

Note de synthèse sur le rapport spécial du GIEC sur l'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique (SROCC)

Marie-Noëlle Woillez (ECO), Timothée Ourbak (CLI)

#MondeEnCommun

RESUME

- Approuvé fin septembre 2019 par les 195 Gouvernements membres du GIEC¹, le Rapport spécial du GIEC sur l'océan et la cryosphère – zone sur la planète où l'eau est présente à l'état solide, c'est-à-dire les régions gelées de notre planète – dans le contexte du changement climatique (SROCC) présente de nouvelles preuves soulignant les avantages qu'il y a à faire en sorte que le réchauffement planétaire soit aussi faible que possible, conformément à l'objectif que les gouvernements se sont fixés dans l'Accord de Paris en 2015. Le rapport met en lumière les bénéfices d'une adaptation ambitieuse et efficace au profit du développement durable et, à l'inverse, les coûts et les risques toujours plus élevés liés à l'inaction.
- L'océan et la cryosphère sont des éléments indispensables de la vie sur Terre. En tout, 670 millions de personnes vivant dans des régions de haute montagne et 680 millions vivant dans des zones côtières à faible élévation dépendent directement de ces systèmes (dont 65 millions dans de petits États insulaires en développement).
- Le réchauffement planétaire a déjà atteint 1°C au-dessus des niveaux préindustriels, en raison des émissions passées et actuelles de gaz à effet de serre.
- La solution numéro un pour lutter contre les changements climatiques est de s'attaquer de manière ambitieuse et radicale aux modèles socio-économiques qui engendrent les émissions de gaz à effet de serre responsables des changements climatiques que nous connaissons actuellement. Les écosystèmes et les moyens d'existence qui en dépendent pourraient ainsi être préservés.
- Il existe un nombre considérable de preuves indiquant que ce réchauffement a déjà de graves conséquences sur les écosystèmes et les populations humaines et cela devrait s'accroître. L'océan se réchauffe, devient plus acide et moins fécond. La dilatation thermique de l'eau, la fonte des glaciers et des calottes polaires entraînent une élévation du niveau de la mer qui pourrait dépasser 1 m à la fin du siècle dans les pires scénarios. Mécaniquement, les inondations côtières aujourd'hui considérées comme extrêmes deviendraient beaucoup plus fréquentes.
- La quasi-totalité des écosystèmes marins et côtiers (en particulier les récifs coralliens) sont soumis à des risques qui seront d'autant plus importants que le réchauffement climatique ne sera pas enrayé. Toutes les mesures permettant de diminuer les pressions anthropiques directes sur ces écosystèmes contribueront à renforcer leur résilience au changement climatique.
- Le rapport évalue également les solutions d'adaptation circonscrites telles que les mesures de protection côtière « en dur » ou d'adaptation basées sur les écosystèmes (e.g. conservation et restauration des écosystèmes coralliens et des zones humides). Les solutions fondées sur la nature ont l'avantage de présenter de nombreux co-bénéfices, sur la biodiversité, la qualité de l'eau, etc.
- Le rapport traite aussi des questions d'accommodation (telles que les systèmes d'alerte précoce) et de celles, complexes, de retrait (planifié ou forcé) de populations.

¹ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, organe des Nations Unies chargé d'évaluer les travaux scientifiques consacrés au changement climatique.

CONTEXTE

Juste après la COP21 qui s'est tenue à Paris en 2015, les Parties ont demandé au GIEC un rapport spécial sur l'océan et la cryosphère². Intitulé « *Rapport spécial du GIEC sur l'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique* », il complète une série de 3 rapports spéciaux intégrés au sixième cycle d'évaluation du GIEC (AR6). Les deux premiers rapports spéciaux étaient consacrés à un réchauffement de +1,5°C, (cf. le [site du GIEC](#) ou le [décryptage de l'AFD](#)) et [au secteur des terres](#). Ce dernier rapport et son résumé à l'intention des décideurs (SPM en anglais) ont été adoptés le 24 septembre 2019 à Monaco. Si le SPM, issu d'une négociation entre les gouvernements, ne fait qu'une quarantaine de pages, le rapport sous-jacent au SPM est imposant (plus de mille pages). Ce travail d'évaluation et de synthèse de près de 7000 publications scientifiques a mobilisé une centaine d'auteurs issus de 36 pays, dont 19 pays en développement ou économies en transition.

Il fait le point sur les conséquences déjà observables du réchauffement climatique pour les océans et la cryosphère, les projections pour les décennies qui viennent, les impacts sur les sociétés humaines et les écosystèmes et les options d'adaptation. Nous présentons ici un décryptage de ses principales conclusions. Ce document s'adresse à ceux qui chercheraient à avoir une vision d'ensemble des enjeux et propositions que font les scientifiques sur les sujets des liens entre changements climatiques et océan et cryosphère.

LES DERNIERES DECENNIES : LES GLACES FONDENT, LA MER MONTE, LES ECOSYSTEMES SONT TRANSFORMES

Au cours des dernières décennies, le réchauffement climatique global a entraîné sur l'ensemble de la planète un recul marqué de la cryosphère :

- L'extension des surfaces enneigées en Arctique au mois de juin a diminué de $13,4 \pm 5,4\%$ par décennies entre 1967 et 2018 ; la couverture neigeuse des massifs montagneux a également presque partout diminué.
- La surface de la banquise Arctique a diminué pour tous les mois de l'année, avec pour septembre un déclin de $12,8 \pm 2,3\%$ par décennies entre 1979 et 2018. Ces changements sont sans équivalent depuis au moins 1000 ans. Le recul de la banquise amplifie le réchauffement dans l'Arctique et pourrait par ailleurs avoir un impact sur le climat des moyennes latitudes, mais ce dernier point reste débattu.
- Le permafrost (i.e. les pergélisols ou sols gelés) fond, que ce soit dans les régions arctiques et boréales ou les hautes montagnes, entraînant une déstabilisation des pentes.
- Au niveau mondial, les **glaciers** ont perdu en moyenne 220 ± 30 Gt de glace par an entre 2006 et 2015, ce qui correspond à une **contribution à l'élévation du niveau marin global de +0,61 mm/an**.
- Entre 2006 et 2015, la perte de masse des **calottes polaires** s'est élevée en moyenne à environ 280 Gt/an pour le Groenland et 155 Gt/an pour l'ensemble de l'Antarctique, soit **une contribution à l'élévation du niveau marin de +0,77 mm/an et +0,43 mm/an** respectivement. Les processus à l'œuvre ne sont pas les mêmes pour ces deux régions : les pertes de masse du Groenland sont dues principalement à la fonte de la glace en surface, tandis qu'en Antarctique ce sont des processus mécaniques modifiant la dynamique d'écoulement de la glace dans la portion ouest de la calotte qui dominent. Cependant, on observe dans les deux cas une nette **accélération de la perte de masse depuis les années 2000** (Fig.1) : les

² Ensemble de tous les éléments gelés à la surface de la terre : glaciers, calottes polaires, permafrost, banquise, neige...

valeurs ci-dessus représentent un triplement des pertes pour l'Antarctique et un doublement pour le Groenland par rapport à la décennie précédente.

La fonte des glaciers et des calottes polaires est désormais la première cause de l'élévation du niveau marin (+1,8 mm/an), devant l'expansion thermique des masses d'eau (+1,4 mm/an). L'accélération de la fonte des calottes polaires est largement responsable de celle de la hausse du niveau marin, qui était en moyenne de +3,6 mm/an sur la période 2006-2015, soit 2,5 fois plus rapide que la moyenne sur le 20^{ème} siècle (Fig. 1). Cette élévation n'est pas uniforme, et l'on observe régionalement ou localement des écarts à la moyenne de $\pm 30\%$. Les écarts les plus importants se situent dans les hautes latitudes, au voisinage des calottes polaires.

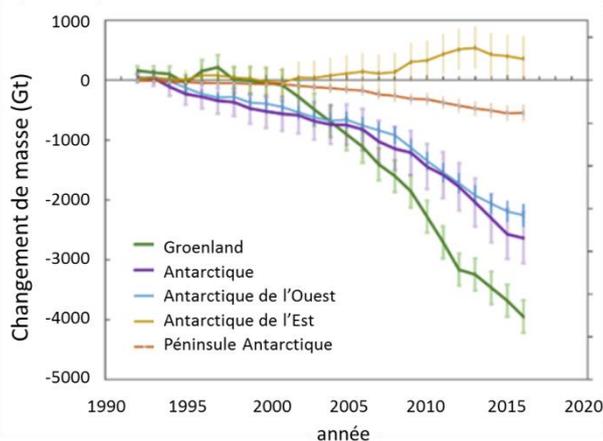


Fig.1 : Changement de masse cumulé des calottes polaires, de 1992 à 2016. Les barres verticales représentent les fourchettes d'incertitudes sur la valeur annuelle.

La montée des eaux n'est pas la seule transformation que connaît d'ors et déjà l'océan. Globalement, celui-ci devient :

- **Plus chaud** : il a absorbé plus de 90% de la chaleur en excès dans le système climatique depuis 1970 ; les vagues de chaleur³ sous-marine, aux effets délétères sur les écosystèmes marins, notamment les récifs coralliens tropicaux, sont devenues deux fois plus fréquentes depuis 1982, plus longues, plus étendues et plus intenses.
- **Plus acide** : seule une partie des émissions anthropiques de CO₂ reste dans l'atmosphère ; environ 22% sont absorbées par l'océan, ce qui entraîne une acidification des eaux.
- **Plus stratifié** : le réchauffement des eaux de surface les rend moins denses par rapport aux eaux plus profondes et diminue le mélange entre océan de surface et océan profond. Ce phénomène entraîne une **diminution de l'oxygène et des nutriments dans les eaux de surface**.

Par ailleurs, on observe une augmentation des précipitations et des élévations extrêmes de niveau marin associés aux cyclones tropicaux. Si l'on n'observe pas de tendance quant au nombre de cyclones, il semble qu'une tendance à l'augmentation de la fréquence des cyclones les plus puissants (catégories 4 et 5) commence à émerger.

³ Période de chaleur extrême où la température de surface de l'eau dépasse le 99^{ème} percentile de la période 1982-2016

DES IMPACTS GLOBALEMENT NEGATIFS SUR LES ECOSYSTEMES ET LES SOCIETES HUMAINES DEJA OBSERVABLES

Toutes ces transformations physiques ont des impacts sur les écosystèmes, tant terrestres qu'océaniques. On observe des changements dans leur composition, l'abondance des espèces et la production de biomasse, de l'équateur aux pôles.

Lorsqu'elles le peuvent, les espèces marines migrent vers de plus hautes latitudes et les espèces terrestres plus en altitude. Dans les océans, les vitesses de migration observées depuis 1950 sont de l'ordre de 5 km/an pour les organismes vivant dans les eaux de surface et de 3 km/an pour ceux vivant sur les fonds marins. Cette stratégie d'adaptation a bien sûr des limites, les espèces adaptées au froid n'ayant pas toujours de régions plus froides où s'établir et courant donc le risque d'extinction, notamment en montagne. Dans l'Arctique, on constate généralement une augmentation de la productivité végétale dans la toundra, mais également une augmentation de la fréquence des feux sans précédent au cours de 10 000 dernières années. Les récifs coralliens d'eau chaude sont quant à eux particulièrement touchés par les températures extrêmes et l'acidification des eaux. Les phénomènes de blanchissement des coraux se multiplient sous l'effet des vagues de chaleur marines et l'on observe une dégradation généralisée de l'état de santé des récifs depuis 1997.

Globalement, malgré quelques conséquences positives ici où là, le rapport souligne le caractère largement négatif des impacts des changements climatiques sur les écosystèmes océaniques et ceux dépendant de la cryosphère.

Les impacts directs sur les sociétés ou via la perte de services écosystémiques sont également globalement négatifs. Citons en particulier le secteur de la pêche, avec une diminution du potentiel maximal de captures qui se rajoute aux effets de la surexploitation des stocks de poissons, des impacts négatifs sur l'élevage, la chasse et la pêche dans les régions arctiques, mais également une augmentation des risques de transmission de maladies liées à l'eau ou la nourriture. La fonte des glaciers et la réduction de la couverture neigeuse ont par ailleurs entraîné localement un déclin des rendements agricoles dans certaines régions de montagne, notamment dans l'Himalaya et les Andes.

L'élévation du niveau marin entraîne risques d'inondations côtières, érosion et salinisation des nappes phréatiques et des sols. Cependant, il faut distinguer l'élévation *absolue*, liée au changement climatique, et l'élévation *relative*, c'est-à-dire celle liée à des changements d'altitude du sol lui-même. Ainsi, la surexploitation des nappes phréatiques peut entraîner localement un affaissement du sol de plusieurs cm par an, tandis que l'extraction du sable peut exacerber l'érosion côtière. Ces facteurs non-climatiques peuvent être localement prépondérants et il est donc parfois délicat de relier les dommages causés par la montée des eaux au seul changement climatique.

Le réchauffement et l'acidification des océans, la diminution de l'oxygène et les variations de l'approvisionnement en nutriments ont déjà des répercussions sur la répartition et l'abondance de la faune et de la flore marines dans les zones côtières, en haute mer et dans les profondeurs océaniques : l'océan devient moins fécond. Les stress que subiront les écosystèmes marins et côtiers sont à même d'impacter la répartition et l'abondance de la faune et de la flore marines. Les changements dans la répartition des populations de poissons ont réduit le potentiel de capture à l'échelle de la planète (avec une diminution en particulier dans les océans tropicaux, mais une augmentation en Arctique, par exemple). La santé nutritionnelle et la sécurité alimentaire des communautés qui dépendent fortement des produits de la mer peuvent s'en trouver menacées.

LE FUTUR : POURSUITE INEXORABLE DES TENDANCES ACTUELLES, MAIS FORTES INCERTITUDES SUR LE NIVEAU MARIN

L'évolution future des océans et de la cryosphère dépendra essentiellement de celle des émissions de gaz à effet de serre, même si certains impacts sont désormais inévitables du fait de l'inertie du système.

Rappelons ici que, comme dans les rapports précédents du GIEC, les projections climatiques futures issues des modèles numériques sont basées sur des scénarios d'émissions et d'évolution des concentrations de gaz à effet de serre (GES), des aérosols et de l'usage des terres, appelés *Representative Concentration Pathways*, ou RCP.

Le rapport considère principalement deux scénarios:

- Le RCP2.6, qui correspond à une diminution des émissions permettant de limiter le réchauffement global par rapport à la période préindustrielle à +2°C en 2100 ;
- Le RCP8.5, qui suppose une absence de politiques d'atténuation et la poursuite de fortes émissions, conduisant à une augmentation de température globale supérieure à +4°C en 2100.

Quel que soit le scénario considéré, la réduction de la cryosphère se poursuivra au cours du 21^{ème} siècle, avec toutefois des écarts importants pour la seconde moitié du siècle selon l'intensité future des émissions des GES :

- A l'échelle globale, le recul des glaciers en 2100 serait compris entre 18% (scénario RCP2.6) et 36% (scénario RCP8.5). Ces valeurs cachent d'importantes disparités régionales, puisque **les pertes dans les régions avec de petits glaciers, comme les Alpes ou les Andes tropicales, pourraient atteindre 80%** en cas de poursuite de fortes émissions. De nombreux glaciers disparaîtront totalement quel que soit le scénario d'émission. Ces évolutions auront des impacts sur les débits annuels et saisonniers des rivières alimentées par ces glaciers déclinants. Typiquement, on observe tout d'abord une phase d'augmentation des débits annuels en raison de la fonte accrue, mais cette phase est temporaire et finit par atteindre un pic suivi d'un déclin. Ce pic de débit devrait être atteint dans le courant du 21^{ème} siècle, peut-être dès le milieu du siècle dans l'Himalaya. Dans les régions avec peu de glaciers (Andes tropicales, Alpes...), il est vraisemblablement passé et le déclin des débits se poursuivra durant tout le 21^{ème} siècle.
- Le permafrost proche de la surface (3-4 m) pourrait voir sa surface réduite de 24±16% (RCP2.6) à 69±20% (RCP8.5) à horizon 2100. Rappelons que le permafrost des régions arctiques et boréales contient entre 1460 et 1600 Gt de carbone organique. Sa fonte massive pourrait donc entraîner des émissions de dizaines ou centaines de Gt de carbone, sous forme de CO₂ et méthane. Un tel phénomène renforcerait le réchauffement global et réduirait le « budget carbone⁴ » encore disponible pour les émissions anthropiques de GES dans une optique de limitation du réchauffement. Rappelons que le méthane est un gaz à effet de serre dont le potentiel de réchauffement global est 80 fois supérieur à celui du CO₂ sur 20 ans.
- Le futur de la banquise arctique est marqué par de fortes incertitudes. La probabilité d'un océan arctique libre de glace au mois de septembre est de l'ordre de 10-35% à la fin du siècle en cas de réchauffement global stabilisé à +2°C (RCP2.6). Les pires projections pour le scénario RCP8.5 montrent que la banquise de septembre pourrait disparaître dans la seconde moitié du siècle, mais le rapport souligne que le degré de confiance pour ces projections demeure faible. Le recul de la banquise renforce le réchauffement des régions arctiques et donc l'élévation de la température moyenne globale.

⁴ Quantité de gaz à effet de serre que l'humanité peut émettre sans dépasser un certain seuil de réchauffement global.

- Les projections médianes de la contribution de la fonte du Groenland et de l'Antarctique à la hausse du niveau marin sont de +11 cm et +27 cm à horizon 2100 pour les scénarios RCP2.6 et RCP8.5 respectivement, mais ces projections pourraient être fortement voire très fortement sous-estimées. L'accélération de la perte de masse en Antarctique en particulier pourrait être le signe qu'une déstabilisation irréversible de la calotte a commencé, mais à l'heure actuelle les observations et les lacunes des modèles numériques de calotte dans la représentation de certains processus ne permettent pas de conclure.

Les projections d'élévation du niveau marin pour la fin du siècle en cas de poursuite de fortes émissions de GES ont été révisées légèrement à la hausse par rapport à celles du rapport du GIEC de 2013, en raison de la ré-estimation de la contribution de la calotte Antarctique (Fig. 2). **Les nouvelles projections pour 2100 sont de +0,43 m (intervalle probable : 0,29 m-0,59 m) pour le scénario RCP2.6 et +0,84 m pour le scénario RCP8.5 (intervalle probable : 0,61 m-1,10 m)** (Fig.2). Elles intègrent la dilatation thermique de l'océan et les changements de dynamique océanique, la fonte des glaciers et (partiellement) celle des calottes polaires. Les projections à horizon 2050 sont de l'ordre de 0,2-0,3 m, soit plus que la hausse observée entre 1902 et 2015 (0,16 m).

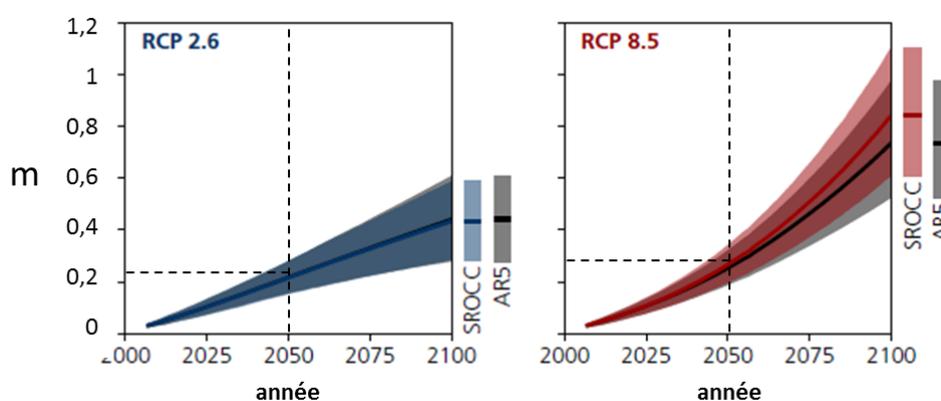


Fig.2 : Projections d'élévation du niveau marin moyen (en m) par rapport à l'actuel pour les scénarios RCP2.6 (gauche) et RCP8.5 (droite). Les zones en transparence indiquent l'intervalle probable. Les zones grisées montrent l'intervalle du rapport du GIEC de 2013 (AR5). Les lignes pointillées facilitent la lecture pour 2050.

Il faut toutefois souligner que la principale source d'incertitude sur les projections de niveau marin demeure l'évolution des calottes polaires, en particulier l'Antarctique. Une déstabilisation plus rapide que ce qui est actuellement simulé par les modèles numériques n'est pas exclue⁵. Une étude se basant sur des avis d'experts⁶ estime à 5% la probabilité que la seule contribution de l'Antarctique à la hausse du niveau marin dépasse 80 cm en 2100 pour +2°C de réchauffement global et 178 cm pour un monde à +5°C. **Autrement dit, pour un scénario à fortes émissions de GES il y aurait 5% de probabilité que la hausse de niveau marin dépasse 2 m en 2100.** Par ailleurs, il faut souligner que cette hausse ne cessera pas en 2100. Le rythme pourrait s'accélérer à plusieurs cm/an au 22^{ème} siècle et entraîner une élévation de plusieurs mètres à horizon 2300 pour le scénario RCP8.5.

Les autres changements déjà en cours dans l'océan se poursuivront également : réchauffement, stratification, appauvrissement des eaux en oxygène et nutriments, acidification. Pour le scénario RCP8.5, à horizon 2100, les eaux des hautes latitudes pourraient ainsi devenir corrosives pour certains organismes planctoniques à coquille calcaire. La fréquence des vagues de chaleur marine pourrait

⁵ Rappelons qu'il y a environ 100 000 ans, la température moyenne globale était de 0,5-1°C supérieure à celle du préindustriel, mais le niveau marin 6-9 m supérieur à l'actuel. Il n'est pas possible d'établir une comparaison directe entre cette période passée et le climat futur, néanmoins ces éléments paléoclimatiques illustrent le fait que la configuration actuelle des calottes polaires n'est vraisemblablement déjà plus à l'équilibre avec le climat actuel.

⁶ Bamber, et al. (2019). Ice sheet contributions to future sea-level rise from structured expert judgment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(23), 11195-11200.

être multipliée par 20 ou 50 (scénarios RCP2.6 et RCP8.5 respectivement). Par ailleurs, la fréquence des événements El Niño/La Niña extrêmes ainsi que des cyclones les plus puissants devrait également s'accroître.

IMPACTS FUTURS SUR LES ECOSYSTEMES ET LES SOCIETES

Ces bouleversements physiques de l'océan et de la cryosphère renforceront les impacts sur les écosystèmes déjà observés ou émergents : déclin des espèces adaptées au froid en montagne et dans l'Arctique, augmentation des feux dans la toundra et les régions boréales, déclin quasi général de la productivité marine (à l'exception des hautes latitudes) et donc des ressources halieutiques. **Le taux et l'amplitude de diminution des prises potentielles dans les pêcheries seraient maximaux dans les tropiques, où il pourrait atteindre 30-40% à horizon 2100 pour le scénario RCP8.5.**

A court terme, les écosystèmes océaniques les plus menacés sont les récifs coralliens d'eau chaude. Ainsi que cela avait déjà été souligné dans un rapport précédent, ces récifs sont déjà durement touchés par les vagues de chaleur marine et risquent de ne pas pouvoir s'adapter à un réchauffement global supérieur à 1,5°C. Si le réchauffement dépasse 4°C, la plupart des écosystèmes marins seront sévèrement touchés (Fig.3).

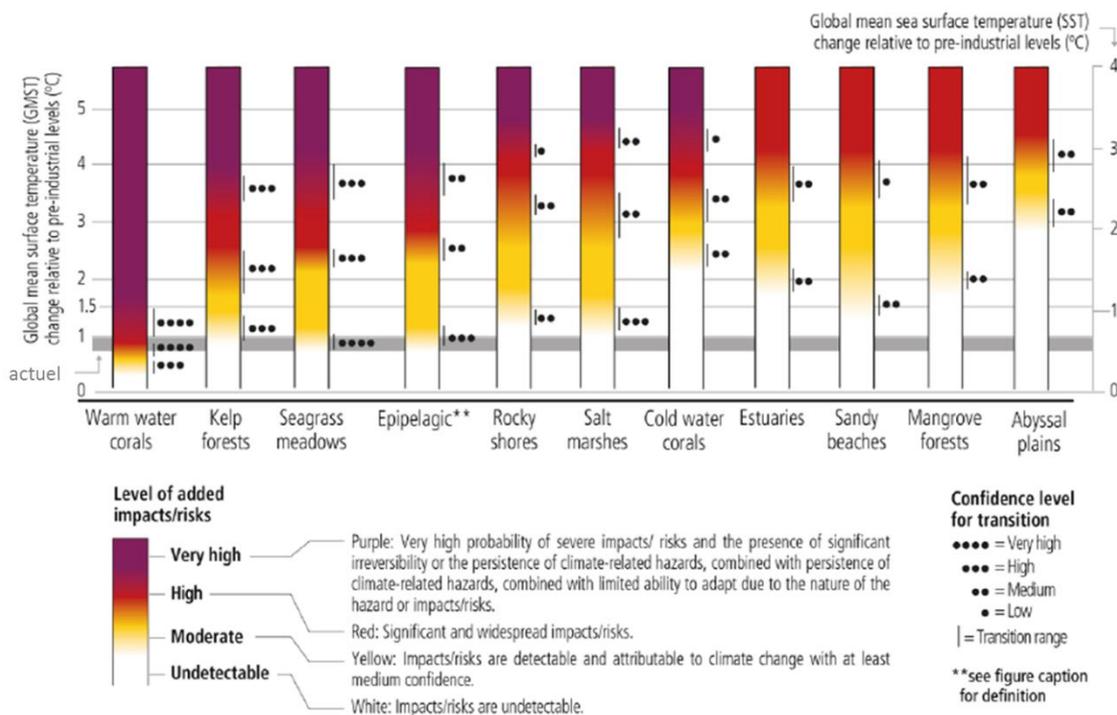


Fig.3 : Evaluation des risques encourus par divers écosystèmes océaniques, en fonction du degré de réchauffement global.

Rappelons qu'actuellement environ 680 millions de personnes vivent dans des zones côtières de faible élévation⁷, dont 65 millions dans les petits Etats insulaires en développement, et 670 millions dans les régions de hautes montagnes.

La majorité des personnes qui sont ou seront directement touchées par les transformations de l'océan et de la cryosphère se situent dans des pays en développement ou émergents.

⁷ Altitude inférieure à 10 m.

Pour les pays d'intervention de l'AFD, la montée du niveau marin en particulier pourrait devenir un problème majeur, notamment si les projections « probables » s'avèrent sous-estimées. En effet, la majorité des grands deltas très peuplés, des mégapoles côtières et des petits Etats insulaires en développement se situent dans les régions intertropicales.

Mais le problème ne se limite pas au seul risque de submersion progressive de certaines zones côtières : une augmentation du niveau de la mer entraîne salinisation des sols et des nappes, une érosion accrue, et, mécaniquement, **les épisodes de surcotes extrêmes liées aux tempêtes aujourd'hui rares deviendraient la norme (Fig.4)**. Ceux qui, sur la période historique, survenaient une fois par siècle pourraient devenir annuels dans le courant du 21^{ème} siècle pour de très nombreuses localités, voir dès avant 2050 pour de nombreuses régions côtières et îles de la zone intertropicale. Sans adaptation, les risques d'inondation seront donc considérablement accrus. Dans les zones côtières qui bénéficient actuellement de la protection des récifs coralliens, les risques d'érosion et d'inondations risquent par ailleurs d'être exacerbés par le déclin massif de ces récifs. Certains états insulaires de faible élévation vont probablement devenir inhabitables dans le courant du siècle, cependant les seuils restent difficiles à définir.

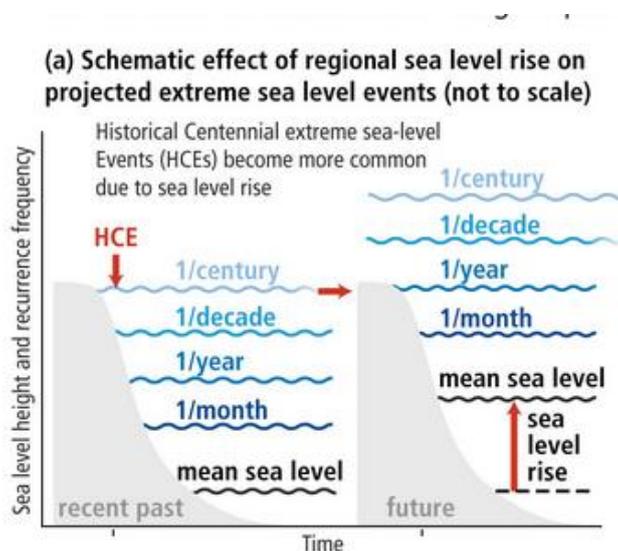


Fig.4: Schématisation de l'augmentation de la fréquence des phénomènes extrêmes liés à l'augmentation du niveau de la mer. Par exemple, la flèche rouge indique qu'un évènement qui se tenait environ une fois par siècle pourrait se reproduire 1 fois par an dans le futur.

Outre les risques d'inondations, les communautés côtières qui dépendent fortement de la pêche risquent d'être touchées par le déclin des ressources halieutiques, notamment dans les tropiques (e.g. Afrique de l'Ouest, petits Etats insulaires en développement).

Les populations des hautes montagnes seront quant à elles notamment confrontées aux changements d'hydrologie des bassins versants alimentés par des glaciers, avec pour de nombreux endroits un déclin des ressources en eau issues de la fonte durant la saison chaude. Les Andes et les hautes montagnes d'Asie pourraient être particulièrement concernées.

QUELLES REPONSES FACE AUX CHANGEMENTS DE L'OCEAN ET DE LA CRYOPHERE ?

Les impacts des changements de l'océan et de la cryosphère se ressentent déjà dans de nombreux pays d'intervention de l'AFD, par exemple inondations côtières et risques d'éboulement en montagne, ou encore dégradation des écosystèmes côtiers et coralliens.

L'exposition aux risques est particulièrement marquée dans les régions tropicales, où les faibles capacités d'adaptation renforcent la vulnérabilité des populations.

Ces impacts déjà observables et surtout l'ampleur de ceux encore à venir en cas de poursuite de fortes émissions de GES des changements climatiques sur les deux compartiments augmentent les défis liés aux efforts de gouvernance et à la mise en œuvre des réponses d'adaptation, à toutes les échelles spatiales (du local à l'international), et poussent parfois les capacités de réponse à leurs limites (cf. concept de maladaptation et de pertes et préjudices).

Une des principales difficultés provient de la dichotomie entre la temporalité du changement climatique et de ses impacts, qui s'inscrivent sur le temps long, et celle des arrangements de gouvernance (ex. cycles de prise de décision publique ou corporate, les instruments financiers et décisions d'investissements) qui s'opèrent généralement sur des périodes plus courtes. Il est pourtant nécessaire d'adopter une perspective de long terme même pour des décisions à court terme pour permettre l'adaptation, notamment à l'augmentation des fréquences et intensité des événements extrêmes.

Face aux différents bouleversements environnementaux à venir, il faut à nouveau souligner la nécessité de réduire autant que possible les émissions de gaz à effet de serre afin de retarder et limiter l'ampleur des impacts et donc de faciliter l'adaptation des sociétés. Les options d'adaptation sont multiples, et leur pertinence doit être examinée en fonction du contexte local.

Face à l'augmentation du niveau de la mer, on peut par exemple envisager des mesures de protection « en dur », des solutions basées sur les écosystèmes (EBA) quand l'espace le permet. Chaque option a ses avantages et inconvénients (Fig.5). Les digues présentent notamment l'intérêt de définir précisément le niveau de protection, mais en cas de rupture les dommages peuvent être considérables. Par ailleurs, leur coût risque d'être prohibitif dans de nombreuses régions d'intervention de l'AFD⁸.

L'EBA comporte de nombreux co-bénéfices (séquestration de carbone, amélioration de la qualité de l'eau, de la biodiversité, etc.), mais les niveaux de protection pourraient être insuffisants pour des scénarios de réchauffement global supérieur à 2°C. La mise en place de systèmes d'alerte précoce et bâtiments résistants aux inondations (flood proofing), sont également des mesures efficaces et bénéfiques dès à présent, notamment face aux événements extrêmes.

De même, la **réduction de l'urbanisation côtière et de la subsidence due aux activités humaines** sont des réponses effectives. Notons que la question de la **relocation**, un enjeu sociétal complexe, est incluse dans les options de réponse quel que soit le scénario (du plus ambitieux au moins ambitieux) et quelles que soient les géographies étudiées (cités côtières riches en ressources, deltas agricoles tropicaux, îles urbaines et atolls). Dans tous les cas, plus l'augmentation du niveau de la mer sera importante, plus les problématiques de protection côtière seront complexes, davantage pour des questions de barrières économiques, financières ou spatiales, que de limitation techniques. Il faut souligner, que, compte-tenu des incertitudes sur l'amplitude future de la montée du niveau marin, les auteurs préconisent d'adopter si possible des **réponses flexibles**, pouvant être ajustées si nécessaires. Par ailleurs, **les acteurs particulièrement averses au risque devraient envisager des scénarios de hausse supérieure à la gamme « probable » donnée par le rapport (i.e. supérieurs à 1 m à la fin du siècle).**

⁸ Une digue est généralement un investissement rentable pour des zones urbaines densément peuplées, mais pour des zones rurales plus pauvres l'investissement ne sera peut-être pas possible (en ordre de grandeur : les coûts annuels pour certains petits états insulaires pourraient être équivalents à plusieurs points de % de PIB).

(c) Responses to rising mean and extreme sea-levels

The table illustrates responses and their characteristics. It is not exhaustive. Whether a response is applicable depends on geography and context.

Confidence levels (assessed for effectiveness): ●●● = Very High ●● = High ● = Medium ● = Low

| Responses | Potential effectiveness <small>in terms of reducing sea-level rise risks (technical/biophysical limits)</small> | Advantages <small>(beyond risk reduction)</small> | Co-benefits | Drawbacks | Economic efficiency | Governance challenges |
|---|--|--|---|---|---|--|
| Hard protection | Up to multiple metres of SLR [4.4.2.2.4] ●●● | Predictable levels of safety [4.4.2.2.4] | Multifunctional dikes such as for recreation, or other land use [4.4.2.2.5] | Destruction of habitat through coastal squeeze, flooding & erosion downdrift, lock-in, disastrous consequence in case of defence failure [4.3.2.4, 4.4.2.2.5] | High if the value of assets behind protection is high, as found in many urban and densely populated coastal areas [4.4.2.2.7] | Often unaffordable for poorer areas. Conflicts between objectives (e.g. conservation, safety and tourism), conflicts about the distribution of public budgets, lack of finance [4.3.3.2, 4.4.2.2.6] |
| Sediment-based protection | Effective but depends on sediment availability [4.4.2.2.4] ●●● | High flexibility [4.4.2.2.4] | Preservation of beaches for recreation/ tourism [4.4.2.2.5] | Destruction of habitat, where sediment is sourced [4.4.2.2.5] | High if tourism revenues are high [4.4.2.2.7] | Conflicts about the distribution of public budgets [4.4.2.2.6] |
| Ecosystem based adaptation | Coral conservation | Opportunity for community involvement, [4.4.2.3.1] | Habitat gain, biodiversity, carbon sequestration, income from tourism, enhanced fishery productivity, improved water quality. Provision of food, medicine, fuel, wood and cultural benefits [4.4.2.3.5] | Long-term effectiveness depends on ocean warming, acidification and emission scenarios [4.3.3.5.2., 4.4.2.3.2] | Limited evidence on benefit-cost ratios; Depends on population density and the availability of land [4.4.2.3.7] | Permits for implementation are difficult to obtain. Lack of finance. Lack of enforcement of conservation policies. EbA options dismissed due to short-term economic interest, availability of land [4.4.2.3.6] |
| | Coral restoration | | | | | |
| | Wetland conservation <small>(Marshes, Mangroves)</small> | | | | | |
| | Wetland restoration <small>(Marshes, Mangroves)</small> | | | | | |
| Coastal advance | Up to multiple metres of SLR [4.4.2.2.4] ●●● | Predictable levels of safety [4.4.2.2.4] | Generates land and land sale revenues that can be used to finance adaptation [4.4.2.4.5] | Groundwater salinisation, enhanced erosion and loss of coastal ecosystems and habitat [4.4.2.4.5] | Very high if land prices are high as found in many urban coasts [4.4.2.4.7] | Often unaffordable for poorer areas. Social conflicts with regards to access and distribution of new land [4.4.2.4.6] |
| Coastal accommodation <small>(Flood-proofing buildings, early warning systems for flood events, etc.)</small> | Very effective for small SLR [4.4.2.5.4] ●●● | Mature technology; sediments deposited during floods can raise elevation [4.4.2.5.5] | Maintains landscape connectivity [4.4.2.5.5] | Does not prevent flooding/impacts [4.4.2.5.5] | Very high for early warning systems and building-scale measures [4.4.2.5.7] | Early warning systems require effective institutional arrangements [4.4.2.6.6] |
| Retreat | Planned relocation | Sea-level risks at origin can be eliminated [4.4.2.6.4] | Access to improved services (health, education, housing), job opportunities and economic growth [4.4.2.6.5] | Loss of social cohesion, cultural identity and well-being. Depressed services (health, education, housing), job opportunities and economic growth [4.4.2.6.5] | Limited evidence [4.4.2.6.7] | Reconciling the divergent interests arising from relocating people from point of origin and destination [4.4.2.6.6] |
| | Forced displacement | Addresses only immediate risk at place of origin | Not applicable | Not applicable | Not applicable | Raises complex humanitarian questions on livelihoods, human rights and equity [4.4.2.6.6] |

d) Choosing and enabling sea level rise responses

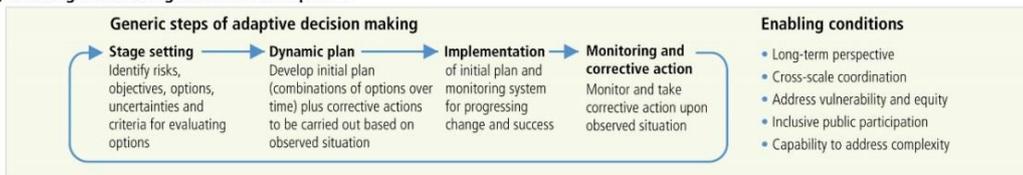


Fig. 5 : Caractéristiques des options de réponses (adaptatives) face à l'élévation du niveau marin, de la protection en dur de type digues en passant par la conservation et la restauration des écosystèmes (Adaptation basée sur les écosystèmes) à « l'accommodation côtière » et aux phénomènes de retrait et de déplacement forcés.

En ce qui concerne les écosystèmes, toutes les mesures permettant de diminuer les pressions anthropiques directes contribueront à renforcer leur résilience au changement climatique :

- **Développer les réseaux d'aires protégées (AP)**, qui permettent de maintenir des services écosystémiques, ainsi que la capture et séquestration du carbone. Les AP faciliteraient également notamment les migrations des espèces en latitude et en altitude, où elles pourraient retrouver des conditions plus favorables.
- **Restaurer les habitats terrestres et marins**, en se basant sur les connaissances scientifiques mais également en impliquant les communautés locales et les savoirs locaux et traditionnels.
- **Réduire la pollution et autres sources de stress**. Soulignons que cela implique entre autres d'agir sur les sources de pollution, lesquelles se situent bien souvent en amont, à terre (eaux usées, déchets industriels, déchets urbains, etc.).
- **Reconstituer les pêcheries surexploitées ou appauvries**.
- Favoriser les mesures d'adaptation basées sur les écosystèmes.

Ces mesures seront d'autant plus efficaces que le niveau de réchauffement global sera faible.

La restauration des écosystèmes côtiers liés au « carbone bleu côtier » (mangroves, marais salants, herbiers) peut également permettre la séquestration de carbone, avec toutefois un potentiel d'atténuation assez limité à l'échelle globale (0.5% des émissions annuelles mondiales). Si la quantification des flux de GES et la quantification du captage de CO₂ est encore à améliorer, les co-bénéfices sont nombreux, protection côtière, amélioration de la qualité de l'eau, de la biodiversité et des pêcheries.

Enfin, dans une optique de diminution des émissions de GES, le rapport souligne le potentiel des énergies renouvelables liées aux océans: éolien en mer, énergies marémotrices et houlomotrices, algocarburants, énergies liées au gradient de salinité. Le déploiement de ces technologies pourrait générer des opportunités économiques importantes, même si la résilience de ces formes de production d'énergie pourrait être sous pression face aux impacts des changements climatiques. Une évaluation plus complète de cette problématique est attendue dans le prochain rapport global du GIEC qui paraîtra en 2021/2022.

CONCLUSION

Au final, le rapport revient sur **le cœur du problème : la résilience climatique et le développement durable ne sont possibles qu'au prix de réductions des émissions urgentes et ambitieuses**. Réduire les émissions demain réduit les risques et ainsi diminuera les besoins d'adaptation.

D'une façon générale, les réponses à apporter sont complexes (et souvent spécifiques selon les zones/cas). Cela est dû aux nombreuses ramifications avec d'autres enjeux, et au fait que les décisions doivent se faire dans l'incertitude (sur le niveau de conséquences), en fonction du degré de tolérance aux risques des parties prenantes, et les enjeux de gouvernance, de ressources limitées, de développement économique, etc.

L'intensification de la coopération et de la coordination est nécessaire. Si un scénario hautement émissif en GES se concrétise pour le 21^{ème} siècle, de nombreuses communautés rencontreront vraisemblablement des limites à leurs capacités d'adaptation aux impacts qu'elles auront à subir. **Des changements économiques et des transformations institutionnelles sont nécessaires afin de permettre des trajectoires de développement climatiques résilientes** (au sens du GIEC, cf. [glossaire](#)).

Les questions d'éducation et de renforcement des capacités sont également clefs, et les investissements à ce titre peuvent permettre les transformations nécessaires afin que les arrangements et décisions idoines puissent être pris.

La mise en place de systèmes d'observations et d'alerte, la facilitation d'échanges de données, modèles spécifiques aux contextes, entre autres, permettent de pouvoir saisir les enjeux et conflits entre les choix qui pourraient s'effectuer à court et à long terme et permettent souvent de réduire les effets négatifs sur de nombreux secteurs (santé, pêcheries, agriculture, tourisme, inondations, etc.).