

## INTRODUCTION DU SUJET

La communauté des chercheurs qui travaille sur les impacts du changement climatique et l'adaptation des sociétés humaines est confrontée à grands deux défis : évaluer les impacts du changement climatique aux échelles régionale et locale (*enjeu de descente d'échelle pour renseigner ces impacts à l'échelle des territoires*) ; fournir des connaissances sur les mesures d'adaptation efficaces pour en réduire les impacts négatifs, autrement dit sur les « solutions » d'adaptation (*enjeu des « solutions »*). Ces deux défis sont liés, puisque relever le premier constitue un premier pas important vers la réalisation du second. Ceci étant, l'évaluation des mesures d'adaptation peut aussi être réalisée à partir de l'analyse critique de leur mise en œuvre et de leur efficacité *in situ*. Cette dernière démarche, qui est tout à la fois empirique et pragmatique, consiste à *apprendre de ou par l'expérience* : c'est le « *learning by doing* » des anglo-saxons.

Ces deux défis scientifiques soulèvent une première question simple : **quel est le portefeuille de mesures dont on dispose pour réduire les impacts négatifs du changement climatique sur les territoires, et que sait-on de leurs conditions de mise en œuvre et de leur efficacité ?** L'on présentera ici le portefeuille de mesures d'adaptation visant à réduire les risques côtiers d'érosion, de submersion marine et de salinisation, en s'appuyant sur la catégorisation la plus communément utilisée, qui est celle du GIEC. Il s'agira ensuite de proposer une synthèse de ce que l'on sait aujourd'hui des atouts et limites de ces mesures d'adaptation.

## FIGURES DE SYNTHÈSE

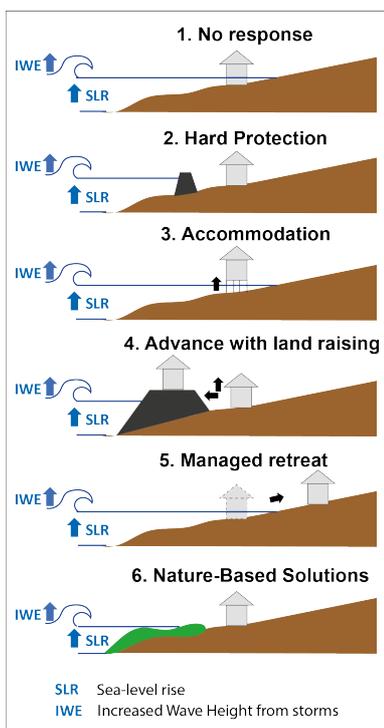


Figure 1. Catégorisation des mesures d'adaptation côtières (d'après GIEC, 2019)



Figure 2. La défense lourde. Cet exemple, à l'île Maurice, montre le couplage d'un mur anti-submersion et d'un cordon d'enrochement pour protéger une route côtière de l'érosion et de la submersion.



Figure 3. L'accommodation. Ce type d'habitat, ici anticyclonique (île de Tubuai, Polynésie française) est, de par sa surélévation, situé au-dessus des niveaux



Figure 5. La relocalisation. Cette solution est difficile à appliquer parce qu'elle remet en cause l'aménagement de l'espace côtier et requiert (a) de disposer de réserves foncières pour l'accueil des populations et aménagements relocalisés, et (b) d'être acceptée par les populations concernées. Ici, dans le sud de Maurice (Saint-Félix), une route côtière exposée à l'érosion et à la submersion (par les houles d'origine distante) a pu être relocalisée grâce à un arrangement foncier entre un acteur privé et les pouvoirs publics. La relocalisation de la route a permis de restaurer la plage et d'aménager un espace de loisirs pour le public. Dans ce cas, aucune population résidente n'a été déplacée. Ce projet

marins extrêmes. Il est également, dans ce cas précis, résistant aux vents cycloniques.



Figure 4. La « contre-attaque ». La création d'espaces plus élevés que les espaces naturels, et à ce titre non submersibles, peut être réalisée soit en continuité des espaces déjà aménagés (remblayage côtier), soit par la création d'îles artificielles édifiées sur les platiers récifaux peu profonds (par remblayage). Hulhumale', aux Maldives, en constitue un excellent exemple en milieu tropical insulaire.

de relocalisation n'a pas d'impacts négatifs pour la population.



Figure 6. Les solutions fondées sur la nature. Ici, dans le nord-ouest de l'île Maurice, trois solutions fondées sur la nature sont déployées : la création d'un récif artificiel, qui vise à protéger la côte de l'attaque directe des vagues ; la restauration de l'herbier marin, fortement dégradé par les activités humaines, en particulier de tourisme et de loisir (jet ski, navigation) ; la restauration de la plage, par son rechargement en sable et la plantation de végétation en haut de plage.

## COMMENTAIRE

### Catégorisation des mesures d'adaptation côtière (Figures 1 à 6) :

Comme l'illustre la figure 1, on distingue 6 grandes catégories de mesures d'adaptation côtière :

**(1) Le laisser-faire** consiste à ne pas intervenir en dépit de l'identification d'un risque. Cette stratégie est répandue et précède en général le choix d'un autre type de mesure.

**(2) La défense lourde ou protection lourde** consiste à contenir les risques côtiers par le recours à des ouvrages d'ingénierie côtière tels que, pour faire face à l'érosion, les murs de protection, digues, cordons d'enrochement et autres ouvrages longitudinaux qui fixent le trait de côte ; et, pour faire face à la submersion marine, les murs anti-submersion et systèmes hydrauliques (batardeaux, écluses...) qui réduisent l'incursion des eaux marines dans les espaces terrestres lors des épisodes de tempête (Figure 2). La défense lourde est la stratégie qui a été la plus employée sur les territoires côtiers au cours des dernières décennies, et ce, partout dans le monde.

**(3) L'accommodation** consiste à modifier les caractéristiques des enjeux humains exposés (habitat, infrastructures, cultures, etc.) afin de pouvoir les maintenir dans des zones exposées aux aléas météorologiques marins. La construction de bâtiments sur pilotis, comme les maisons anticycloniques polynésiennes encouragées par les PPR, en constitue un excellent exemple (Figure 3). Un autre exemple, relatif aux pratiques agricoles, est la culture d'espèces tolérantes au sel. L'accommodation a été pratiquée de longue date sur certains territoires insulaires. Cependant, l'on a une mauvaise connaissance de son utilisation et des résultats obtenus.

**(4) La contre-attaque** consiste à créer, au-devant du trait de côte actuel, des espaces plus élevés que les espaces naturels et, à ce titre, situés au-dessus des niveaux marins extrêmes résultant de la combinaison de l'élévation du niveau marin et de l'augmentation de la hauteur des vagues de tempête. Ces espaces sont généralement stabilisés et protégés de l'érosion par des ouvrages de défense. Cette stratégie peut, dans certains cas, s'appuyer sur le savoir-faire acquis dans le cadre de l'aménagement de zones industrialo-portuaires et de la création d'espaces côtiers et d'îles artificielles visant à les doter d'espaces plans supplémentaires. Cette solution est aujourd'hui expérimentée par la République des Maldives, qui a édifié l'île artificielle d'Hulhumale' (Figure 4). Conçue dans les années 1990 pour absorber la croissance démographique de l'île-capitale proche de Male', cette île répond à la définition de la « contre-attaque » en ce qu'elle possède une altitude supérieure aux îles naturelles (altitude moyenne de 2,2 m pour une altitude maximale inférieure à 1,60 m pour Male'). Hulhumale' est peu exposée au risque de submersion

marine et le restera jusqu'à la fin de ce siècle. Cette voie d'adaptation est de plus en plus envisagée par les États constitués d'atolls (Kiribati et Tuvalu).

**(5) La relocalisation ou recul stratégique** consiste à déplacer les enjeux humains exposés aux aléas météo-marins vers des zones sûres. Celles-ci peuvent être situées à plus grande distance de la mer (Figure 5) ou, dans le cas des atolls, sur des îles hautes proches ou sur le continent. Cette mesure a fait l'objet d'opérations-pilotes dans de nombreuses îles tropicales, mais elle n'a pas encore été déployée à grande échelle. Parfois, des catastrophes (tsunami, cyclone) ont favorisé son expérimentation.

**(6) Les solutions fondées sur la nature**, qui procèdent de la volonté de s'appuyer sur le Service de Protection Côtière rendu par les écosystèmes marins et côtiers pour réduire les risques (cf. Module 2, fiche 12 ; et Module 3, fiche 16), consistent en des mesures de protection, de gestion durable, de restauration et/ou de création d'écosystèmes qui, au-delà de réduire les risques côtiers, contribuent au bien-être des populations locales et renforcent la biodiversité (Figure 6). Ces mesures sont variées et incluent, en particulier, la plantation de mangrove, la restauration des plages par rechargement artificiel et végétalisation, la création de récifs artificiels, la gestion durable des plages (maintien dans le corps de la plage des débris coralliens et des feuilles d'herbiers marins apportés par les vagues et les courants marins, par exemple).

**Ces différentes mesures peuvent être employées séparément ou de manière combinée.** On parle de **mesures hybrides** dans le cas où la défense lourde et les solutions basées sur la nature sont utilisées de manière combinée. Leur utilisation combinée permet en général d'accroître leur efficacité technique. Par exemple, un ouvrage lourd tel qu'un brise-lames peut, en atténuant les vagues, contribuer à la réussite d'une opération de rechargement de plage, comme cela est illustré par le projet réalisé sur la plage de Tahiamanu à Moorea. Par ailleurs, **ces mesures peuvent et devront de plus en plus se succéder dans le temps** : lorsqu'une mesure deviendra obsolète parce qu'elle aura atteint ses limites (comme ce sera le cas pour les solutions fondées sur la nature à partir du moment où les seuls critiques de maintien des écosystèmes face aux pressions climatiques seront atteints), elle devra être remplacée par une autre mesure plus adaptée. Un enjeu crucial est, pour tout territoire, de planifier ce séquençage de mesures associées en une trajectoire d'adaptation cohérente et efficace.

#### **Principaux atouts et limites des différentes mesures d'adaptation côtière :**

**Défense lourde** : parce que la défense lourde est la stratégie de réduction des risques et d'adaptation côtière qui a été la plus employée jusqu'à présent, l'on dispose d'un certain retour d'expérience qui permet d'appréhender ses conditions d'utilisation et ses limites en milieu tropical insulaire. Les ouvrages lourds, lorsqu'ils sont bien conçus et calibrés pour faire face aux pressions climatiques futures, constituent en général une solution adaptée (bon rapport coût/bénéfice et bonne efficacité) pour réduire les risques dans les environnements urbains qui présentent une forte densité d'enjeux et possèdent les capacités de les financer et de les entretenir. En revanche, ils sont moins adaptés en contexte isolé et/ou rural où les ressources (matériaux de construction, capacités techniques et financières) requises pour les mettre en œuvre ne sont pas disponibles ou pas en quantité suffisante ou encore pas de manière durable.

Il est important de garder à l'esprit que (1) **ces ouvrages ne suppriment pas les risques**, car ils sont en général calibrés pour faire face à un événement d'occurrence centennal qui ne représente pas l'événement le plus intense qui peut se produire et car certains processus combinatoires peuvent se produire qui n'ont pas été prévus (demeure donc un risque résiduel) ; (2) les ouvrages existants sont souvent mal conçus, en mauvais état ou sous-dimensionnés, ce qui signifie qu'**il existe aujourd'hui un déficit d'adaptation à combler** pour disposer de systèmes de défense efficaces face aux pressions climatiques futures ; (3) **les ouvrages lourds accroissent l'exposition et la vulnérabilité des territoires** : la première, en encourageant la poursuite de l'aménagement des espaces qu'ils protègent, et la seconde, en favorisant une perte de vigilance des populations et des acteurs publics face aux risques ; (4) **ces ouvrages coûtent cher**, car il faut les entretenir et les mettre à niveau (rehaussement et renforcement) pour qu'ils restent efficaces face à des pressions climatiques croissantes ; (5) **ces ouvrages soulèvent des questions de justice sociale et d'équité** (qui doit payer pour qui ? quels territoires doivent en bénéficier ?) ; (6) **les ouvrages lourds contribuent souvent à la disparition des plages** (en raison de la réflexion des vagues à leur surface, qui engendre des pertes de sédiments) **et à la biodiversité associée**. Ils contribueront de manière croissante à

la **perte de biodiversité**, car dans le contexte de l'élévation du niveau de la mer, ils empêchent les écosystèmes côtiers (systèmes plages-dunes, marais) et intertidaux (mangroves, herbiers marins) de migrer naturellement vers les terres pour se maintenir – ce qui constitue la modalité d'adaptation naturelle de ces écosystèmes à l'élévation du niveau de la mer lorsqu'ils ne sont pas suffisamment alimentés en sédiments pour s'exhausser et compenser ainsi l'élévation du niveau de la mer tout en maintenant leur position. La défense lourde génère en général un « **sentier de dépendance** » en s'auto-entretenant et en rendant difficile, une fois qu'elle est en place, la bifurcation vers d'autres solutions.

**Accommodation** : bien que l'on ait encore un retour d'expérience limité sur l'accommodation dans les îles tropicales, l'on sait, pour ce qui concerne l'adaptation du bâti (surélévation), que cette mesure est très coûteuse et, par conséquent, difficilement généralisable. Son subventionnement est en général requis et pourrait, si elle était rendue obligatoire, favoriser son utilisation. C'est la seule solution pour réduire fortement les risques côtiers dans les espaces présentant une très faible altitude comme c'est le cas des atolls. Elle est cependant encore peu utilisée dans ce type d'environnement.

**Contre-attaque** : cette mesure est très coûteuse et elle a de forts impacts négatifs sur l'environnement (condamnation du récif corallien qui sert de support). Pour ces deux raisons, elle ne constitue actuellement une solution que dans un contexte urbain (capitales ou zones à forte densité de population, d'activités économiques et d'infrastructures) dans lequel ces contraintes sont acceptables. Elle est en revanche peu adaptée aux zones présentant une densité faible à moyenne d'enjeux humains.

**Relocalisation ou recul stratégique** : cette mesure complexe à mettre en œuvre car elle se heurte à de nombreuses contraintes (disponibilité foncière, attachement des populations à leur lieu de vie, coût élevé, en particulier) est de plus en plus expérimentée dans les îles tropicales. À ce stade, cette mesure a principalement concerné des infrastructures (routes côtières, par exemple) et des quartiers d'habitation. Dans certains cas, elle a échoué en raison du refus des populations d'être relocalisées. Cette mesure est efficace pour réduire le risque à la condition que les populations et les enjeux déplacés ne soient pas relocalisés dans des zones exposées à d'autres risques (inondations, mouvements de terrain, etc.).

**Solutions fondées sur la nature** : ces mesures sont avantageuses de par leurs multiples co-bénéfices (bénéfices autres que la réduction des risques), qui incluent l'amélioration du bien-être et de la santé humaine et l'augmentation des ressources disponibles. Elles contribuent également à promouvoir un développement plus durable des territoires. Leur efficacité à réduire les risques peut être élevée une fois qu'elles ont atteint leur efficacité maximale, ce qui peut prendre du temps dans des cas de plantation de mangrove ou de restauration d'un récif corallien. Elles sont beaucoup moins coûteuses que la défense lourde, la relocalisation ou la contre-attaque, mais leur mise en place et leur efficacité requièrent que certaines conditions soient remplies : une bonne compréhension des conditions de développement des écosystèmes ciblés ; la réduction des pressions anthropiques locales (par ex. de la pollution) qui affectent le maintien et le développement des écosystèmes ; l'implication d'un collectif d'acteurs structuré, incluant la société civile ; l'existence de capacités institutionnelles, humaines et financières suffisantes pour concevoir, mettre en œuvre, évaluer et ajuster si besoin, les mesures mises en place.

**Chacune de ces mesures peut donc constituer une solution d'adaptation au changement climatique à deux conditions** : qu'elle soit **déployée selon un protocole adéquat** (et spécifique à chacune d'entre elles), et qu'elle soit **conçue spécifiquement pour le site auquel elle s'applique**. Cela signifie que certaines conditions doivent être respectées pour garantir le succès durable de ces mesures et que toute mesure est contexte-spécifique (spécialement choisie et conçue pour le site visé) et par là même non exportable, telle quelle, vers un autre site. Le non-respect de ces conditions explique l'échec d'un certain nombre d'interventions techniques. Enfin, les impacts négatifs prévisibles de ces mesures, qui sont pour la plupart prévisibles, doivent par conséquent être anticipés et gérés.

## MESSAGES CLÉS

- Les mesures côtières de réduction des risques et d'adaptation au changement climatique sont variées (laisser-faire, protection lourde, accommodation, contre-attaque, relocalisation, solutions fondées sur la nature), ce qui signifie que face à une situation de risque le premier enjeu est d'évaluer non seulement le risque (actuel et futur) mais aussi la solution qui est la plus adaptée pour y répondre ;

- Chaque mesure d'adaptation possède des avantages et des inconvénients, qui doivent être connus et prises en compte pour identifier quelle(s) mesure(s) constitue(nt) une solution face au risque ;
- Le retour d'expérience que l'on possède sur l'utilisation des mesures d'adaptation aux risques côtiers est utile pour déployer ces mesures avec des chances optimales de succès ;
- Les mesures d'adaptation côtière peuvent être employées séparément ou de manière combinée ;
- Les mesures d'adaptation évolueront nécessairement avec le temps, en raison du renforcement des pressions climatiques et de l'émergence de connaissances nouvelles : l'enjeu est donc de construire dès maintenant des trajectoires d'adaptation permettant de conserver une certaine flexibilité pour le futur, autrement dit de ne pas s'enfermer, dès maintenant, dans un sentier de dépendance qui empêcherait toute bifurcation souhaitable dans le futur.

## SOURCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Duvat V.K.E., Anisimov A., Magnan A.K., 2020. Assessment of coastal risk reduction and adaptation-labelled responses in Mauritius Island (Indian Ocean). *Regional Environmental Change* 20, 110. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01699-2> (montre comment un recensement et une première évaluation des mesures de réduction des risques et d'adaptation peut être réalisée, à partir de l'exemple de l'île Maurice)
- Duvat V.K.E., Magnan A., 2019. Contrasting potential for nature-based solutions to enhance coastal protection services in atoll islands. In: C. Klöck & M. Fink (Eds.) *Dealing with climate change in small islands: towards effective and sustainable adaptation?* Göttingen University Press, Göttingen, pp. 45-75. <https://doi.org/10.17875/gup2019-1211> (évalue le potentiel des solutions fondées sur la nature aux Maldives, en fonction du degré d'artificialisation des côtes et de perturbation des processus naturels)
- Duvat V.K.E., Magnan A., 2019. Lessons from coastal risks governance on Reunion Island, Indian Ocean, France. In: I. La Jeunesse and C. Larrue (Eds.) *Facing Hydro-meteorological extremes events in Europe: a governance issue*. Wiley & Sons Ltd, pp. 433-459. <https://doi.org/10.1002/9781119383567.ch26> (traite des mesures de réduction des risques mises en place par les résidents après un cyclone à la Réunion)
- Garcin M., 2013. Projet ARAI 3 : Aménagements et ouvrages côtiers polynésiens – incidence sur l'aléa submersion et impacts environnementaux. Rapport BRGM/RP-61656-FR, 65 p., 45 fig., 4 tab. (rapport du BRGM proposant un recensement et une catégorisation des ouvrages de défense lourde utilisés en Polynésie française, ainsi qu'une analyse de leurs effets négatifs)
- Oppenheimer, M., Glavovic, B., Hinkel, J., Van De Wal, R., Magnan, A., Abd-Elgawad, ... Sebesvari, Z., 2019. Sea level rise and implications for low lying islands, coasts and communities. In: Pörtner, H.-O., Roberts, D. C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E. et al. (Eds.), IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate, Geneva, Switzerland, World Meteorological Organization. [https://report.ipcc.ch/srocc/pdf/SROCC\\_FinalDraft\\_Chapter4.pdf](https://report.ipcc.ch/srocc/pdf/SROCC_FinalDraft_Chapter4.pdf) (fait la synthèse des mesures d'adaptation côtière)
- Magnan, A.K., Garschagen, M., Gattuso, J.-P., Hay, J.E., Hilmi, N., Holland, E., Isla, F., Kofinas, G., Losada, I.J., Petzold, J., Ratter, B., Schuur, T., Tabe, T., van de Wal, R., 2018. Integrative cross-chapter box on low-lying islands and coasts, Cross-Chapter Box 9. In: Pörtner, H.- O., Roberts, D.C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Nicolai, M., Okem, A., Petzold, J., Rama, B., Weyer, N. (Eds.), IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, Geneva, Switzerland, World Meteorological Organization. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/11\\_SROCC\\_CCB9-LLIC\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/11_SROCC_CCB9-LLIC_FINAL.pdf) (contient une évaluation de l'efficacité potentielle de l'adaptation dans les atolls urbains)



INSeaPTION

