La mer monte : impacts et stratégies. Scénarios à 2100 et trajectoires d'adaptation

The Sea is Rising: Impacts and Strategies Scenarios to 2100 and Adaptative Trajectories

Lacroix Denis ¹, Rocle Nicolas ^{1,2}

¹ IFREMER, France

² INRAE, France

Abstract :

In October 2019, AllEnvi [the French National Alliance for Environmental Research] published the findings of a foresight study on the environmental, social and economic consequences of rising sea levels — one of the direct manifestations of climate change — in the years to 2100 and the way we might anticipate these consequences and prepare for them. That exercise, based on the scenario-building method, enabled eight general scenarios and three territorial focuses to be developed. Denis Lacroix and Nicolas Rocle outline its main lessons here. After first going into the framing, methodology and context involved, they present the scenarios in three family groups ('Coastal adaptation', 'Denial' and 'Fragmented World'), together with the territorial focuses relating to the Aquitaine Basin, the Netherlands and Vietnam. These scenarios reveal potential sea-level rises, the consequences for the coastline and the strategies to be adopted to mitigate the impacts and, most importantly, adapt to them. Since the conditions for a reversal of the present situation (which would require highly virtuous global policies) are hardly likely to eventuate in any near timeframe, the aim is now to prepare for the coastline to be overwhelmed by the sea. The warning is all the more serious as a growing number of our contemporaries are concentrated in such areas, not to speak of the holidaymakers who rush there and of the other consequences that may ensue, as evidenced by the most exposed territories. To keep coastal areas in a state described by the authors as lying between 'moderate' and 'serious', it is essential that decision-makers and citizens work as of now on resilience and energy saving... We shall come back to this subject, this article being the first of a series on the sea that will continue in late 2020 or in 2021.

Résumé

En octobre 2019, l'AllEnvi a publié les résultats d'une prospective sur les conséquences environnementales, sociales et économiques de la montée de la mer d'ici 2100 — une des manifestations directes du changement climatique — et la façon dont on pourrait les anticiper et s'y préparer. Cet exercice, basé sur la méthode de construction de scénarios, a permis de développer huit scénarios globaux et trois focus territoriaux. Denis Lacroix et Nicolas Rocle en livrent les principaux enseignements.

Après un rappel des éléments de cadrage, de la méthodologie et du contexte, ils présentent les scénarios, regroupés en trois familles (« Adaptation littorale », « Dénî » et « Monde fragmenté »), ainsi que les focus territoriaux portant sur le Bassin aquitain, les Pays-Bas et le Viêt-nam. Ces scénarios révèlent combien le niveau de la mer pourrait s'élever, quelles pourraient en être les conséquences sur le littoral et quelles stratégies pourraient être adoptées pour en atténuer les impacts et, surtout, s'y adapter. En effet, les conditions d'une inversion de la donne (qui résulterait de politiques mondiales très vertueuses) ne pouvant guère être réunies à un horizon proche, l'objectif est désormais de se préparer à la conquête du littoral par la mer. L'avertissement est d'autant plus sérieux qu'un nombre croissant de nos contemporains s'y concentrent, sans même parler des vacanciers qui s'y précipitent et des autres conséquences qui peuvent en résulter comme en témoignent les territoires les plus exposés. Pour maintenir la situation des territoires côtiers dans un état qualifié par les auteurs de « modéré » à « sérieux », il est indispensable que décideurs et citoyens engagent dès aujourd'hui des actions fortes de résilience, de sobriété... Nous reviendrons sur le sujet, cet article ouvrant une série consacrée à la mer qui se poursuivra fin 2020 ou en 2021. S.D.

Avec la participation de : O. Mora, N. de Menthère, A. Béthinger

Basé sur l'étude : D. Lacroix, O. Mora, N. de Menthère, A. Béthinger, 2019. La montée du niveau de la mer : conséquences et anticipations d'ici 2100, l'éclairage de la prospective. Rapport du groupe de travail Prospective au Conseil d'AllEnvi, 166 p. disponible sur www.allenvi.fr

Experts associés à l'étude : Bernardot M. (Univ. Le Havre), Bertin X. (Univ. La Rochelle), Carnus F. (BRL Ingénierie), Cattaneo A. (Ifremer), Devès M. (IPGP/AFPCN)), Didier C. (Inéris), Dörfliger N. (BRGM), Durand G. (Univ. Grenoble Alpes), Duval A-M (Cerema), Guedon S. (Ifsttar), Hérivaux C. (BRGM), Lafaye M. (CNES), Le Cozannet G. (BRGM), Le Gall M. (Ifremer), Lobry J. (Irstea), Meerpoel M. (ICL), Meyssignac B. (LEGOS), Pépin M-H (Météo France), Petitot S. (Cerema), Rocle N. (Irstea), de Rouw A. (IRD), Salas y Melia D. (Météo France), Vagner M. (Univ. La Rochelle), Valentin C. (IRD)

Introduction

La réalité du changement climatique est désormais acceptée par la majorité des décideurs et le grand public. Mais si certaines de ses conséquences, comme les vagues de chaleur ou les incendies géants sont bien associées à ce changement, la montée du niveau de la mer n'est pas toujours considérée comme une autre conséquence de ce changement. Pourtant cette élévation apparaît aujourd'hui comme une des formes majeures du changement climatique même si son ampleur et ses effets à terme sont difficiles à anticiper. Si les causes de cette hausse du niveau de la mer sont encore incomplètement analysées et comprises, ses effets sont déjà observables dans de nombreuses régions du monde. Les impacts de cette élévation sont encore faibles aujourd'hui, mais les projections portent à penser que, d'une part, l'accroissement du niveau de la mer va s'accroître et que, d'autre part, ses conséquences risquent d'être bientôt considérables dans de nombreux domaines, comme le trait de côte, l'habitat, les infrastructures, l'agriculture, le tourisme... dans un contexte de changements globaux encore largement imprévisibles, notamment pour ce qui concerne les écosystèmes aquatiques et littoraux.

La prospective ouvre dans ce domaine incertain des perspectives de réflexion et d'action communes à tous les acteurs concernés par les changements à venir sur le littoral dont les chercheurs impliqués dans les problématiques liées à l'environnement. C'est pourquoi une approche prospective a toute son utilité notamment pour une meilleure prise de conscience de cette évolution à l'échelle mondiale et aussi pour fournir des matériaux aux débats et aux réflexions sur les priorités de choix stratégiques d'aménagement

comme de programme de recherche. C'est dans ce cadre que l'Alliance des sciences de l'environnement du Ministère de la recherche français (MESRI) a demandé en 2018 au groupe transversal de prospective dépendant de cette Alliance, de réfléchir à cette problématique, à l'échelle mondiale et à l'horizon de 2100. Il s'agit d'une prospective sur les conséquences de la hausse prévue d'élévation du niveau de la mer selon différentes hypothèses. Elle concerne donc essentiellement l'interface terre-mer. La question a été finalement formulée ainsi : Quelles conséquences et quelles anticipations possibles de l'élévation du niveau des mers d'ici 2100 ?

Cette prospective offre donc une forme de « modélisation » des choix stratégiques et d'estimation de leurs conséquences dans le cadre du sujet. Elle devrait contribuer à faciliter les débats entre porteurs d'enjeux, à la sélection collective de mesures sans regret et, enfin, à l'appropriation par toutes les parties des actions nécessaires à mener à l'échelle pertinente, du niveau régional au niveau mondial.

Au cours du 20^e siècle, les activités humaines se sont développées plus rapidement en zone côtière qu'ailleurs et dans tous les domaines : ports, réseaux de transport, infrastructures industrielles pour la transformation de ressources vivantes, minérales, énergétiques, commerce, tourisme, habitat. Dans de nombreux pays, le littoral concentre de nombreuses activités, avec des risques croissants dans de nombreux domaines : dégradation de l'environnement, pollutions, risques d'accidents industriels, conflits d'usage... (Benoît et Comeau, 2006, UNWTO, 2011). Pourtant ces espaces sont souvent présentés comme des opportunités de croissance dite « bleue » sous réserve d'une approche plus patrimoniale de valorisation notamment des ressources naturelles renouvelables (Ecorys, 2012). Enfin, les dimensions sociétales émergent de manière multiforme *via* des demandes croissantes ou nouvelles d'un public mieux informé et soucieux de sécurité alimentaire, de santé, de sûreté, d'éthique, et plus globalement d'une gouvernance intégrant le moyen terme (Rossetti, 2011).

Cet espace côtier au sens large, densément peuplé, concentre aussi une croissance urbaine et économique plus rapide qu'à l'intérieur des terres. Or, la zone côtière vulnérable aux inondations à l'échelle centennale (cote inférieure à 10 m) devrait voir sa population augmenter de 50 % entre 2000 et 2030 pour dépasser le milliard de personnes en 2060 (Neumann *et al*, 2015). Associée à la réduction des apports en eaux douce, notamment dans de nombreux pays subtropicaux, la submersion des terres basses s'accompagne d'une salinisation croissante des sols et des nappes phréatiques (Hereher, 2010). Il y a donc un besoin d'analyse approfondie des menaces comme des opportunités liées à ce phénomène afin de préparer l'avenir plutôt que de le subir. Les bénéfices attendus d'une telle étude seraient de nourrir les réflexions sur les stratégies de recherche à moyen et long terme de tous les membres de l'Allenvi et de contribuer à ouvrir les champs de recherche requis le cas échéant par certains scénarios d'évolution de cette montée du niveau de la mer.

Cadrage des enjeux

La première tendance lourde dans l'espace littoral est l'accroissement continu de la population qui y réside, qui se traduit par une artificialisation souvent mal contrôlée des zones littorales et entraîne aussi des pressions sur les ressources, qu'elles soient minérales (granulats, par ex.), énergétiques (pétrole et gaz) ou vivantes. Or, la mer et les zones humides côtières fournissent une grande diversité de services écosystémiques non marchands (nurseries d'espèces, puits de carbone, filtration, recyclage...), ce qui contribue à la durabilité des écosystèmes productifs et à la qualité générale de l'environnement. Ces services sont vitaux pour nombre d'activités comme le tourisme, l'aquaculture et la pêche (source de 16 % des protéines dans le monde), mais ils sont de plus en plus menacés. Les estimations des populations impactées varient selon les études. Elles se chiffrent toutes en centaines de millions de personnes (Neumann *et al*, 2015).

La seconde tendance lourde est la montée du niveau de la mer. Selon les hypothèses d'accroissement des émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, les scénarios récents du GIEC envisagent une augmentation de 60 à 110 cm du niveau moyen de la mer à l'horizon 2100. Cette élévation pourrait même dépasser les 2 à 7 m pour des scénarios défavorables prévoyant une stabilisation du CO₂ atmosphérique entre 500 et 700 ppm (Labeyrie, 2015 ; Bamber et al, 2019). L'augmentation des occurrences de situations météorologiques extrêmes, induite par la superposition d'une élévation du niveau de la mer avec un régime de tempêtes aggravé par le changement climatique (Vousdoukas et al, 2016), fait aussi craindre une augmentation des risques de submersion dus aux effets conjugués de l'hydrologie et des états de la mer.

La troisième tendance lourde est que les effets de l'élévation du niveau de la mer ne se limiteront pas à la frange littorale. Ils se feront également sentir plus loin à l'intérieur des terres en raison de la difficulté accrue d'écoulement des eaux en aval ce qui augmente les surfaces inondées et donc les dégâts. Les Pays-Bas consacrent 90% de leur budget annuel de gestion des réseaux de fleuves et barrages aux menaces venant de l'intérieur des terres. A l'inverse, en période de sécheresse, les nappes phréatiques sont de plus en plus salinisées par l'intrusion marine surtout dans les zones deltaïques où ce phénomène est souvent aggravé par la subsidence (diminution de l'altitude des terres).

Quelles seraient alors les évolutions possibles sur le long terme d'un littoral de plus en plus anthropisé sous contrainte de montée du niveau de la mer, au moins jusqu'à 2100, en prenant en compte les risques de conjonction de toutes les menaces potentielles (« *perfect storm* »)? Comment garder compatibles l'expansion des activités maritimes et la sécurité et la pérennité des milieux, des personnes, des biens, des activités ? Les échelles de perturbation de l'environnement liées à la montée de la mer sont si considérables qu'elles font apparaître de forts besoins en connaissances dans de nombreux secteurs d'activité et naturellement en recherche. Se projeter à 2100 est donc devenu nécessaire pour décider de manière pertinente à l'horizon 2030. La prospective irrigue déjà la planification à moyen terme de diverses activités maritimes. Mais la gestion durable du littoral face à un changement aussi global que la montée du niveau de la mer ne pourra émerger sans démarche collaborative alliant sciences et technologies dans de nombreux domaines : environnement, société, économie, urbanisation, industries, tourisme, gouvernance, en croisant les apports des diverses disciplines. De fait, l'adaptation aux changements globaux est déjà une réalité en parallèle des efforts d'atténuation du changement climatique recommandés par le GIEC depuis des décennies. En effet, de nombreux pays, comme les Pays-Bas ou le Royaume-Uni ont déjà engagé des travaux importants de protection de leurs littoraux les plus exposés..

Méthodologie

Le large éventail des vitesses de montée du niveau de la mer et la variété des conséquences et des réactions possibles justifient le recours à la méthode des scénarios selon les modalités de l'analyse morphologique (Bishop et al, 2007). Il a été donc mené une prospective à horizon de long terme (2100) visant à élaborer des représentations contrastées des futurs possibles, en articulant l'échelle mondiale à laquelle se déroule le phénomène étudié, et trois cas-types locaux permettant d'illustrer les conséquences et réactions possibles en fonction des divers scénarios : en Nouvelle-Aquitaine, aux Pays-Bas et au Vietnam.

Les étapes de l'analyse sont classiques de l'analyse morphologique:

- a) La construction du système prospectif avec 26 variables motrices réparties en 7 composantes (cf. encart 1) dont une composante de contexte global
- b) L'analyse rétrospective de l'évolution de chacune des variables et composantes

- c) La formulation d'hypothèses contrastées d'évolution à 2100 pour chacune des variables retenues ; il faut noter que l'étape optionnelle de construction de micro-scénarios au sein de chaque composante n'a pas été retenue afin de garder une lisibilité maximale des hypothèses pour chaque scénario
- d) La construction du « tableau morphologique », matrice regroupant l'ensemble des hypothèses
- e) La construction des scénarios en afin de construire des récits cohérents, plausibles et contrastés
- f) **Structuration de la présentation et schéma de positionnement des scénarios sur un plan**
- g) Les conséquences des scénarios sur les priorités de recherche et les stratégies qui les structureraient, pour la France, l'Europe, le monde

Aux composantes du système prospectif, il faut ajouter plusieurs hypothèses directement liées au contexte physique du changement climatique et de ses effets sur la hausse du niveau de la mer.

Les contextes physiques

Si l'étude ne porte pas que sur le phénomène d'élévation du niveau de la mer lui-même mais bien sur les conséquences de ce dernier, il n'en constitue pas moins un élément-clef de la construction des scénarios. Il faut donc préciser l'ampleur du phénomène et des événements associés (tempêtes par ex.) afin de définir les contextes physiques possibles d'élévation de la mer à l'horizon 2100.

L'accumulation des connaissances à ce jour et l'expertise mobilisée a permis d'établir quatre hypothèses en combinant trois facteurs majeurs (cf. tableau 1) : la hausse du niveau de la mer en 2100, la vitesse du phénomène à cette échéance (forte ou faible) et enfin l'intensité et la fréquence des événements météorologiques extrêmes sur les côtes (EvEx). La hausse dépend elle-même de 3 facteurs : la fonte des glaces des calottes polaires (contribution triplée en 20 ans), la dilatation de l'océan, et la fonte des glaciers terrestres. Par ailleurs, la valeur absolue de la hausse en 2100 compte moins que la dynamique en cours. Enfin, les hypothèses d'élévation du niveau de la mer sont corrélées aux scénarios de forçage radiatif (connus sous l'acronyme RCP pour *Representative Concentration Pathway*) issus des travaux du GIEC. Ainsi, l'état physique de type « modéré » n'est compatible qu'avec des trajectoires de forçage radiatif (RCP) de 2,6 ou 4,5. Celui de type « sérieux » devrait être observé pour des RCP de 4,5 ou 6,0. Enfin, les états physiques « grave » ou « extrême » ne peuvent émerger que dans les RCP 6,0 ou 8,5. Les scénarios du GIEC n'ont ainsi contribué que repères dans l'élaboration des états physiques de la mer sur le littoral. On notera que l'état physique « extrême » prend en compte une hausse du niveau de la mer bien supérieure à la limite supérieure proposée dans le dernier rapport du GIEC ([Oppenheimer et al, 2019](#)).

Tableau 1 : Caractéristiques des quatre états physiques potentiels concernant le niveau de la mer à 2100

Vitesse d'élévation du niveau de la mer en 2100 <i>Hausse du niveau de la mer (ordre de grandeur, en cm)</i>	Faible	Forte
50	MODÉRÉ EvEx forts et fréquents)	SÉRIEUX EvEx forts et fréquents
100		GRAVE EvEx plus forts et plus fréquents
200		EXTREME (EvEx beaucoup plus forts et fréquents

NB : EvEx veut dire « évènements météorologiques extrêmes »

Les scénarios

L'analyse morphologique, donne finalement huit scénarios que l'on peut ranger en trois « familles » dont la ligne de partage tient avant tout à la position de la gouvernance, première variable motrice en matière d'environnement (Lacroix *et al*, 2019). L'élaboration des scénarios a tenu compte de deux éléments déterminants : d'abord, le choix de la priorité de la gouvernance, qui va du soutien massif aux mesures d'atténuation du changement climatique, à des politiques d'adaptation du littoral sans efforts de réduction du changement climatique, avec des positions intermédiaires entre ces deux extrêmes ; ensuite, la possibilité d'une inflexion de trajectoire à des échéances diverses. En effet, il est peu probable qu'une politique globale de négligence des causes du changement climatique puisse être tenue sans aucun changement sur 80 ans, d'où la logique de modification de la majorité des trajectoires au bout de plusieurs décennies.

Famille « Adaptation littorale »

Scénario A1 - Maîtrise climatique : Face à un changement climatique bien maîtrisé engendrant une faible hausse du niveau de la mer, les stratégies d'adaptation du littoral se limitent à des mesures incrémentales basées sur la transformation progressive des villes côtières sans remise en cause du modèle conventionnel de développement urbain. Cependant, les évènements climatiques extrêmes ont ponctuellement des impacts importants sur certains littoraux plus exposés aux aléas.

Scénario A2 - Villes résilientes : La priorité est d'abord donnée aux stratégies d'adaptation : les villes côtières mettent en place des barrières artificielles ou naturelles, s'appuient sur des technologies numériques d'anticipation, régulent les mécanismes de subsidence, renforcent la sécurité sanitaire et alimentaire et la résilience des infrastructures énergétiques, de communication et de transport face aux évènements climatiques extrêmes. Cependant, les coûts croissants de ces choix conduisent les Etats à déployer vers 2040 de vigoureuses politiques concertées de décarbonation des activités économiques. Ce changement de priorité finit par porter ses fruits en freinant le changement et ses conséquences. Mais les zones à faible densité de population, délaissées et peu concernées par les mesures d'adaptation, restent très exposées aux risques de submersion.

Scénario A3 - Sobriété et anticipation : La mise en place progressive d'une gouvernance littorale de l'adaptation à la hausse du niveau des mers aboutit à la généralisation de stratégies de repli lorsqu'il est justifié. Par ailleurs, le développement d'une culture de la sobriété dans l'ensemble des domaines d'activité économique dès 2030 conduit à réduire les émissions de gaz à effet de serre et à limiter le niveau d'élévation de la mer.

Scénario A4 - Adaptation prioritaire et atténuation tardive : De 2018 à 2060, chaque État, isolé et convaincu qu'il ne peut à lui-seul réduire le changement climatique, se concentre sur l'adaptation des littoraux. Mais face à l'intensité des conséquences du changement climatique, les États mettent en œuvre après 2060 de fortes politiques coordonnées d'atténuation qui permettent de limiter la hausse du niveau de la mer à 1 m. L'adaptation littorale s'effectue en contrôlant l'urbanisation et la croissance démographique littorales, et en anticipant les reculs prévisibles du trait de côte par des retraits appropriés.

Famille « Dénî »

Scénario D1 - Du déni à la réaction : Après un demi-siècle (jusqu'en 2050) de déni et de passivité générale ayant contribué à accroître la vulnérabilité de la zone côtière, la réalité de l'élévation du niveau marin et de ses conséquences dévastatrices sur le littoral finit par s'imposer. La prise de conscience est alors collective (décideurs, société civile, citoyens) à partir de 2050 et la lutte contre les conséquences du dérèglement climatique devient une priorité absolue et partagée à toute échelle d'action. Bien que tardives, des actions d'atténuation du changement climatique sont engagées de manière vigoureuse et soutenue et d'ambitieuses stratégies d'adaptation littorales se généralisent à l'échelle du globe.

Scénario D2 - Abandon du littoral : Dans un contexte général de déni, les élites prennent progressivement conscience de l'augmentation irréversible des risques sur les littoraux sensibles. Elles organisent alors un repli systématique de leurs intérêts les plus stratégiques vers l'arrière-pays. Elles délaissent les franges littorales les plus vulnérables, où les populations les plus pauvres demeurent, trop dépendantes des ressources locales et de l'accès aux terres. Vers 2080, suite à la répétition de catastrophes humanitaires, des efforts d'adaptation littorale sont consentis pour prévenir des migrations trop massives vers l'intérieur des terres (surélévation des villes, habitat flottant...).

Scénario D3 – Passivité : La persistance du déni du changement climatique et, par conséquence, l'accélération de ce dernier entraînent la dégradation accélérée des écosystèmes de façon souvent irréversible et la vitesse de recul du trait de côte augmente progressivement. Les flux migratoires massifs s'intensifient au fur à mesure de l'élévation du niveau de la mer. Le tableau général est catastrophique, avec la brutalisation des rapports sociaux, et des crises environnementales économiques et humanitaires répétées et un chaos politique sans solution de stabilisation autre que des régimes autoritaires de survie.

Famille « Monde fragmenté »

Scénario F - Fragmentation persistante : Un nombre minoritaire d'États, notamment les plus riches, mènent de front une politique de lutte contre l'élévation du niveau de la mer et un retrait stratégique progressif des zones littorales les plus vulnérables ; à l'inverse, en l'absence d'anticipation des changements littoraux, la majorité des États côtiers, dont les plus pauvres, où les mégalo-pôles côtières se développent toujours, voient leur vulnérabilité s'accroître face à la hausse du niveau marin. Cette logique duale se maintient et s'accroît durant le siècle avec de nombreuses variantes intermédiaires. À une extrémité, même les pays les plus conscients des risques d'irréversibilité du changement climatique donnent la priorité à l'adaptation ; à l'autre, les pays préoccupés par les urgences de l'adaptation sur leur littoral menacé, et notamment les pays les plus défavorisés, ne réagissent, au mieux, que trop tardivement pour être efficaces. Cette fragmentation continue des politiques nationales, en l'absence d'une politique mondiale et coordonnée d'atténuation ne permet pas d'atténuer le changement climatique ni de freiner la montée du niveau de la mer.

Représentation graphique des scénarios

Les trajectoires de ces huit scénarios ont été synthétisées dans la figure 1. Les axes croisent l'atténuation du changement climatique résultant d'efforts coordonnés à l'échelle globale (ordonnées) et les efforts d'adaptation des littoraux à la hausse du niveau de la mer (abscisses). Le centre du graphe représente le point de départ en 2018, et l'extrémité de la flèche la situation en 2100. La trajectoire (chaque flèche) décrit donc le niveau d'atténuation et des efforts d'adaptation mis en œuvre entre 2018 et 2100. Des points d'inflexion dans les trajectoires sont précisés avec une estimation de la décennie correspondante. Sur l'axe des ordonnées, plus on va vers le haut et plus l'atténuation globale est importante dans le scénario considéré. Sur l'axe des abscisses, plus on va vers la droite et plus les efforts d'adaptation des littoraux sont importants. Des efforts « négatifs » ont été envisagés ; ils correspondent à des situations où les actions pour l'adaptation

vont à l'encontre même de ce qu'il faudrait faire, comme continuer à construire en zone inondable, ce qui conduit à une inadaptation croissante des littoraux. De même, des atténuations « négatives » ont été envisagées, comme par exemple renforcer les aides au secteur des énergies d'origine fossile ou le renforcement de toutes les activités qui vont pourtant résulter en l'accroissement des émissions de gaz à effet de serre.

Figure 1: Graphe récapitulatif des scénarios des trois familles

Focus territoriaux

La vision de ces scénarios globaux est rendue plus concrète par l'étude de certains territoires emblématiques des enjeux traités. Il s'agit à la fois à consolider les scénarios globaux et à vérifier leur pertinence dans des contextes géographiques et socio-économiques variés. Le choix de ces territoires a porté sur des régions particulièrement sensibles à la hausse du niveau de la mer mais présentant des situations socio-économiques diverses. (Voir les 3 encarts).

Conclusion

On observe que sur huit scénarios, cinq d'entre eux mènent à des situations « extrême » ou « grave », même en tenant compte de changement de stratégie vers 2050-2060. Par ailleurs, la situation tendancielle actuelle que l'on pourrait qualifier de type « Fragmentation persistante » conduit à terme à une situation extrême. Seules des conjonctures assez hypothétiques de politiques mondiales vertueuses et stables permettraient d'aboutir à des situations positives en 2100 (« modéré » et « sérieux »). Mais cela impliquerait de vraies ruptures par rapport aux tendances actuelles, ce qui semble peu probable à l'échelle d'une décennie, pourtant souvent présentée comme « la décennie de la dernière chance »

Il est donc réaliste de projeter une montée du niveau de la mer de l'ordre de 1 à 2 mètres d'ici 2100. Cette hausse aurait des impacts considérables sur la majeure partie des côtes basses habitées et donc la sécurité des personnes, la pérennité des infrastructures et nombre de productions agricoles vitales comme le riz. Dans leur majorité, ces scénarios envisagent une continuation de la hausse de la mer et une aggravation des événements météo extrêmes (Clark et al, 2016). En effet, en toute logique, la dynamique générale de ces scénarios devrait rester la même en 2100, voire s'aggraver, car la plupart des mécanismes enclenchés par le changement climatique sont à boucle de rétroaction positive (ex : la réduction de la surface de la banquise en Arctique accélère le réchauffement de l'océan, ce qui freine la prise en glace de la mer en hiver, etc). Le plus probable, en termes de tendances lourdes actuelles, est donc que la situation pourrait empirer au-delà de 2100 pendant plusieurs siècles.

La réactivité des décideurs apparaît comme un facteur capital de préservation des situations à des états « modéré » et « sérieux » en 2100. Mais l'écart entre la trajectoire actuelle (« Fragmentation ») et ces objectifs implique la nécessité d'un changement radical et à l'échelle mondiale de politique pour trois scénarios sur huit (Maîtrise climatique, Sobriété et anticipation, Villes résilientes) avant 2040. Pour les cinq autres trajectoires, le changement serait trop tardif pour éviter des situations de type « grave » ou « extrême ». Le graphe de synthèse montre que si des politiques vigoureuses et pérennes d'atténuation du changement climatique ne sont pas mises en œuvre dans les deux décennies à venir, aucun effort d'adaptation du littoral ne permettrait d'éviter des situations de type « grave » ou « extrême » d'ici 2100. Dans le cas de ces deux situations, les conséquences, dès 2050, seraient incalculables en raison de l'ampleur et de l'importance des zones côtières impactées.

Ce type de situation correspond à la conjonction de trois risques « transcendants » : la non-maîtrise des impacts géographiques (Tchernobyl, Covid-19...) ce qui en fait des phénomènes à impact mondial, l'incalculabilité des coûts économiques, sociaux et environnementaux et enfin la non-compensabilité partielle en raison de dégâts irréversibles (Beck, 1986). Le rapport de l'OCDE (2019) sur les risques liés à la submersion marine montre que, si la hausse du niveau de la mer reste de l'ordre du mètre, les conséquences en termes économiques pourraient être à peu près gérées à l'échelle de la majorité des pays concernés. En revanche, dans le cas de scénarios plus graves (1,3 à 2 m), la réponse pertinente devrait changer d'échelle notamment en matière d'organisation de la transition de l'économie côtière. Or les délais de réaction « à temps » se réduisent et l'inertie des intérêts et des activités humaines est considérable. Il est possible que seules des catastrophes (« renversement » au sens grec) comme celle de la pandémie de 2020, puissent déclencher les changements nécessaires pour éviter la majorité des trajectoires négatives actuelles liées à la hausse du niveau de la mer. En dernier ressort, la seule chose qui serait à éviter à tout prix serait de dépasser le seuil d'irréversibilité d'un changement majeur. Mais ce seuil est quasiment impossible à calculer de manière précise car il diffère selon les phénomènes considérés (la fonte des calottes glaciaires n'a pas la même dynamique que le dégel du permafrost) et la résilience des écosystèmes est encore mal connue, notamment dans le monde marin, principal puits de carbone sur terre. On peut espérer que des modélisations de plus en plus fines, non pas seulement de l'évolution du climat, ce que fait déjà bien le GIEC depuis 25 ans, mais des conséquences économiques des choix de politique climatique et de ses conséquences sur le niveau de la mer, aideront à des décisions politiques et économiques efficaces. Dès 2006, le rapport de l'économiste en chef de la banque d'Angleterre, Nicholas Stern, montrait que c'était « l'intérêt bien compris des pays développés de prendre en compte la réalité du changement climatique et de financer les efforts d'atténuation à l'échelle mondiale, faute de quoi les coûts d'adaptation les dépasseraient largement sur le long terme (Stern, 2006). Mais il est difficile de modifier un système économique dominant à l'échelle

mondiale surtout si cela exige des changements profonds de technologies, de finalités, de mentalités et de comportements à une échelle suffisante pour avoir des effets positifs sur l'atténuation du changement climatique. La première étape est donc celle de la prise de conscience de la réalité de la trajectoire actuelle afin de la faire évoluer à temps. Les conséquences multiformes de ce changement sur les zones côtières, notamment des zones riches, très peuplées et vitales pour l'économie mondiale, de fait en « première ligne » du changement global, pourraient contribuer à cette prise de conscience de l'urgence d'agir dans cette décennie pour préserver un monde durable dans les décennies suivantes.

Les 3 encarts liés à des territoires

La Nouvelle-Aquitaine : attractive mais vulnérable

Cette région, la plus vaste de France, couvre 12 départements (84 000 km²). En dehors de la métropole bordelaise (0,9 million) et des principales aires urbaines (Poitiers, Pau, La Rochelle...), sa population (5,9 millions), se répartit dans des villes moyennes ou des bourgs. Le fort dynamisme démographique, touristique et économique de la région en fait un territoire attractif. Le linéaire côtier de 970 km est diversifié, en termes d'écosystèmes, d'occupation et d'activités (50 % de la population habite à moins de 60 km de l'océan). On compte de nombreux estrans tidaux et baies ainsi que plaines côtières de faible altitude ce qui en fait un littoral vulnérable à l'érosion et à la submersion marine. Ce littoral fait l'objet d'une prise en charge scientifique et politique singulière, principalement par le Groupement d'Intérêt Public (GIP) Littoral aquitain. Ses travaux, à disposition des citoyens, des élus et des entreprises, facilitent la conception des programmes d'aménagement à toutes les échelles, de la commune littorale à l'ensemble de la région.

Dynamiques physiques et risques associés

L'actualisation des projections de recul du trait de côte à l'horizon 2050 ([Bernon *et al*, 2016](#)) donne un recul moyen de 50 m sur la côte sableuse et de 27 m sur la côte rocheuse, plus des reculs brutaux lors de tempêtes, de l'ordre de 25 m. La submersion tendancielle (3 mm/an en 2020) aura d'autant plus d'impact à l'avenir qu'on observe la réduction des débits solides et liquides des bassins versants. Il devrait en résulter une aggravation des phénomènes de submersion marine et d'érosion sur le littoral (cf. rapport AcclimaTerra, [Le Treut, 2018](#).)

Institutions et gouvernance du littoral

Les dynamiques à l'œuvre sont étudiées depuis des décennies via divers outils : Mission Interministérielle d'Aménagement de la Côte Aquitaine, Observatoire de la côte, GIP Littoral aquitain. Les principes d'aménagement issus de ces travaux ont conduit aux tendances générales suivantes : une urbanisation concentrée sur les stations balnéaires et leur rétro-littoral, afin de maintenir de larges espaces naturels. La stratégie régionale de gestion de la bande côtière (2012) vise à encadrer et à accompagner les collectivités dans la mise en place de programmes locaux de gestion de la bande côtière sur les principales zones de vulnérabilité.

Trois scénarios plausibles

Les trois scénarios partent d'une même évolution climatique mondiale "de référence", caractérisée par une élévation moyenne du niveau de la mer de 30 cm en 2050 et de 100 cm en 2100, avec une pente d'évolution toujours positive à la fin du siècle et des événements climatiques extrêmes plus fréquents et plus forts.

Scénario 1 : Des stratégies de gestion à la dérive

La croissance démographique soutenue a conduit au développement des stations balnéaires. Nombre d'élus locaux ont décidé le renfort des mesures de protection, souvent massives et coûteuses. Mais cela n'a pas suffi à contenir les effets de l'érosion et des submersions notamment en Charente-Maritime. Seul le système d'assurances a été adapté, conditionnant la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle à de nouvelles mesures de prévention et de gestion de crise. Mais les charges sont devenues lourdes pour la région et certains territoires (ex : Arcachon) sont changés en profondeur, ce qui perturbe toutes les activités. On assiste donc à un abandon progressif des habitats et des activités en zones trop vulnérables, comme dans la baie d'Arcachon à partir de 2050. Cet « exode littoral » se reporte dans l'aire bordelaise, qui doit s'adapter en permanence, en tenant aussi compte des évolutions de l'estuaire.

Scénario 2 : Aquitania ou la dépoldérisation du bassin aquitain

« Vivre avec le risque », paradigme de la gestion dans les années 2020, a été le moteur de l'adaptation en Nouvelle-Aquitaine. Ainsi, avec l'aide de fonds européens, la Région et l'État n'ont soutenu que des aménagements compatibles avec les processus naturels, une libre évolution des cours d'eau et des estuaires. La conséquence est la dépoldérisation des terres basses, c'est-à-dire l'abandon des zones vulnérables à l'échelle du siècle. Sont alors développées des formes innovantes d'habitat modulable, réversible, voire flottant, pour les déployer dans les zones rétro-littorales selon le concept de « solutions fondées sur la nature » intégrant de nouvelles activités comme l'aquaculture. A partir de 2060, l'élévation du niveau de la mer induit une profonde modification du linéaire côtier et l'arrière-pays. La vigne n'est plus cultivée sur la rive gauche de l'estuaire, la centrale du Blayais est fermée. Lacs, marais et étangs composent désormais une mosaïque bleue, verte et saumâtre à l'échelle du bassin aquitain avec des écosystèmes recomposés ou émergents. Il apparaît une économie bleue où l'élévation du niveau de la mer est accompagnée comme vecteur déterminant du devenir de la région.

Scénario 3 : Les métropoles et leurs presqu'îles

Le renforcement des politiques de prévention et de précaution face aux risques littoraux, en France comme en Europe, a conduit entre 2020 et 2050, à freiner les mobilités démographiques vers les zones côtières, au profit d'une densification des arrière-pays mais aussi des métropoles proches de la mer. Les politiques d'aménagement ont ainsi cherché à diminuer l'urbanisation sur la bande littorale, tandis que la métropolisation sur les pôles bordelais et rochelais s'est poursuivie selon un rythme soutenu. Les mesures de protection se sont renforcées là où les enjeux socioéconomiques étaient les plus forts (ex : stations balnéaires), le Pays Basque et l'aire de La Rochelle afin d'atténuer les effets de submersion. Les marais et les dunes sont laissés en libre évolution ce qui conduit à un fort recul de la côte dès 2050, surtout en Charente. Il en résulte un linéaire côtier disparate avec une alternance de « presqu'îles » urbanisées et d'espaces naturels. Mais, vers 2100, la pression d'occupation humaine conduit à un mitage et une artificialisation de l'arrière-pays, obérant en partie les capacités de résilience des espaces naturels, agricoles et forestiers.

Les Pays-Bas, le pays le plus exposé d'Europe

Un « pays sur l'eau »

Les Pays-Bas accueillent le delta de trois fleuves (Rhin-Meuse-Escaut). Les zones inondables représentent 60% de la superficie du pays, ce qui représente une menace pour 9 millions d'habitants, dont les grandes métropoles, dont Rotterdam, le premier port d'Europe. En conséquence, les Pays-Bas se sont dotés de 3700

km de défense primaire contre les inondations (surtout des digues d'argile) et de plus de 14 000 km de réseau secondaire. La partie centrale du pays est très vulnérable aux risques d'inondation et de submersion marine, avec un point bas à 7 m au-dessous du niveau de la mer. Les Pays-Bas consacrent 7 milliards d'euros par an pour la gestion de l'eau, pour la prévention des inondations fluviales et la gestion de l'eau potable. On peut parler d'une « démocratie fonctionnelle » pour la gestion de l'eau car tout le pays contribue au financement des défenses et de la gestion des catastrophes (submersion, inondation et sécheresse)

Le plan Delta

La gouvernance de l'eau repose sur le plan Delta, décidé après la tempête de 1953 qui fit 2000 morts. Celui-ci assure la coordination des différentes échelles (région/province/national) pour protéger le pays de la mer et des fleuves, notamment via la polderisation des plaines littorales (Gueben-Venière, 2015). Cette philosophie de la protection évolue vers une cohabitation avec les aléas marins en anticipant les catastrophes. Il est donc envisagé une hausse de la mer jusqu'à 1m en 2100, des tempêtes plus fortes, une érosion croissante des côtes et la salinisation des terres basses. Mais il est aussi envisagé une accélération du changement climatique aggravant toutes les projections : + 2 à 4° en température, + 2 à 3 m de niveau de la mer. Cette accélération poserait la question de la capacité même d'adaptation du pays.

Les scénarios : quelles trajectoires d'adaptation pour le "Dutch Delta" à l'horizon 2100 ?

La situation actuelle est marquée par une tension entre une faible atténuation du changement climatique, comme à l'échelle mondiale et une forte adaptation aux inondations. Mais quels pourraient être les scénarios pour le pays à l'horizon 2100, s'il y a une accélération du changement climatique et de la hausse de la mer?

Scénario 1 : La technologie a ses limites

Le scénario envisage une trajectoire conventionnelle de développement : on maintient la logique actuelle, basée sur la croyance dans le "tout technologique", dont on renforce le portage politique. Mais, après 2050, le plan Delta se révèle de moins en moins efficace, les tempêtes et les surcotes associées ne sont plus maîtrisables et entraînent de forts dégâts. Les populations sont contraintes à un retrait précipité. Les Pays-Bas peinent à reconsidérer globalement leur modèle de développement urbain et agricole. Digues, pompes et réseaux de réservoirs, technologies de modélisation, d'alerte et de gestion restent les outils d'action.

Scénario 2 : Réaménagement du littoral

Les Pays-Bas s'impliquent fortement dans la lutte contre le changement climatique en soutenant l'UE dans ces efforts. La stratégie adaptative a changé : retrait stratégique de la ligne de côte, constitution de zones-tampons sur les littoraux, transferts urbains de la plaine centrale vers l'est, au-delà de la ligne Breda-Groningue, renforcement d'infrastructures écologiques de protection et de digues plus en retrait. Cette adaptation se fait dans le cadre d'une coopération régionale avec la France, la Belgique, et l'Allemagne pour mieux réguler la gestion des débits des fleuves. Cette trajectoire, exigeante en termes de sacrifices d'habitat et d'industries, s'appuie sur la forte culture démocratique de la gouvernance de l'eau pour une stratégie de survie collective.

Le Vietnam, vulnérable par ses deltas

La richesse est dans les deltas mais les menaces viennent de l'amont comme de l'aval

Le Vietnam est un pays du sud-est asiatique de 331.000 km² s'étirant sur 1500 km. La plaine côtière étroite, montagneuse, débouche au nord sur le delta du fleuve Rouge (capitale: Hanoï) et au sud, sur le delta du

Mékong (centre : Ho-Chi-Minh ville). La population (96,2 millions) et les richesses sont concentrées dans les deltas. Celui du Mékong concentre 50% de la riziculture et 60% de l'aquaculture (Bengalore et al, 2017). Mais ces deltas sont soumis à une forte subsidence liée à diverses causes comme la réduction des apports en eau et sédiments des fleuves, ou les extractions de matière (eau, sable, pétrole, gaz). En conséquence, la hausse relative annuelle de la mer varie de 0,3 à 2,2 cm par an dans le delta du Mékong dont 80% liée à la subsidence. On observe aussi la baisse des nappes phréatiques et la salinisation accélérée des terres côtières. Même une hausse limitée à 1 m en 2100 entraînerait une submersion de la moitié du delta et concernerait directement 17 millions de personnes (sur une population supposée stable de 100 millions) (Thao et al, 2014).

Au plan politique (gouvernance), sociétal et de l'urbanisme

Il apparaît une prise de conscience progressive des enjeux multiples induits par la submersion et surtout par les événements météorologiques extrêmes dont puissance et fréquence devraient s'accroître (tempêtes, mousson...). Les villes et les infrastructures des deltas devraient être inondées plus fortement. Cependant, les autorités oscillent entre un certain scepticisme devant les projections et la planification de stratégies d'adaptation. Mais les mentalités ne semblent pas préparées à un repli stratégique d'ampleur

Trois scénarios plausibles

Les trois scénarios partent d'une même évolution climatique mondiale modérée décrite pour les Pays-Bas.

Scénario 1 : Prise de conscience et pro-action

La prise de conscience de la vulnérabilité croissante du sud-est asiatique (SEA) à la submersion marine progresse dans tous les pays de la région, y compris en Chine.

Elle conduit à une forte coopération internationale, notamment à l'échelle des pays impliqués dans la gestion du bassin du Mékong et du Fleuve rouge. Une politique commune en matière de prélèvement de tout type, d'aménagement des fleuves et d'usage des terres permet de freiner la subsidence et de l'annuler à l'échelle du siècle. Même freinée, la hausse apparente nécessite la planification d'un repli stratégique progressif, voire d'une émigration négociée avec les pays voisins sous l'égide des Nations-Unies qui élaborent le statut d'« éco-réfugiés ». De nombreux pays sont sollicités en appui technologique et en modélisation comme les Pays-Bas. Cette évolution vertueuse va de pair avec une gouvernance mondiale éclairée.

Scénario 2 : Crises récurrentes et adaptation incrémentale

La lenteur de la prise de conscience des menaces conduit à des situations de plus en plus critiques pour un nombre croissant de régions côtières dans le pays. Les autorités passent peu à peu du scepticisme à l'acceptation des dangers liés à la submersion marine et à la salinisation des terres. Les pressions viennent à la fois des populations concernées et des organisations internationales confrontées à des problèmes identiques dans d'autres pays, y compris dans la région: Cambodge, Indonésie, Philippines...

Les autorités prennent d'abord des mesures conjoncturelles comme la construction de digues ou le repli provisoire de populations. Une catastrophe d'ampleur décide le gouvernement à lancer un équivalent du « plan Delta » hollandais, combinant tous les outils d'aménagement classiques: digues, barrages, réseaux de pompage... L'aide internationale est largement sollicitée.

Certaines régions doivent être abandonnées afin de réserver l'eau douce aux zones les plus peuplées. Mais il faut replanifier tous les 15 ans des programmes de repli ou d'aménagement. Cette situation de vulnérabilité croissante et de relative impuissance politique finit par poser des problèmes de plus en plus sérieux sans solution de long terme.

Scénario 3 : Dénis persistant et catastrophes

La position de scepticisme des autorités en matière de risques de submersion marine persiste pendant plusieurs décennies. La population est partagée entre inquiétude et résignation. Les coopérations internationales en appui aux programmes de protection et prévention sont limitées aux sites les plus exposés et les négociations sur la gestion des deux fleuves majeurs ne progressent pas ou peu. L'absence de forme efficace de dialogue régional, l'ASEAN et l'APEC fonctionnant mal, conduit à des stratégies politiques nationales, voire nationalistes. Face aux menaces d'ordre climatique, les pays de la région suivent leur logique propre de défense côtière et d'aménagement du littoral et des zones basses.

La situation s'aggravant au fil des années, les classes aisées et les jeunes diplômés commencent à partir à l'étranger tandis que les populations côtières les plus vulnérables cherchent refuge ailleurs. La bande côtière littorale est souvent impactée ce qui freine les échanges entre le nord et le sud (électricité, rail, route...).

Le pays affronte alors une sorte de conjonction des pires hypothèses des problèmes sur tous les plans : politique, économique, social. Le recours est l'armée qui doit gérer des situations de crise à répétition et encadrer des relocalisations forcées, source de tensions supplémentaires voire de violences à l'échelle locale. Cette évolution conduit à une situation de survie du pays qui doit importer du riz nourrir sa population.

S'il est un pays où le principe de précaution devrait être pris au sérieux, et en urgence, en matière de montée du niveau de la mer est de ses conséquences, ce pourrait être le Vietnam.

Encart 1 : Structure du système d'analyse prospective sur la montée du niveau de la mer

Les **7 composantes** (prises au sens de groupes de variables et non de cadre de construction de micro-scénarios) et variables du système de la prospective sont

Population

P1 - Part de la population exposée

P2 - Migrations internes et internationales

P3 - Degré de vulnérabilité sanitaire des populations

Urbanisme et infrastructures

U1 - Dynamiques urbaines

U2 - Niveau de résilience des infrastructures

U3 - Adaptations des zones littorales exposées

Environnement et ressources naturelles

EN1 - État de la ressource en eau douce (quantité et qualité)

EN2 - État des sols (salinisation, érosion...)

EN3 - Dynamiques des écosystèmes littoraux et côtiers (habitats, biodiversité)

EN4 - Modification du trait de côte

Agriculture et alimentation

A1 - Disponibilité en terres agricoles

A2 - Systèmes de production agricole

A3 - Poids de l'aquaculture et de la pêche dans l'alimentation

A4 - Sécurité alimentaire (disponibilité, accès, utilisation, stabilité)

Economie littorale

EC1 - Economie littorale (poids, capacité de transformation, degré de dépendance aux écosystèmes de l'économie)

EC2 - Solidarités et mutualisation (pour adaptation et gestion des crises)

Gouvernance littorale

G1 - Prise de conscience des risques littoraux (gouvernants et société)

G2 - Réactivité et degré d'engagement (proactivité, acceptabilité, éducation)

G3 - Niveau de coordination et mutualisation (échelles locale et globale)

Contexte global

C1 - Croissance économique mondiale

C2 - Mix énergétique (dépendance aux énergies fossiles et au commerce international)

C3 – Prise de conscience de l'enjeu climatique à l'échelle globale (gouvernants et société)

G4 - Gouvernance géopolitique globale

Encart 2 : Présentation d'ALLENVI

L'Alliance nationale de recherche pour l'environnement (AllEnvi « Alimentation, eau, climat, territoires ») fédère les forces de 28 partenaires de la recherche publique française afin de contribuer à la coordination et au rayonnement de la stratégie scientifique du Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation en matière d'environnement. Elle est construite autour d'un noyau de 12 structures majeures : BRGM, CEA, l'Irstea, le Cirad, le CNRS, la conférence des présidents d'université, l'Ifremer, l'IRD, l'INRA, le laboratoire central des ponts et chaussées, Météo-France et le Museum national d'histoire naturelle. Pour éclairer ses choix de priorités de recherche, l'Alliance dispose de sept groupes thématiques (sols, animaux, plantes, eaux continentales, océan, atmosphère, terre solide) et de six groupes transversaux dont d'un groupe pluridisciplinaire de prospective (GT Prospective) constitué de représentants des organismes membres. Allenvi a demandé en février 2017 au GT Prospective de conduire l'étude intitulée « La montée du niveau de la mer : conséquences et anticipations d'ici 2100, l'éclairage de la prospective ». La précédente étude de ce groupe traitait des grands scénarios d'environnement mondiaux à moyen et long terme.

L'équipe projet, compte 3 niveaux : (1) l'animation, avec les trois responsables du Groupe transversal (N. de Menthière, D. Lacroix et O. Mora), deux membres du GT Prospective, C. Didier et M. Lafaye, et A. Béthinger, cheffe de projet ; (2) la sélection de la bibliographie assurée par 2 documentalistes ; (3) L'expertise spécialisée apportée par 24 chercheurs de disciplines variées, comme la climatologie, la glaciologie, la sociologie, la géopolitique... Les travaux ont été menés sur neuf ateliers, du lancement en juin 2017 jusqu'à l'atelier de réflexion sur les questions à la recherche, en novembre 2018. Le rapport final et sa synthèse ont été présentés officiellement le 24 octobre 2019

La bibliographie a été constituée à partir de papiers scientifiques parus depuis moins de 10 ans et les articles de presse, française ou anglo-saxonne, parus depuis 2017. Cette sélection a produit 414 papiers et 67 articles grand public permettant d'apprécier comment les médias traitent cette question de la submersion marine.

Bibliographie citée :

Bamber, J. L., Oppenheimer, M., Kopp, R. E., Aspinall, W. P., and Cooke, R. M. (2019). Ice sheet contributions to future sea-level rise from structured expert judgment. *Proc Natl Acad Sci USA* 116, 11195–11200. doi:[10.1073/pnas.1817205116](https://doi.org/10.1073/pnas.1817205116).

Beck, U. (1992). *Risk society: towards a new modernity*. London ; Newbury Park, Calif: Sage Publications.

Bengalore, M., Smith, A., and Veldkamp, T. (2017). Exposure to Floods, Climate Change, and Poverty in Vietnam. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.*, 1–28. doi:[10.5194/nhess-2017-100](https://doi.org/10.5194/nhess-2017-100).

- Benoit G. et A. Comeau (dir), 2006 : Méditerranée : les perspectives du Plan Bleu sur l'environnement et le développement. Ed. de l'Aube. 429 p.
- Bernon N., Mallet C., Belon R., avec la collaboration de Hoareau A., Bulteau T. et Garnier C., 2016. *Caractérisation de l'aléa recul du trait de côte sur le littoral de la côte Nouvelle Aquitaine aux horizons 2025 et 2050*. Rapport final. BRGM/RP-66277-FR, 99 p. + annexes.
- Bishop, P., Hines, A., and Collins, T. (2007). The current state of scenario development: an overview of techniques. *Foresight* 9, 5–25. doi:10.1108/14636680710727516.
- Clark, P. U., Shakun, J. D., Marcott, S. A., Mix, A. C., Eby, M., Kulp, S., et al. (2016). Consequences of twenty-first-century policy for multi-millennial climate and sea-level change. *Nature Clim Change* 6, 360–369. doi:[10.1038/nclimate2923](https://doi.org/10.1038/nclimate2923).
- Ecorys, 2012: Blue growth: scenarios and drivers for sustainable growth from the oceans, seas and coasts. Study on mature, emerging and pre-development economic activities at sea in 2020. Final report for DG Mare (UE). 202 p.
- Gueben-Venière S., 2015 : De l'équipement à la gestion du littoral, ou comment vivre avec les aléas météo-marins aux Pays-Bas ?, *Géoconfluences*, 14 déc. 2015. <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/dossiers-thematiques/risques-et-societes/articles-scientifiques/littoral-pays-bas>
- Hereher M., 2010: Vulnerability of the Nile Delta to sea level rise: an assessment using remote Sensing. *Geomatics, Nat. Hazards Risk*, 1 (2010), pp. 315–321
- Labeyrie J., 2015: Submersion: comment gérer la montée du niveau des mers. Odile Jacob / Sciences
- Lacroix D., L. Laurent, N. de Menthère, B. Schmitt, A. Béthinger, B. David, C. Didier, et J. Parent du Châtelet, 2019: Multiple visions of the future and major environmental scenarios. *Technological forecasting and social change*. doi.org/10.1016/j.techfore.2019.03.017
- Le Treut, H. (2018). *AcclimaTerra. Anticiper les changements climatiques en Nouvelle-Aquitaine. Pour agir dans les territoires*. Éditions Région Nouvelle-Aquitaine, 488 p.
- Neumann, B., Vafeidis, A. T., Zimmermann, J., and Nicholls, R. J. (2015). Future Coastal Population Growth and Exposure to Sea-Level Rise and Coastal Flooding - A Global Assessment. *PLoS ONE* 10, e0118571. doi:10.1371/journal.pone.0118571.
- OECD (2019). *Responding to Rising Seas: OECD Country Approaches to Tackling Coastal Risks*. OECD doi:10.1787/9789264312487-en.
- Oppenheimer, M., B.C. Glavovic, J. Hinkel, R. van de Wal, A.K. Magnan, A. Abd-Elgawad, R. Cai, M. Cifuentes-Jara, R.M. DeConto, T. Ghosh, J. Hay, F. Isla, B. Marzeion, B. Meyssignac, and Z. Sebesvari, 2019: Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer
- Rocle, N., and Salles, D. (2018). "Pioneers but not guinea pigs": experimenting with climate change adaptation in French coastal areas. *Policy Sci* 51, 231–247. doi:10.1007/s11077-017-9279-z.
- Rossetti di Valdalbero D. (Coord.), 2011: *Global Europe 2050. Etude prospective DG Recherche / SSH / Prospective*. 186 p.
- Stern, N. (2006). *Stern review: The economics of climate change*. HM Treasury London. UK.

Thao, N. D., Takagi, H., and Esteban, M. (2014). *Coastal disasters and climate change in Vietnam: engineering and planning perspectives*. London; Waltham, MA: Elsevier.

UNWTO, 2011: Tourism towards 2030 Global overview. 57 p.

Vousdoukas, M. I., Voukouvalas, E., Annunziato, A., Giardino, A. & Feyen, L., 2016: Projections of extreme storm surge levels along Europe. *Climate Dynamics* **47**(9–10), 3171–3190.