être affectés par l'érosion côtière, représentant une valeur totale de 1,2 milliard d'euros. Un scénario à l'horizon 2100, pessimiste car il envisage la disparition complète des structures de défense côtière et l'inondation progressive de toutes les zones topographiquement basses du littoral, fait apparaître des chiffres bien supérieurs, approchant 100 milliards d'euros si l'on compte les logements et les locaux d'activités.

L'augmentation du niveau marin va progressivement menacer des étendues de plus en plus vastes, actuellement à altitude très faible ou négative, actuellement protégées par des ouvrages (polders). En effet, les risques de défaillance des ouvrages vont s'accentuer, surtout si les ouvrages ne sont pas régulièrement renforcés et recalibrés.

L'impact de la remontée des eaux le long des berges des estuaires doit être aussi examiné plus précisément, de même que dans les ports, marais salants et autres bassins ou ouvrages pénétrant dans les

¹⁰ Projection du trait de côte et analyse des enjeux au niveau national, Échéance à 5 ans et Horizons 2050 et 2100 - https://www.cerema.fr/fr/actualites/evaluation-enjeuxexposes-au-recul-du-trait-cote-court-moven



terres et en lien direct avec la côte. Ces effets sont particulièrement sensibles en cas de conjonction de phénomènes divers (vives-eaux, surcote barométrique, houle) et de précipitations anormalement abondantes, provoquant des crues de fleuves, et une augmentation brutale des débits des exutoires côtiers. Là encore, l'entretien et surtout le recalibrage de nombreux ouvrages seront nécessaires.

Enfin, et c'est sans aucun doute le défi le plus considérable à long terme, une recomposition et relocalisation de certaines zones urbaines littorales, de leurs infrastructures économiques et industrielles (ports et logistique associée, industrie lourde...) sera indispensable, d'autant que les zones littorales sont souvent déjà sous forte pression démographique, urbanistique et fortement vulnérables face à toutes les autres conséquences du changement climatique.

D'autres conséquences de la montée du niveau de la mer concernent les ressources en eau des zones côtières, les aquifères côtiers étant ainsi menacés par l'extension du biseau salin, déjà accéléré par les prélèvements intensifs; les grands écosystèmes et les marais littoraux subiront des transformations profondes.

4. Surveillance et observation de la bande côtière

On emploie très souvent le terme « trait de côte ». Sa définition rigoureuse par le Shom¹¹ (Service hydrographique et océanographique de la Marine) correspond au niveau des plus hautes mers dans le cas d'une marée de coefficient 120 et dans des conditions météorologiques normales : pas de vent du large, pas de dépression atmosphérique. Cependant, des définitions plus opérationnelles du trait de côte peuvent être adoptées, répondant à des critères géomorphologiques permettant de faciliter sa cartographie. Ainsi, pour une côte sableuse on peut utiliser, suivant le cas, les indicateurs suivants : le pied de falaise dunaire, une rupture de pente topographique, la limite de végétation dunaire, ou un ouvrage de protection longitudinal. Il importe évidemment de bien tracer les choix opérés dans la collecte des observations de suivi.

La mise en place d'observatoires de la bande côtière a permis d'accumuler de précieuses informations permettant de mieux caractériser et comprendre l'évolution de ces zones à évolution particulièrement rapide. On peut citer par exemple l'Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine (OCNA)¹², opéré depuis 1996 par le BRGM et l'ONF, avec le soutien de l'État et des collectivités. De l'embouchure de la Bidassoa à la Baie d'Aiguillon, il a pour rôle de mettre au service des acteurs du littoral un outil d'observation, d'aide à la décision et de partage de la connaissance pour la gestion et la prévention des risques côtiers. Ces observatoires sont très précieux pour tester de nouvelles méthodes de suivi, accumuler des données et caractériser les processus qui seront indispensables pour alimenter les modèles prédictifs des zones côtières exposées, qu'elles soient sableuses, rocheuses ou sujettes à des risques de submersion. En s'appuyant sur des orthophotographies très bien calées, la réalisation de profils altimétriques de haute précision par GPS différentiel et LiDAR aéroporté permet d'avoir une représentation très fidèle de l'évolution de la morphologie en trois dimensions 13. Ces technologies sont en forte évolution avec l'apparition de systèmes d'acquisition opérés par drones, permettant d'acquérir des données à des coûts maîtrisés. Outre ces observations de nature topographique et morphologique, il importe de caractériser le stock sableux aussi bien à terre qu'en mer. En mer, des sondages sismiques sont utilisés, tandis qu'à terre on emploie le radar à pénétration dans le sol (GPR, ground-penetrating radar) ou géoradar. Enfin, d'autres méthodes permettent de caractériser les structures des dunes, notamment les profils de résistivité électrique, et de localiser les zones saturées en eau.

¹¹ https://www.shom.fr/

¹² https://www.observatoire-cote-aquitaine.fr/

¹³ Voir par exemple l'Avis technique relatif à la qualité du LiDAR et de l'orthophotographie 2023, acquis dans le cadre de l'Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, BRGM/RP-73363-FR, 2024



Des données sont bancarisées, et permettent de développer des modèles prédictifs multi-échelles de l'évolution du littoral, en fonction des stocks sédimentaires présents en mer et à terre, de leur variabilité, des processus de transport hydro-sédimentaires (courants, houles) ou aériens. Ces modèles peuvent s'appliquer à une situation locale, permettant de tester, par exemple, l'efficacité et les conséquences éventuelles d'ouvrages de protection et de défense, ou de prélèvements et recharges de sédiments, mais aussi, sur une dynamique spatiale et surtout temporelle plus étendue, pour alimenter les modèles permettant d'estimer le recul régulier du trait de côte en fonction de l'augmentation du niveau marin.

5. Quelle planification à court et à plus long terme pour répondre à la montée du niveau de la mer ?

La montée du niveau de la mer pose donc un problème d'adaptation spécifique et grave, notamment parce qu'il s'agit de faire face à des changements graduels et à une augmentation de la fréquence et de l'intensité des évènements de niveau marin extrême.

Les réponses comprennent des aspects de protection, accommodation, avancée ou repli planifié, et ces réponses sont plus efficaces quand elles sont combinées et que leur séquence est planifiée largement à l'avance dans le cadre de processus de délibération approfondis et inclusifs.

La protection à court terme du bâti côtier, la maintenance et la surélévation de digues ou de perrés, la création d'enrochements et de barrages pour lutter contre les inondations des zones côtières et combattre le recul du littoral sont des mesures d'atténuation des effets, de court terme, souvent onéreuses et d'efficacité aléatoire. Après quelques années, il n'est pas rare de devoir reconstruire les ouvrages, ou de constater des effets collatéraux parfois bien plus dommageables. En effet, ces ouvrages, certes peuvent empêcher temporairement le recul du littoral, mais perturbent le transit sédimentaire. Ainsi, au droit des enrochements parallèles à la côte, les plages peuvent disparaître en quelques années. Les épis, enrochements perpendiculaires à la côte, peuvent limiter le transfert latéral des sédiments mais les courants de dérive, parallèles à la côte, provoquent des accumulations en amont des ouvrages, et des érosions importantes en aval. La réalimentation en sable des plages, ou zones érodées, est courante mais onéreuse et doit être répétée très fréquemment. La reconstitution du stock sédimentaire sous-marin au droit des plages est parfois mis en œuvre à grande échelle, notamment aux Pays-Bas ; mais là encore, ces opérations très coûteuses doivent être renouvelées. On peut citer également la mise au point de dispositifs pour ralentir le transit sédimentaire, en emprisonnant des masses sableuses dans des boudins allongés en géotextiles. Ces boudins peuvent être immergés devant les plages, ou placés en pied de dunes. Dans certains cas, ces dispositifs sont efficaces pendant quelques années, mais ils ne résistent cependant pas très longtemps et peuvent démantelés lors d'épisodes de tempêtes. Leur durée de vie est estimée au plus à une dizaine d'années¹⁴.

Il convient probablement de distinguer la protection des infrastructures bâties et occupées, dont la délocalisation n'est pas possible à court terme, de la protection des espaces récréatifs ou naturels en bord de mer. Dans ce dernier cas, on assiste heureusement à une prise de conscience des collectivités territoriales concernées, et bien évidemment à une action volontariste du Conservatoire du littoral ou de l'Office national des forêts pour s'adapter à ces évolutions des zones côtières en **privilégiant des solutions fondées sur la nature, et des approches « souples »** : stabilisation des cordons dunaires, limitation du piétinement et de la fréquentation des dunes et arrière-dunes, reconstitution des marais littoraux, qui sont autant d'« espaces tampons » adaptatifs, à l'instar des mangroves dans les côtes tropicales. Les solutions fondées sur les écosystèmes comme les zones humides offrent des bénéfices environnementaux et permettent de limiter les coûts, mais ont des limites physiques et perdent leur efficacité en cas de rythme

¹⁴ Voir par exemple, l'étude du groupe de conseil et d'ingénierie Artelia portant sur un secteur du Bassin d'Arcachon : Confortement de l'encoche dunaire de la Corniche (La Teste-de-Buch) – Recherche d'une solution technique optimisée, Artelia – https://www.siba-bassin-arcachon.fr/sites/default/files/2023-05/2022_artelia_siba_corniche_rech_solution.pdf



élevé de montée du niveau de la mer, typiquement au-delà de 5 mm/an.



Figure 6. Exemple d'effets d'ouvrages de protection Plage de Cleut-Rouz en direction de la pointe de Mousterlin, commune de Fouesnant, Finistère. [Photographie : Le Télégramme, édition du 15 février 2021]

L'enrochement réalisé sur une portion du cordon dunaire a certes neutralisé le recul de la dune, mais deux conséquences néfastes se sont progressivement révélées : au droit de l'enrochement, l'érosion de la plage s'est accélérée, menant à sa disparition à marée haute ; au-delà de l'enrochement, le recul s'est accéléré, avec un recul et une érosion du cordon dunaire, accompagnés de submersions de plus en plus fréquentes de l'arrière dune et des marais littoraux lors des grandes tempêtes d'hiver.

La Communauté de communes du Pays Fouesnantais envisage désormais la suppression de cet enrochement, mais en y associant des solutions souples de ralentissement de l'érosion dunaire, et un renforcement des digues existantes pour contenir les éventuels débordements des marais littoraux et protéger les zones habitées ou cultivées les plus basses. Il est intéressant de noter que ce cordon dunaire avait été artificiellement fermé au début du XX^e siècle, et une partie des marais littoraux poldérisés. 100 ans après, ce cordon dunaire a tendance à se rouvrir naturellement.

Dans le cas de la maintenance, de la rehausse d'ouvrages côtiers ou de la création de barrages, il convient plus que jamais d'investir dans des approches prédictives pour pouvoir apprécier la durabilité, l'efficacité et l'absence d'effets collatéraux des mesures mises en place. En effet, les exemples sont trop nombreux de conséquences très néfastes d'enrochements inappropriés qui ont fait disparaître progressivement les plages ou encore d'épis mal dimensionnés sans appréciation raisonnée des effets des courants de dérive parallèles à la côte. S'ajoutent parfois à ces difficultés celles résultant de prélèvements ou de dragages inappropriés. Il est donc important de veiller à renforcer les capacités prédictives en hydraulique côtière et les capacités de maîtrise des phénomènes hydro-sédimentaires, aux échelles très locales et plus régionales. Les centres de recherche et d'expertise (BRGM, Cerema, les quelques équipes universitaires engagées sur ces thématiques du littoral) doivent être renforcés et dotés de moyens de surveillance, d'intervention et de prévision. Les niveaux de compétence des bureaux d'études engagés dans ces travaux doivent être régulièrement vérifiés et qualifiés en lien avec les progrès scientifiques et technologiques en matière de « génie côtier ». Le renforcement de ces compétences doit être étendu aux administrations locales (communautés de communes) et nationales, par le biais d'actions régulières d'information et de formation. Les ouvrages de protection en dur peuvent constituer une mal-adaptation, sauf s'ils sont intégrés dans une stratégie d'adaptation de long terme, car s'ils réduisent efficacement les impacts à court terme, ils peuvent entraîner des effets de verrouillage, conduisant à continuer de concentrer des biens et infrastructures dans des zones exposées aux risques littoraux, et présentent tous des limites.







Figure 7. Études préliminaires et travaux conduits par la Communauté de communes de l'île de Noirmoutier Ouvrages de protection envisagés à l'entrée du port de Noirmoutier-en-l'Île, rehausse des digues.

[Documents de la Communauté de communes de l'île de Noirmoutier]

Une attention spécifique doit être apportée au contrôle des prélèvements sableux et granulaires dans les fleuves, les zones estuariennes et les zones littorales. Le sable provient de l'érosion des zones amont, souvent granitiques. Le sable et les granulats sont transportés par le courant surtout en périodes de crue, lorsque la vitesse de l'eau est plus grande. Les prélèvements destinés aux métiers du bâtiment et des travaux publics et à certains types de cultures contribuent à l'érosion ou au recul du trait de côte : perturbation du rechargement des côtes sableuses, notamment en domaine estuarien, ou même simplement en raison de la diminution du stock sédimentaire en domaine côtier.

Dans un certain nombre de cas, les collectivités locales concernées se mobilisent et mettent en œuvre des moyens importants. Ainsi, la mise en œuvre de stratégies régionales, et de stratégies locales de gestion intégrée de la bande côtière ont permis des avancées, mais comportent également de nombreux défis et difficultés d'ordre technique et scientifique, mais aussi juridiques et socio-politiques. On peut par exemple consulter le rapport concernant la stratégie locale mise en œuvre par la commune de la Teste de Buch, au sud du Bassin d'Arcachon, où se trouve la dune du Pilat¹⁵.

Cette zone, de même que la zone de Lège-Cap-Ferret, au nord du Bassin d'Arcachon est le siège de processus évolutifs très actifs affectant la zone côtière. De nombreuses mesures de prévention et d'atténuation sont mises en œuvre, des millions de tonnes de sable sont prélevées plus au large sur les bancs pour réalimenter la zone côtière, des enrochements et ouvrages divers sont entretenus et réalisés, avec les limites et inconvénients déjà évoqués, mais en filigrane – ou en clair –, ces mesures sur le court

¹⁵ https://www.siba-bassin-arcachon.fr/sites/default/files/2024-03/slgbc-ltb-2019-2022-bilan-v5.pdf



terme commencent à préparer le plus long terme, car l'accélération de la montée du niveau marin, et les autres effets induits par le changement climatique rendront dans les décennies à venir ces stratégies de « protection en dur » obsolètes au profit de stratégies de « retrait programmé ».

Les volets socio-économiques et juridiques sont également très importants, de même que l'implication des citoyens concernés dans les décisions de gestion à court terme, comme à moyen terme. En effet, les actions à court terme engagent souvent des budgets très importants, et donc des choix pour les collectivités locales concernées, avec des arbitrages qui doivent se faire de manière la plus éclairée possible.

C'est cependant sur le moyen et le plus long terme que les choix et décisions sont cruciaux, mais difficiles à mettre en œuvre. Parmi les décisions les plus difficiles à prendre, et à mettre en application, ce sont celles qui concernent le déplacement et la délocalisation des habitats et activités littorales menacés à moyen terme. Même si la récente loi « Climat et Résilience » du 22 aout 2021 contient des articles assez volontaristes¹⁶ pour préparer les territoires aux effets du dérèglement climatique, de sérieux problèmes d'acceptation et d'adhésion sont à attendre de la part des citoyens et collectivités concernés. Pour illustrer ces difficultés, plusieurs constats peuvent être mis en avant :

- malgré les avertissements et mises en garde récemment renforcés par la loi « Climat et Résilience », les cours de l'immobilier dans la plupart des zones côtières continuent de grimper, allant de pair avec la pression immobilière sur les zones littorales les plus « sensibles ». Il va sans dire que l'opportunisme de la promotion immobilière accélère grandement ces tendances à la hausse¹⁷;
- les moyens financiers à mobiliser à moyen terme pour relocaliser les enjeux menacés par le recul du trait de côte et les risques accrus de submersion marine sont hors de proportion avec ce qui peut être mobilisé par le fonds Barnier, prévu pour la gestion des catastrophes naturelles, d'autant que le recul du trait de côte des zones sableuses est un phénomène progressif et relativement prévisible, ce qui rend souvent très difficile l'indemnisation des dommages côtiers via ce fonds. Sous forte pression médiatique, un traitement d'exception s'est appliqué pour le cas emblématique de l'immeuble « Le Signal », dont les occupants ont finalement été indemnisés à la hauteur de 70 % de la valeur vénale estimée;
- il n'existe pas actuellement de fonds d'ampleur suffisante dédiés à la gestion à long terme des zones menacées par les conséquences du changement climatique, en particulier les zones côtières. Les collectivités territoriales et l'État vont se retrouver de plus en plus démunis pour préparer et financer des programmes très coûteux. Pour autant, la Banque des Territoires a mis en place un plan d'adaptation des territoires du littoral et d'outre-mer au changement climatique pour aider les acteurs locaux (collectivités locales, entreprises publiques locales, entreprises privées) à identifier les priorités d'action et mettre en place les projets nécessaires à la protection du littoral, des populations, la mutation de l'activité économique, la préservation des ressources (eau, forêt et biodiversité) et la gestion de crise à la suite d'une catastrophe naturelle, mais ce plan ne porte pas sur le financement des opérations lourdes attendue;
- la mise en place, dans le cadre de la loi, d'une prééminence d'intervention au niveau régional, voire local, présenterait sans doute une plus forte efficacité. La création de fonds au niveau départemental, voire régional, alimentés par une taxation locale adossée sur une taxation déjà existante, par exemple les taxes d'aménagement ou la taxe foncière, avec un taux défini en fonction de l'exposition aux risques de submersion pourrait être envisagée. Leur utilisation seulement pour le financement de grands travaux de protection d'intérêt général serait partie intégrante de leur objet. La décision de fléchage devrait nécessiter une reconnaissance d'intérêt public majeur;

¹⁶ Voir les articles 237 et 239 à 248 : https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000043956924

¹⁷ Voir l'article : https://www.lesechos.fr/industrie-services/immobilier-btp/immobilier-btp/immobilier-sur-le-littoral-les-acheteurs-encore-dans-le-deni-face-au-risque-climatique-2045024 ou encore une thèse récente sur le sujet, soutenue par Eugénie Cazaux à l'université de Brest en octobre 2022 : https://www.energiesdelamer.eu/2022/10/10/these-la-prise-en-compte-des-risques-cotiers-par-les-marches-fonciers-et-immobiliers-de-la-metropole/)



- par anticipation, un mécanisme de stabilisation de la valorisation des biens immobiliers identifiés comme sujets à être impactés par la montée des eaux à divers horizons, avec par exemple une cartographie sur le modèle des plans de prévention des risques d'inondation (PPRI), pourrait être mis en place, de manière à ne pas avoir à faire état de valorisation déraisonnable, au moment venu, lors d'éventuelles nécessités de relocalisation.
- il reste très difficile d'évaluer les coûts de l'adaptation du littoral et les risques d'escalade des pertes et dommages. Compte-tenu des coûts des ouvrages de protection (surélévation de digues...), il est essentiel de faire avancer les connaissances sur les processus associés à une incertitude profonde, notamment liés à la possibilité d'instabilités de secteurs de l'Antarctique, puis de réactualiser régulièrement l'évaluation de montée du niveau de la mer projetée, notamment si le démarrage d'instabilités d'écoulement sont discernées. Les coûts de la production de ces connaissances sont très faibles par rapport aux coûts des aménagements ; en présence d'incertitude, il importe d'éclairer une prise de décision robuste (et agile).

Ces différents constats nous amènent à recommander d'entamer une réflexion sur la mise en place d'un fonds significatif, permettant de prendre en charge les indemnisations et investissements très conséquents qui seront nécessaires dans les 30 ans pour renforcer l'adaptation des zones littorales au changement climatique. Il serait en particulier indiqué d'étudier un abondement possible de ce fonds par des prélèvements sur les plus-values des opérations immobilières qui continuent à prospérer en zones côtières.

Dans son *Livre blanc sur les enjeux assurantiels liés au climat*¹⁸, publié ce mois de février 2024, l'Agéa (fédération des agents généraux d'assurance) propose d'augmenter le budget alloué eu fonds Barnier et d'étendre son périmètre d'action à la prévention notamment des risques littoraux. La fédération propose également de créer, pour chaque bien immobilier et foncier, un diagnostic de vulnérabilité aux risques naturels sur le même modèle que celui sur la performance énergétique, qui influerait sur les conditions d'accès aux contrats multirisque habitation et multirisque professionnel.

6. Comment se préparer pour le long terme dans le cas des ports, installations et infrastructures côtières ?

La montée inéluctable du niveau moyen de la mer au cours de ce siècle doit inciter nos sociétés à se préparer dès à présent aux conséquences qui en découlent. Au niveau mondial, environ un milliard de personnes sont susceptibles d'être exposées aux risques de submersion littorale, notamment dans les grandes villes côtières, les grands deltas agricoles et les petites îles, particulièrement vulnérables. Les Pays-Bas, aussi particulièrement exposés, ont entamé des projets concrets et des exercices prospectifs de grande ampleur, notamment de vision partagée, de surélévation, de repli stratégique et de relocalisation d'activités. Le port de Rotterdam est un exemple emblématique car l'essentiel de ses actifs se situe déjà en-dessous du niveau de la mer, protégé par des digues dont la surélévation régulièrement répétée trouvera rapidement ses limites.

Un des chapitres du sixième rapport d'évaluation (AR6) du GIEC donne un résumé des grandes stratégies possibles pour l'adaptation des grandes villes côtières¹⁹.

Les enjeux et les approches notamment en matière d'analyse bénéfices/coûts y sont présentés. Un panorama des enjeux comparés dans les grandes régions climatiques du globe est présenté selon 4 critères indicatifs : 1) le nombre de personnes menacées par une crue centennale ; 2) le linéaire de côtes

 $^{18\ \}underline{\text{https://agea.fr/system/files/media/document/Livre%20blanc%20ag\%C3\%A9a_Les\%20enjeux\%20assurantiels\%20li\%C3\%A9s\%20au\%20climat.pdf}$

¹⁹ https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_CCP2.pdf



subissant un retrait d'au moins 100 m; 3) le nombre de vols annuels perturbés dans les aéroports côtiers, et 4) l'extension des zones humides. Malgré le critère arbitraire de ces indicateurs, on peut avoir une idée des enjeux. Une autre estimation, citée dans Le Cozannet et al. (2023), recense 1,2 milliard de personnes, 114 000 milliards de dollars US d'actifs dans des zones côtières menacées par des inondations centennales²⁰. Selon ces estimations, une augmentation du niveau marin de 2 m entraînerait une augmentation de ces chiffres de 250 %.

Le port de Rotterdam, particulièrement concerné puisqu'à 85 % en dessous du niveau de la mer, et déjà bien équipé en ouvrages de défense, s'est particulièrement mobilisé pour élaborer une stratégie d'adaptation à l'échéance 2100. Cette stratégie repose sur les 3 leviers suivants :

- 1. des mesures préventives : réduire le risque d'inondation par la prise de mesures physiques, notamment le rehaussement de digues, de chantiers et d'ouvrages de berges, y compris les quais ;
- 2. l'adaptation spatiale : gérer les risques d'inondation en préparant les sites et les actifs à une inondation, par exemple en surélevant les systèmes ou les sites vulnérables et en « imperméabilisant » les bâtiments et les actifs ;
- 3. la gestion de crise : Convenir et mettre en œuvre à temps des mesures de gestion de crise et de catastrophe, afin qu'une inondation puisse suivre son cours de manière gérée et contrôlée et que les fonctions et processus puissent être redémarrés rapidement. Cela concerne l'élaboration de plans d'urgence, de redressement et de gestion de crise ainsi que la préparation des dispositifs d'urgence.

Les stratégies d'adaptation des grands ports et villes des côtes françaises sont en cours de développement, citons en particulier un rapport commun IGEDD/IGAM²¹ sur l'adaptation au changement climatique des gestionnaires d'infrastructures de navigation maritime et fluviale en France. Ce rapport amorce une réflexion prospective en matière de gestion de risque et d'adaptation, notamment en lien avec les activités économiques et industrielles les plus concernées.

Plus généralement, la question de la résilience de l'ensemble des infrastructures implantées en zone côtière (installations industrielles, aéroports, plateformes logistiques, installations de production d'énergie) doit être révisée à l'aune des nouvelles hypothèses sur les conséquences du changement climatique, et tout particulièrement pour les installations dont la durée de vie est susceptible de dépasser le siècle. La relance des activités industrielles sur les territoires est à l'ordre du jour. Elle doit prendre en compte les nécessités de l'adaptation au changement climatique et ses conséquences, notamment en matière de prévention des risques et impacts, ceci pouvant aller jusqu'à des stratégies de relocalisation dans les zones intrinsèquement plus résilientes, et probablement plus éloignées des côtes. Cela concerne aussi les services publics et les infrastructures clés pour en assurer la continuité d'accès. Il importe donc que ces études prospectives soient dès maintenant activées et qu'elles puissent être prises en compte dans les opérations telles que France 2030 et celles qui suivront.

²⁰ D'après Lincke et al., 2022



Récapitulatif des recommandations

Renforcer la science et les technologies nécessaires aux réponses à court et moyen terme

- 1. Veiller à renforcer les compétences et capacités des centres de recherche et d'expertise concernés, notamment en matière d'hydraulique, de maîtrise des processus hydro-sédimentaires et de génie côtier (y compris en ingénierie écologique), ainsi qu'aux capacités des bureaux d'études, en testant régulièrement leur niveau de qualification par rapport au progrès scientifiques et technologiques, et à la difficulté des défis qui leur sont posés.
- 2. Développer les technologies de surveillance, de caractérisation de la bande côtière, et des processus évolutifs qui s'y produisent (en mer comme à terre), poursuivre la bancarisation des données afin de pouvoir alimenter les approches prédictives, que ce soit de l'augmentation de l'aléa de submersion marine, ou le recul du littoral en lien avec l'accélération de l'élévation du niveau marin, pérenniser et renforcer les observatoires existants.
- 3. Renforcer les approches prédictives pour pouvoir apprécier la durabilité, l'efficacité et l'absence d'effets collatéraux des mesures d'adaptation des effets de la remontée du niveau marin et de l'augmentation de l'aléa submersion (digues, enrochements, épis, barrages...).
- 4. Privilégier les approches souples et les solutions fondées sur la nature en matière de protection et d'adaptation du littoral en particulier pour les zones naturelles et récréatives qui s'y prêtent (dunes et arrière-dunes, marais littoraux).

Développer les approches prospectives multidisciplinaires, l'information et la formation des parties prenantes

- 1. Accélérer la réflexion prospective pour accompagner la nécessaire refonte de l'écosystème économique et industriel des zones côtières (les infrastructures industrielles et portuaires notamment) sous pression des contraintes d'adaptation notamment à la remontée du niveau marin et à l'augmentation de l'aléa de submersion et d'inondations composites.
- 2. Renforcer l'information et la participation des citoyens et riverains concernés par des choix et décisions de plus en plus difficiles.
- 3. Mettre en place des actions de sensibilisation d'information et de formation des élus, des services techniques des collectivités et de l'administration centrale.
- 4. Renforcer les études socio-économiques et juridiques afin de mieux préparer les décisions, notamment sur le moyen et long terme, et se préparer en particulier à de fortes tensions en matière de droit foncier dans la perspective de futures relocalisations.



Préparer les investissements, notamment pour en vue les relocalisations et recompositions inévitables à long terme, et mettre en place les outils financiers appropriés

- 1. Généraliser la planification des mesures d'aménagement nécessaires pour assurer la protection des populations à moyen terme, en entériner la faisabilité, renforcer la gouvernance pour les décisions, leur financement, leur mise en œuvre et leur gestion.
- 2. Doter le pays de fonds dédiés, gérés au niveau des régions et des départements, pour faire face à la croissance importante des dépenses attendues liées à l'adaptation des activités côtières.
- 3. Mettre en œuvre les mesures proposées en matière d'évolution des systèmes assurantiels, pour une couverture plus équitable des risques littoraux.

Membres du groupe de travail

ACADEMIE DES TECHNOLOGIES

- Diane d'ARRAS
- François HOULLIER
- Valérie MASSON-DELMOTTE
- Bernard SAUNIER
- Bernard TARDIEU
- Pierre TOULHOAT (animateur)

EXPERTS

- Patrice de BONNAFOS, vice-président de la Communauté de communes de l'île de Noirmoutier, président de la commission « Sécurisation de population et des biens face à la mer »
- Stéphane COSTA, professeur à l'Université de Caen
- Éric DAVID, responsable de l'Unité Risques côtiers et Changements climatiques, de la direction Risques et Prévention du BRGM.
- Boris LECLERC, directeur du département Risques, Eaux et Littoral du Cerema.
- Gonéri LE COZANNET, chercheur au BRGM, auteur du rapport du GIEC, WG2. Martin PAILLART, en charge de l'Observatoire du littoral de l'île de Noirmoutier et animateur du SIG;
- Oualid RAHMANI, responsable du service Gestion du littoral à la Communauté de communes.



Références

RÉFÉRENCES GÉNÉRALES

GIEC, Rapport spécial 2019, Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate https://www.ipcc.ch/srocc/

GIEC, Rapport 2021 (Physique du climat), Climate Change 2021: The Physical Science Basis https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/

GIEC, Rapport 2022 (Impacts, adaptation et vulnérabilités), Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/

NASA, Atlas interactif

https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool

RÉFÉRENCES SPÉCIFIQUES CITÉES

BRGM, Zones exposées à l'élévation du niveau de la mer à marée haute https://sealevelrise.brgm.fr/slr/#lng=0.26000;lat=46.60430;zoom=6;level=1.0;layer=0

BRGM (2024) Avis technique relatif à la qualité du lidar et de l'orthophotographie 2023, acquis dans le cadre de l'Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, BRGM RP-73363

https://www.observatoire-cote-aquitaine.fr/IMG/pdf/rp-73363-fr_ocna-analyse-lidar-2023.pdf?1014/f129d3722562fa68774ff23571337dc963f2f13f

Cerema, Indicateur national de l'érosion côtière

https://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/indicateur-national-de-l-erosion-cotiere-premiers-a1511.html

Protection du trait de côte et analyse des enjeux au niveau national, Échéance à 5 ans, et Horizons 2050 et 2100, Cerema (2024) https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/597423/projection-du-trait-de-cote-et-analyse-des-enjeux-au-niveau-national-echeance-a-5-ans

 $\frac{\text{https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/597431/projection-du-trait-de-cote-et-analyse-des-enjeux-au-niveau-national-horizons-2050-et-2100}{\text{https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/597431/projection-du-trait-de-cote-et-analyse-des-enjeux-au-niveau-national-horizons-2050-et-2100}{\text{https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/597431/projection-du-trait-de-cote-et-analyse-des-enjeux-au-niveau-national-horizons-2050-et-2100}{\text{https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/597431/projection-du-trait-de-cote-et-analyse-des-enjeux-au-niveau-national-horizons-2050-et-2100}{\text{https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/597431/projection-du-trait-de-cote-et-analyse-des-enjeux-au-niveau-national-horizons-2050-et-2100}{\text{https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/597431/projection-du-trait-de-cote-et-analyse-des-enjeux-au-niveau-national-horizons-2050-et-2100}{\text{https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/597431/projection-du-trait-de-cote-et-analyse-des-enjeux-au-niveau-national-horizons-2050-et-2100}{\text{https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/597431/projection-du-trait-de-cote-et-analyse-des-enjeux-au-niveau-national-horizons-2050-et-analyse-des-enjeux-au-niveau-national-horizons-2050-et-analyse-des-enjeux-au-niveau-national-horizons-2050-et-analyse-des-enjeux-au-niveau-national-horizons-2050-et-analyse-des-enjeux-au-niveau-national-horizons-2050-et-analyse-des-enjeux-au-niveau-national-horizons-2050-et-analyse-des-enjeux-au-niveau-national-horizons-2050-et-analyse-des-enjeux-au-niveau-national-horizons-2050-et-analyse-des-enjeux-au-niveau-national-horizons-2050-et-analyse-des-enjeux-au-niveau-national-horizons-2050-et-analyse-des-enjeux-au-niveau-national-horizons-2050-et-analyse-des-enjeux-au-niveau-national-horizons-2050-et-analyse-des-enjeux-au-niveau-national-horizons-2050-et-analyse-des-enjeux-au-niveau-national-horizons-2050-et-analyse-des-enjeux-au-niveau-national-horizons-2050-et-analyse-des-enjeux-au-niveau-national-horizons-2050-et-analyse-des-enjeux-au-niveau-national-horizons-2050-et-analyse-des-enje$

Gestion du trait de côte en période de changement climatique, extrait du *Rapport public annuel 2024* de la Cour des comptes https://www.ccomptes.fr/sites/default/files/2024-03/20240312-RPA-2024-ENPA-gestion-trait-de-cote.pdf

Langreney, T., Le Cozannet, G., Merad, M., Adapter le système assurantiel français face à l'évolution des risques climatiques, Rapport pour les ministères en charge de l'économie et de la transition écologique https://www.vie-publique.fr/files/rapport/pdf/293621.pdf

Pattyn, F., The paradigm shift in Antarctic ice sheet modelling, Nature Communications (2018) 9: 2728

https://www.nature.com/articles/s41467-018-05003-z

Thiéblemont, R., Le Cozannet, G., D'Anna, M. et al., Chronic flooding events due to sea-level rise in French Guiana, Sci. Rep. (2023) 13: 21695

https://www.nature.com/articles/s41467-018-05003-z

Artelia, Étude Confortement de l'encoche dunaire de la Corniche (La Teste-de-Buch) – Recherche d'une solution technique optimisée https://www.siba-bassin-arcachon.fr/sites/default/files/2023-05/2022 artelia siba corniche rech solution.pdf

La Teste de Buch, Stratégie locale de gestion de la bande côtière, Rapport Bilan 2019-2022 https://www.siba-bassin-arcachon.fr/sites/default/files/2024-03/slgbc-ltb-2019-2022-bilan-v5.pdf

Les Échos, Immobilier: sur le littoral, les acheteurs encore dans le déni face au risque climatique, Elsa Dicharry, 9 janvier 2024 https://www.lesechos.fr/industrie-services/immobilier-btp/immobilier-sur-le-littoral-les-acheteurs-encore-dans-le-deni-face-au-risque-climatique-2045024



Eugénie Cazaux, La prise en compte des risques côtiers par les marchés fonciers et immobiliers du littoral français : ambivalence de la mer et tentatives de régulation public du « désir de rivage » à l'aube du changement climatique, thèse dirigée par Catherine Meur-Ferec et co-encadreée par lwan Le Berre, LETG Brest, Université de Bretagne Occidentale (Brest), octobre 2022 https://www.energiesdelamer.eu/2022/10/10/these-la-prise-en-compte-des-risques-cotiers-par-les-marches-fonciers-et-immobiliers-de-la-metropole/

IGEDD/IGAM, L'adaptation au changement climatique des gestionnaires d'infrastructures de navigation maritime et fluviale en France, contribution du groupe de travail ad hoc du collège IGEDD/IGAM Mer, fluvial et littoral avec le Cerema, le Shom, l'UPF, l'AFPI, VNF, CNR et EDF (2022)

https://www.igedd.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/014713-01_rapport-publie_cle5c75b6.pdf

Principaux acronymes utilisés

AFPI Association française des ports intérieurs (France)

AR6 Sixth Assessment Report, Sixième rapport d'évaluation du GIEC

BRGM Bureau de recherches géologiques et minières (France)

Cerema Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (France)

CNR Compagnie nationale du Rhône (France)

EDF Électricité de France

GES Gaz à effet de serre

GIEC Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC – en anglais, IPCC,

Intergovernmental panel on climate change)

GIP Littoral Groupement d'intérêt public Littoral

GMSL Global mean sea level, niveau moyen de la mer à l'échelle du globe

GPR Ground-penetrating radar, radar à pénétration de sol ou géoradar

IGAM Inspection générale des affaires maritimes (France)

IGEDD Inspection générale de l'environnement et du développement durable (France)

LiDAR Light detection and ranging, télédétection par laser

PPRL Plan de prévention des risques littoraux

OCNA Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine (France)

ONF Office national des forêts (France)

NASA National Aeronautics and Space Administration (États-Unis)

Shom Service hydrographique et océanographique de la Marine (France)

SSP (scénarios) Shared socio-economic pathways

Ces scénarios ont remplacé dans le 6° rapport d'évaluation du GIEC les scénarios dits RCP (representative concentration pathways)

UPF Union des ports de France
VNF Voies navigables de France