

L'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique

Rapport spécial du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

Résumé à l'intention des décideurs



L'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique

Rapport spécial du Groupe d'experts intergouvernemental
sur l'évolution du climat

Résumé à l'intention des décideurs

Publié sous la direction de

Hans-Otto Pörtner

Coprésident du Groupe de travail II du GIEC

Debra C. Roberts

Coprésidente du Groupe de travail II du GIEC

Valérie Masson-Delmotte

Coprésidente du Groupe de travail I du GIEC

Panmao Zhai

Coprésident du Groupe de travail I du GIEC

Melinda Tignor

Cheffe de l'Unité d'appui
technique du Groupe de
travail II du GIEC

Elvira Poloczanska

Conseillère scientifique auprès
des coprésidents et de l'Unité
d'appui technique du Groupe de travail II

Katja Mintenbeck

Directrice scientifique

Andrés Alegria

Graphiste

Maike Nicolai

Chargée de communication

Andrew Okem

Administrateur scientifique

Jan Petzold

Administrateur scientifique

Bardhyl Rama

Directeur des opérations

Nora M. Weyer

Administratrice scientifique

Unité d'appui technique du Groupe de travail II

Première et quatrième de couverture : illustrations et mise en page de Stefanie Langsdorf

© 2019 Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

Imprimé en juin 2020 par le GIEC, Suisse. Il est possible de se procurer des exemplaires électroniques du présent Résumé à l'intention des décideurs sur le site Web du GIEC (www.ipcc.ch).

ISBN 978-92-9169-255-2

Résumé à l'intention des décideurs

Résumé à l'intention des décideurs

Rédaction :

Nerilie Abram (Australie), Carolina Adler (Suisse/Australie), Nathaniel L. Bindoff (Australie), Lijing Cheng (Chine), So-Min Cheong (République de Corée), William W. L. Cheung (Canada), Matthew Collins (Royaume-Uni), Chris Derksen (Canada), Alexey Ekaykin (Fédération de Russie), Thomas Frölicher (Suisse), Matthias Garschagen (Allemagne), Jean-Pierre Gattuso (France), Bruce Glavovic (Nouvelle-Zélande), Stephan Gruber (Canada/Allemagne), Valeria Guinder (Argentine), Robert Hallberg (États-Unis d'Amérique), Sherilee Harper (Canada), Nathalie Hilmi (Monaco/France), Jochen Hinkel (Allemagne), Yukiko Hirabayashi (Japon), Regine Hock (États-Unis d'Amérique), Anne Hollowed (États-Unis d'Amérique), Helene Jacot Des Combes (Fidji), James Kairo (Kenya), Alexandre K. Magnan (France), Valérie Masson-Delmotte (France), J.B. Robin Matthews (Royaume-Uni), Kathleen McInnes (Australie), Michael Meredith (Royaume-Uni), Katja Mintenbeck (Allemagne), Samuel Morin (France), Andrew Okem (Afrique du Sud/Nigéria), Michael Oppenheimer (États-Unis d'Amérique), Ben Orlove (États-Unis d'Amérique), Jan Petzold (Allemagne), Anna Pirani (Italie), Elvira Poloczanska (Royaume-Uni/Australie), Hans-Otto Pörtner (Allemagne), Anjal Prakash (Népal/Inde), Golam Rasul (Népal), Evelia Rivera-Arriaga (Mexique), Debra C. Roberts (Afrique du Sud), Edward A.G. Schuur (États-Unis d'Amérique), Zita Sebesvari (Hongrie/Allemagne), Martin Sommerkorn (Norvège/Allemagne), Michael Sutherland (Trinité-et-Tobago), Alessandro Tagliabue (Royaume-Uni), Roderik Van De Wal (Pays-Bas), Phil Williamson (Royaume-Uni), Rong Yu (Chine), Panmao Zhai (Chine)

Collaboration à la rédaction :

Andrés Alegria (Honduras), Robert M. DeConto (États-Unis d'Amérique), Andreas Fischlin (Suisse), Shengping He (Norvège/Chine), Miriam Jackson (Norvège), Martin Künsting (Allemagne), Erwin Lambert (Pays-Bas), Pierre-Marie Lefevre (Norvège/France), Alexander Milner (Royaume-Uni), Jess Melbourne-Thomas (Australie), Benoit Meyssignac (France), Maïke Nicolai (Allemagne), Hamish Pritchard (Royaume-Uni), Heidi Steltzer (États-Unis d'Amérique), Nora M. Weyer (Allemagne)

Résumé à référencer comme suit :

GIEC, 2019 : Résumé à l'intention des décideurs, *Rapport spécial du GIEC sur l'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique* [sous la direction de H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama et N. M. Weyer], sous presse.

Introduction

Le Rapport spécial sur l'océan et la cryosphère¹ dans le contexte du changement climatique fait suite à la décision prise en 2016 par le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) de publier trois rapports spéciaux dans le cadre de son sixième cycle d'évaluation². En évaluant les publications scientifiques récentes³, ce rapport⁴ répond aux propositions thématiques issues des gouvernements et des observateurs. Ce rapport fait suite à deux autres rapports spéciaux du GIEC, l'un sur le réchauffement planétaire de 1,5 °C, l'autre sur le changement climatique et les terres émergées⁵, et au rapport sur l'évaluation mondiale de la biodiversité et des services écosystémiques produit par la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES).

Ce Résumé à l'intention des décideurs (RID) synthétise les principales conclusions du rapport, et est organisé en trois parties : les observations des changements et impacts (RID.A), les projections de changements et risques futurs (RID.B) et la mise en œuvre des réponses aux changements dans l'océan et la cryosphère (RID.C). Pour en faciliter la lecture, des pictogrammes indiquent où trouver chaque type de contenu. Le degré de confiance attaché aux différentes conclusions est précisé à l'aide du langage calibré du GIEC⁶ et les éléments scientifiques sous-jacents à chaque conclusion se trouvent dans les sections du rapport indiquées en référence.

Signification des pictogrammes



¹ La cryosphère, telle que définie dans le présent rapport (Voir Annexe I : Glossaire), représente les composantes du système Terre à l'état gelé, situées sur et sous la surface des terres émergées et à la surface de l'océan : manteau neigeux, glaciers, calottes glaciaires, plates-formes de glace, icebergs, glace de mer (banquise), glace de lac et de rivière, pergélisol, sol gelé saisonnier, etc.

² Décision prise lors de la 43^e session plénière du GIEC tenue à Nairobi, Kenya, du 11 au 13 avril 2016.

³ Dates limites de publication : 15 octobre 2018 pour la soumission de manuscrits, 15 mai 2019 pour l'acceptation de publication.

⁴ Ce rapport est produit sous la direction scientifique du Groupe de travail I et du Groupe de travail II. Conformément à la structure approuvée de ce rapport, l'évaluation ne porte pas sur les options d'atténuation (Groupe de travail III), à l'exception du potentiel d'atténuation associé au carbone bleu (écosystèmes côtiers).

⁵ Les titres complets de ces rapports sont : *Réchauffement planétaire de 1,5 °C, Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels et les trajectoires associées d'émissions mondiales de gaz à effet de serre, dans le contexte du renforcement de la parade mondiale au changement climatique, du développement durable et de la lutte contre la pauvreté ; Changement climatique et terres émergées, Rapport spécial du GIEC sur le changement climatique, la désertification, la dégradation des sols, la gestion durable des terres, la sécurité alimentaire et les flux de gaz à effet de serre dans les écosystèmes terrestres.*

⁶ Chaque conclusion se fonde sur une évaluation des éléments probants et de la concordance s'y rapportant. Cinq qualificatifs sont utilisés pour exprimer le degré de confiance : *très faible, faible, moyen, élevé et très élevé* ; le degré de confiance est indiqué en italique : par exemple degré de confiance moyen. Les qualificatifs ci-après ont été utilisés pour indiquer la probabilité évaluée d'un résultat : *quasiment certain (probabilité de 99 à 100 %), très probable (90 à 100 %), probable (66 à 100 %), à peu près aussi probable qu'improbable (33 à 66 %), improbable (0 à 33 %), très improbable (0 à 10 %), exceptionnellement improbable (0 à 1 %)*. La probabilité évaluée est indiquée en italique : par exemple *très probable*. Cela est conforme au cinquième Rapport d'évaluation (AR5) et aux autres rapports spéciaux du Sixième Cycle d'Évaluation (AR6). D'autres qualificatifs peuvent également être utilisés le cas échéant : *extrêmement probable (95 à 100 %), plus probable qu'improbable (> 50 à 100 %), plus improbable que probable (0 à < 50 %) et extrêmement improbable (0 à 5 %)*. Enfin, ce Rapport utilise également les expressions « fourchette probable » et « fourchette très probable » qui signifient que la probabilité évaluée d'un résultat se situe dans la fourchette de 17 à 83 % ou de 5 à 95 % (1.9.2, figure 1.4)

Préambule | L'importance de l'océan et de la cryosphère pour les populations humaines

Tous les êtres humains dépendent, directement ou indirectement, de l'océan et de la cryosphère. L'océan couvre 71 % de la surface de la Terre et contient environ 97 % de l'eau de la planète. La cryosphère désigne les parties gelées du système Terre¹. Les glaciers et les calottes glaciaires recouvrent 10 % environ des terres émergées. L'océan et la cryosphère abritent des habitats uniques et sont interconnectés au reste du système climatique par des échanges d'eau, d'énergie et de carbone à l'échelle planétaire. Les projections des réactions de l'océan et de la cryosphère aux émissions passées et présentes de gaz à effet de serre d'origine anthropique et au réchauffement planétaire en cours incluent des rétroactions climatiques, des changements inévitables à l'échelle de dizaines à milliers d'années, des seuils de changement abrupt et un caractère irréversible. {Encadré 1.1, 1.2}

Les communautés qui entretiennent des rapports étroits avec les milieux côtiers, les petites îles (dont les petits États insulaires en développement), les régions polaires et les zones de haute montagne⁷ sont particulièrement exposées aux changements de l'océan et de la cryosphère tels que l'élévation du niveau de la mer, les niveaux marins extrêmes et le recul de la cryosphère. D'autres communautés, établies plus loin du littoral, sont, elles aussi, exposées aux conséquences des changements de l'océan, par exemple lors des phénomènes météorologiques extrêmes. À l'heure actuelle, 4 millions de personnes environ résident en permanence dans l'Arctique, dont 10 % font partie de peuples autochtones. Les littoraux de basse altitude⁸ abritent quelque 680 millions de personnes (près de 10 % de la population mondiale en 2010), et devraient en accueillir plus d'un milliard en 2050. Les petits États insulaires en développement comptent à eux seuls 65 millions d'habitants. Environ 670 millions de personnes (près de 10 % de la population mondiale en 2010), incluant des peuples autochtones, vivent dans les régions de haute montagne de tous les continents, hors Antarctique. Ces populations des régions de haute montagne devraient atteindre 740 à 840 millions de personnes en 2050 (soit environ 8,4 à 8,7 % de la population mondiale projetée). {1.1, 2.1, 3.1, encadré thématique 9, figure 2.1}

Outre leurs fonctions dans le système climatique, dont l'absorption et la redistribution de la chaleur et du dioxyde de carbone (CO₂) d'origine naturelle et anthropique, et leur fonction de support aux écosystèmes, l'océan et/ou la cryosphère procurent aux populations humaines des services tels que l'approvisionnement en nourriture et en eau, des sources d'énergie renouvelable, des effets bénéfiques pour la santé et le bien-être, contribuent aux valeurs culturelles, au tourisme, au commerce et aux transports. L'état de l'océan et de la cryosphère interagit avec chaque aspect de la soutenabilité sous-tendu par les objectifs de développement durable des Nations Unies. {1.1, 1.2, 1.5}


⁷ Sont incluses dans les zones de haute montagne toutes les régions montagneuses dans lesquelles les glaciers, la neige ou le pergélisol constituent des caractéristiques importantes du paysage. Pour une liste des régions de haute montagne abordées dans ce rapport, voir le chapitre 2. La population présente dans ces zones est calculée sur les territoires situés à moins de 100 kilomètres d'un glacier ou d'une zone de pergélisol. {2.1} Les projections à l'horizon 2050 indiquent l'éventail d'évolution de la population dans ces régions pour les cinq trajectoires communes d'évolution socio-économique. {Encadré thématique 1 du chapitre 1}


⁸ La population des littoraux de basse altitude comprend les personnes qui habitent les zones côtières qui s'élèvent à moins de dix mètres au-dessus du niveau de la mer, incluant les petits États insulaires, {Encadré thématique 9}. Les projections à l'horizon 2050 indiquent l'éventail d'évolution de la population de ces régions estimée pour les cinq trajectoires socio-économiques communes. {Encadré thématique 1 du chapitre 1}.


RID.A Changements et Impacts Observés


Changements observés dans les paramètres physiques

A.1 Le réchauffement planétaire a provoqué ces dernières décennies un recul généralisé de la cryosphère : perte de masse des calottes glaciaires et des glaciers (*degré de confiance très élevé*), réduction du manteau neigeux (*degré de confiance élevé*), réduction de l'étendue et de l'épaisseur de la banquise arctique (*degré de confiance très élevé*), et élévation de la température du pergélisol (*degré de confiance très élevé*). {2.2, 3.2, 3.3, 3.4, figures RID.1, RID.2}

A.1.1  La masse des calottes glaciaires et des glaciers a diminué dans le monde entier (*degré de confiance très élevé*). Entre 2006 et 2015, la calotte glaciaire du Groenland⁹ a perdu 278 ± 11 Gt de masse par an en moyenne (ce qui correspond à une élévation du niveau de la mer de $0,77 \pm 0,03$ mm.an⁻¹ à l'échelle du globe)¹⁰, essentiellement sous l'effet de la fonte en surface (*degré de confiance élevé*). Au cours de la période 2006–2015, la perte moyenne de masse de la calotte glaciaire de l'Antarctique s'est établie à 155 ± 19 Gt.an⁻¹ ($0,43 \pm 0,05$ mm.an⁻¹), causée surtout par l'amincissement et le recul rapides des grands glaciers émissaires qui drainent la calotte de l'Antarctique de l'Ouest (*degré de confiance très élevé*). Entre 2006 et 2015, les glaciers situés ailleurs qu'au Groenland et en Antarctique ont perdu de la masse à un rythme moyen de 220 ± 30 Gt.an⁻¹ (ce qui correspond à une élévation du niveau de la mer de $0,61 \pm 0,08$ mm.an⁻¹). {3.3.1, 4.2.3, Annexe 2.A, figure RID.1}

A.1.2  Dans l'Arctique, l'étendue du manteau neigeux terrestre du mois de juin a diminué de $13,4 \pm 5,4$ % par décennie entre 1967 et 2018, soit une perte totale d'environ 2,5 millions de kilomètres carrés, en raison principalement de la hausse de la température de surface de l'air (*degré de confiance élevé*). Ces dernières décennies, l'épaisseur, l'étendue et la durée de présence du manteau neigeux ont diminué dans presque toutes les zones de haute montagne, notamment à basse altitude (*degré de confiance élevé*). {2.2.2, 3.4.1, figure RID.1}

A.1.3  Les températures du pergélisol ont augmenté et atteint des niveaux record depuis les années 1980 (*degré de confiance très élevé*), dont notamment la hausse récente de $0,29$ °C \pm $0,12$ °C entre 2007 et 2016 (moyenne mondiale sur les régions polaires et les zones de haute montagne). Dans l'Arctique et les régions boréales, le pergélisol contient 1 460 à 1 600 Gt de carbone organique, soit près du double du carbone de l'atmosphère (*degré de confiance moyen*). Il y a des éléments probants moyens et un *degré de cohérence faible* autour du fait que le dégel du pergélisol conduit à un flux net supplémentaire de méthane et de CO₂ depuis les régions arctiques. La fonte du pergélisol et le recul des glaciers ont diminué la stabilité des versants de haute montagne (*degré de confiance élevé*). {2.2.4, 2.3.2, 3.4.1, 3.4.3, figure RID.1}

A.1.4  Il est *très probable* qu'entre 1979 et 2018, l'étendue de la glace de mer de l'Arctique a diminué, et ce pour tous les mois de l'année. Il est *très probable* que les réductions au mois de septembre ont atteint $12,8 \pm 2,3$ % par décennie. Il est *probable* que de telles modifications de l'étendue de la glace de mer en septembre sont sans précédent depuis mille ans au moins. La glace de mer de l'Arctique a perdu de l'épaisseur, avec une transition concomitante vers une glace plus jeune : en superficie, la proportion de glace pluriannuelle d'au moins cinq ans a chuté d'à peu près 90 % au cours de la période 1979–2018 (*degré de confiance très élevé*). Les rétroactions induites par la diminution de l'extension estivale de la glace de mer et du manteau neigeux terrestre de printemps ont contribué à amplifier le réchauffement dans l'Arctique (*degré de confiance élevé*) où la température de l'air en surface a *probablement* augmenté ces deux dernières décennies de plus du double par rapport à la moyenne planétaire. Les changements de glace de mer de l'Arctique peuvent affecter les conditions météorologiques aux latitudes moyennes (*degré de confiance moyen*), mais il y a un *degré de confiance faible* quant à la détection d'une telle incidence sur des types de temps spécifiques. La glace de mer de l'Antarctique ne présente aucune tendance statistiquement significative (1979–2018) en raison de signaux régionaux contrastés et de la forte variabilité interannuelle (*degré de confiance élevé*). {3.2.1, 6.3.1 ; encadré 3.1 ; encadré 3.2 ; A1.2, figures RID.1, RID.2}

⁹ Glaciers périphériques inclus.

¹⁰ Un volume de 360 Gt de glace correspond à une élévation du niveau moyen global de la mer de 1 mm.

Changements passés et futurs de l'océan et la cryosphère

Indicateurs clés, changements historiques (observés et simulés) et projections selon les scénarios RCP2.6 et RCP8.5

Changements historiques (observés) Changements historiques (simulés) Projections (RCP2.6) Projections (RCP8.5)

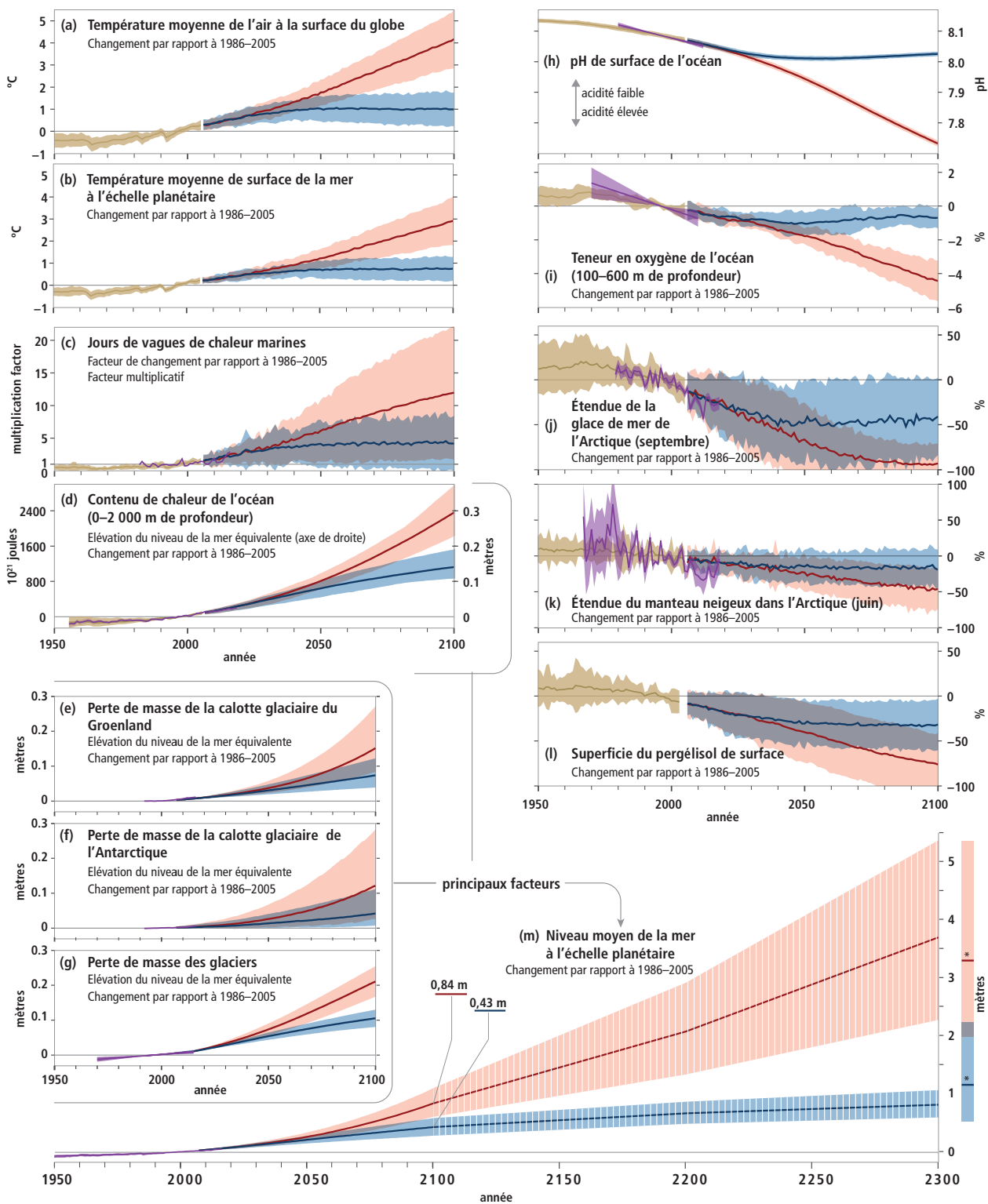


Figure RID.1 | Changements historiques observés et modélisés de l'océan et de la cryosphère depuis 1950¹¹ et changements futurs projetés selon les scénarios d'émissions faibles (RCP2.6) et élevés (RCP8.5) de gaz à effet de serre. [Encadré RID.1]

¹¹ Cela ne signifie pas que les changements ont commencé en 1950. Les changements de certaines variables se sont produits depuis la période pré-industrielle.

Figure RID.1 (continued) : Changements présentés dans les graphiques : (a) Évolution de la température moyenne de l'air à la surface du globe, avec fourchette *probable*. [Encadré RID.1, encadré thématique 1 du chapitre 1] **Changements concernant l'océan**, avec fourchettes *très probables* : (b) Évolution de la température moyenne de surface de la mer à l'échelle planétaire [encadré 5.1, 5.2.2] ; (c) Facteur de changement du nombre de jours de vagues de chaleur marines à la surface de l'océan [6.4.1] ; (d) Évolution du contenu de chaleur de l'océan (de 0 à 2 000 m de profondeur). Une estimation de la variation stérique du niveau de la mer est fournie sur l'axe de droite, en multipliant le contenu de chaleur de l'océan par le coefficient de dilatation thermique moyen à l'échelle du globe ($\epsilon \approx 0,125$ m par 10^{24} joules)¹² pour le réchauffement observé depuis 1970 (figure 5.1) ; (h) pH de surface moyen à l'échelle du globe (sur l'échelle complète). Les tendances évaluées reposent sur des séries chronologiques d'observations en haute mer longues de plus de quinze années [encadré 5.1, figure 5.6, 5.2.2] ; (i) Évolution de la teneur moyenne en oxygène de l'océan à l'échelle du globe (de 100 à 600 m de profondeur). Les tendances évaluées concernent les observations couvrant la période 1970–2010 centrée sur 1996. [figure 5.8, 5.2.2] **Changements concernant le niveau de la mer**, avec fourchettes *probables* : (m) Changement du niveau moyen de la mer à l'échelle du globe. Les sections hachurées signalent une *degré de confiance faible* dans les projections du niveau de la mer au-delà de 2100, les barres en 2300 correspondent aux avis formulés par les experts sur la fourchette des variations possibles du niveau de la mer [4.2.3, figure 4.2] ; (e) et (f) Perte de masse des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique et contribution à la hausse du niveau des mers [3.3.1] ; (g) Perte de masse des glaciers et contribution à la hausse du niveau des mers [encadré thématique 6 du chapitre 2, tableau 4.1]. **Autres changements concernant la cryosphère**, avec fourchettes *très probables* : (j) Évolution de l'étendue de la glace de mer arctique en septembre¹³ [3.2.1, 3.2.2 figure 3.3] ; (k) Évolution du manteau neigeux dans l'Arctique en juin (terres émergées au nord de 60°N) [3.4.1, 3.4.2, figure 3.10] ; (l) Évolution de l'étendue du pergélisol de surface (jusqu'à trois ou quatre mètres) dans l'hémisphère Nord [3.4.1, 3.4.2, figure 3.10]. L'évaluation des changements projetés en réponse aux scénarios intermédiaires RCP4.5 et RCP6.0 n'est pas disponible pour toutes les variables prises en compte ici ; lorsque ces informations sont disponibles, elles se trouvent dans le rapport sous-jacent. [Pour RCP4.5, voir 2.2.2, encadré thématique 6 du chapitre 2, 3.2.2, 3.4.2, 4.2.3 ; pour RCP6.0, voir encadré thématique 1 du chapitre 1]

Encadré RID.1 | Utilisation des scénarios de changement climatique dans ce rapport

Dans ce rapport, l'évaluation des changements futurs s'appuie en grande partie sur les projections des modèles climatiques du programme CMIP5¹⁴ utilisant les trajectoires représentatives de concentration (RCP). Les scénarios RCP comprennent des séries chronologiques d'émissions et de concentrations de l'ensemble des gaz à effet de serre, aérosols et gaz chimiquement actifs, ainsi que d'évolution de l'usage des terres et du couvert végétal. Chaque RCP représente l'un des multiples scénarios possibles conduisant à différents niveaux de réchauffement planétaire. {Annexe I : Glossaire}

Ce rapport utilise principalement les scénarios RCP2.6 et RCP8.5 pour son évaluation, compte-tenu des informations disponibles dans les publications scientifiques. La trajectoire RCP2.6 illustre un avenir marqué par de faibles émissions de gaz à effet de serre du fait d'efforts importants d'atténuation du changement climatique, qui se traduit dans les simulations CMIP5 par deux chances sur trois de contenir le réchauffement planétaire sous 2°C d'ici à 2100¹⁵. En revanche, le scénario RCP8.5 est un scénario d'émissions fortes de gaz à effet de serre en l'absence de politiques destinées à lutter contre le changement climatique, conduisant à une augmentation continue et soutenue des concentrations atmosphériques en gaz à effet de serre. Parmi tous les RCP, le RCP8.5 correspond à la trajectoire d'émissions les plus élevées de gaz à effet de serre. Les chapitres du rapport principal font aussi référence à d'autres scénarios, dont les RCP4.5 et RCP6.0, qui correspondent à des niveaux intermédiaires d'émissions de gaz à effet de serre et conduisent à des niveaux intermédiaires de réchauffement. {Annexe I : Glossaire, encadré thématique 1 du chapitre 1}

Le tableau RID.1 fournit les estimations du réchauffement total depuis la période préindustrielle correspondant à quatre RCP différents pour les périodes principales utilisées pour l'évaluation des évolutions futures dans ce rapport. Le réchauffement observé entre 1850–1900 et 1986–2005 est estimé à 0,63°C (0,57 à 0,69°C, fourchette *probable*) d'après les observations de la température de l'air à la surface de l'océan et des terres émergées¹⁶. De manière cohérente avec l'approche du Cinquième Rapport d'évaluation (AR5), les changements futurs modélisés de la température moyenne de l'air à la surface du globe par rapport à 1986–2005 sont ajoutés à ce réchauffement observé. {Encadré thématique 1 du chapitre 1}

Tableau RID.1 | Évolution projetée de la température moyenne à la surface du globe, par rapport à 1850–1900, pour deux périodes avec quatre RCP¹⁶ [Encadré thématique 1 du chapitre 1]

Scénario	Court terme : 2031–2050		Fin du siècle : 2081–2100	
	Moyenne (°C)	Fourchette <i>probable</i> (°C)	Moyenne (°C)	Fourchette <i>probable</i> (°C)
RCP2.6	1,6	1,1 à 2,0	1,6	0,9 à 2,4
RCP4.5	1,7	1,3 à 2,2	2,5	1,7 à 3,3
RCP6.0	1,6	1,2 à 2,0	2,9	2,0 à 3,8
RCP8.5	2,0	1,5 à 2,4	4,3	3,2 à 5,4






¹² Le coefficient de conversion entre la dilatation moyenne de l'océan à l'échelle planétaire et l'élévation du niveau de la mer, en mètres par unité de chaleur, varie de 10 % environ selon les modèles et il augmentera de façon systématique d'environ 10 % d'ici à 2100 pour un forçage RCP8.5, le réchauffement de l'océan entraînant une hausse du coefficient moyen de dilatation thermique. [4.2.1, 4.2.2, 5.2.2]

¹³ La glace de mer antarctique n'est pas présentée ici en raison du *degré de confiance faible* attaché aux projections. [3.2.2]

¹⁴ Cinquième phase du Projet d'intercomparaison de modèles couplés (annexe I : Glossaire).

¹⁵ Une trajectoire d'émissions plus faibles (RCP1.9), qui correspondrait à un réchauffement moindre qu'avec le RCP2.6, n'était pas prise en compte dans les simulations du programme CMIP5.

¹⁶ Ce rapport évalue parfois les changements par rapport à la période 2006–2015. Le réchauffement survenu entre 1850–1900 et 2006–2015 a été évalué à 0,87 °C (0,75 à 0,99 °C, fourchette *probable*). {Encadré thématique 1 du chapitre 1}


- A.2** Il est *quasiment certain* que l'océan mondial s'est réchauffé sans cesse depuis 1970 et qu'il a absorbé plus de 90 % de l'excédent de chaleur accumulé dans le système climatique (*degré de confiance élevé*). Le rythme de réchauffement de l'océan a plus que doublé depuis 1993 (*probable*). Il est *très probable* que la fréquence des vagues de chaleur marines a doublé depuis 1982 et que leur intensité augmente (*degré de confiance très élevé*). L'absorption d'une plus grande quantité de CO₂ a entraîné une augmentation de l'acidification des eaux superficielles de l'océan (*quasiment certain*). La teneur en oxygène entre la surface et 1000 m de profondeur a diminué (*degré de confiance moyen*). {1.4, 3.2, 5.2, 6.4, 6.7, figures RID.1, RID.2}
- A.2.1.  Le réchauffement de l'océan mis en évidence dans le Cinquième Rapport d'évaluation s'est poursuivi. Depuis 1993, la vitesse du réchauffement de l'océan, et donc son absorption de chaleur, a plus que doublé (*probable*), passant de $3,22 \pm 1,61 \text{ ZJ.an}^{-1}$ (0 à 700 m de profondeur) et $0,97 \pm 0,64 \text{ ZJ.an}^{-1}$ (700 à 2 000 m) entre 1969 et 1993, à $6,28 \pm 0,48 \text{ ZJ.an}^{-1}$ (0 à 700 m) et $3,86 \pm 2,09 \text{ ZJ.an}^{-1}$ (700 à 2 000 m) entre 1993 et 2017¹⁷ ; ce phénomène est attribué au forçage anthropique (*très probable*). {1.4.1, 5.2.2, tableau 5.1, figure RID.1}
- A.2.2.  L'océan Austral a représenté 35 à 43 % du gain total de chaleur entre 1970 et 2017 dans les premiers 2 000 m de l'océan mondial (*degré de confiance élevé*). Sa part a augmenté pour atteindre 45–62 % entre 2005 et 2017 (*degré de confiance élevé*). L'océan profond (en-dessous de 2 000 m) s'est réchauffé depuis 1992 (*probable*), surtout dans l'océan Austral. {1.4, 3.2.1, 5.2.2, tableau 5.1, figure RID.2}
- A.2.3.  Les événements chauds en mer ont augmenté à l'échelle planétaire. Les vagues de chaleur marines¹⁸, définies par une température quotidienne de surface de la mer supérieure au 99^e centile des valeurs locales pendant la période 1982–2016, ont doublé en fréquence et sont devenues plus longues, plus intenses et affectent des surfaces plus étendues (*très probable*). Il est *très probable* que 84 à 90 % des vagues de chaleur marines survenues entre 2006 et 2015 sont attribuables au réchauffement d'origine anthropique. {Tableau 6.2, 6.4 ; figures RID.1, RID.2}
- A.2.4.  La stratification de la densité¹⁹ des couches d'eau a augmenté dans les premiers 200 m de l'océan depuis 1970 (*très probable*). Le réchauffement observé dans les couches supérieures et l'apport d'eau douce aux hautes latitudes réduisent la densité en surface par rapport aux couches plus profondes (*degré de confiance élevé*) et inhibent le mélange des eaux superficielles et des eaux plus profondes (*degré de confiance élevé*). La stratification dans les premiers 200 m a augmenté de $2,3 \pm 0,1 \%$ (fourchette *très probable*) entre les niveaux moyens de 1971–1990 et de 1998–2017. {5.2.2}
- A.2.5.  L'océan a absorbé 20 à 30 % (*très probable*) des émissions anthropiques totales de CO₂ depuis les années 1980, ce qui a accentué son acidification. Le pH de surface en haute mer a diminué de 0,017–0,027 unité pH (fourchette *très probable*) par décennie depuis la fin des années 1980²⁰ et il est *très probable* que la baisse du pH dans les couches superficielles soit déjà sortie de la variabilité naturelle sur plus de 95 % de la superficie de l'océan. {3.2.1 ; 5.2.2 ; encadré 5.1 ; figures RID.1, RID.2}


¹⁷ ZJ est le symbole du zettajoule, soit 10²¹ joules. Il faut 5 500 ZJ environ pour réchauffer l'ensemble de l'océan de 1 °C ; 144 ZJ réchaufferaient les premiers 100 m d'environ 1 °C.

¹⁸ Période marquée par une température de surface de la mer extrêmement élevée, d'une durée de quelques jours à plusieurs mois, qui s'étend parfois sur des milliers de kilomètres (annexe I : Glossaire).


¹⁹ La stratification de la densité désigne, dans ce rapport, l'écart de densité entre les couches d'eau plus proches de la surface et les couches plus profondes. Une augmentation de la stratification réduit les échanges verticaux de chaleur, de salinité, d'oxygène, de carbone et de nutriments.

²⁰ Selon des relevés *in situ* longs de plus de quinze ans.


A.2.6  Les jeux de données couvrant la période 1970–2010 révèlent un appauvrissement en oxygène de 0,5–3,3 % (fourchette *très probable*) dans les premiers 1 000 m en haute mer, accompagné d'une expansion *probable* de 3 à 8 % du volume des zones de minimum d'oxygène (*degré de confiance moyen*). La perte d'oxygène est surtout due à la stratification accrue, à la modification de la ventilation et à la biogéochimie (*degré de confiance élevé*). {5.2.2 ; figures RID.1, RID.2}


A.2.7  Les observations à la fois *in situ* (2004–2017) et basées sur les reconstitutions de la température de surface de la mer indiquent que la circulation méridienne de retournement en Atlantique²¹ a ralenti par rapport à la période 1850–1900 (*degré de confiance moyen*). Les données sont insuffisantes pour quantifier l'ampleur de ce ralentissement, ou pour l'attribuer rigoureusement au forçage anthropique, faute de relevés d'observation suffisamment longs. Bien qu'une attribution ne soit actuellement pas possible, les simulations de modèles CMIP5 prenant en compte le forçage anthropique montrent en moyenne, pour la période 1850–2015, un ralentissement de la circulation méridienne de retournement en Atlantique. {6.7}

A.3 Le niveau moyen de la mer s'élève à l'échelle planétaire avec une accélération au cours des dernières décennies en raison d'une perte croissante de glace des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique (*degré de confiance très élevé*), en plus de la perte continue de masse des glaciers et de la dilatation thermique de l'océan. Le renforcement des vents et des pluies lors des cyclones tropicaux et l'augmentation des vagues extrêmes, s'ajoutant à l'élévation du niveau relatif de la mer, exacerbent les événements de niveau marin extrême et les aléas côtiers (*degré de confiance élevé*). {3.3, 4.2, 6.2, 6.3, 6.8, figures RID.1, RID.2, RID.4, RID.5}

A.3.1  L'élévation totale du niveau moyen de la mer global pour la période 1902–2015 est de 0,16 m (0,12–0,21 m, fourchette *probable*). Le rythme d'élévation entre 2006 et 2015, soit 3,6 mm.an⁻¹ (3,1–4,1 mm.an⁻¹, fourchette *très probable*), est sans précédent au cours du siècle dernier (*degré de confiance élevé*) et correspond à environ 2,5 fois le taux de la période 1901–1990, soit 1,4 mm.an⁻¹ (0,8–2,0 mm.an⁻¹, fourchette *très probable*). De 2006 à 2015, l'apport cumulé des calottes glaciaires et des glaciers a été la source principale d'élévation du niveau de la mer (1,8 mm.an⁻¹, fourchette *très probable* de 1,7–1,9 mm.an⁻¹), excédant l'effet de la dilatation thermique des eaux océaniques (1,4 mm.an⁻¹, fourchette *très probable* de 1,1–1,7 mm.an⁻¹)²² (*degré de confiance très élevé*). Le forçage anthropique est la principale cause de l'élévation du niveau moyen de la mer à l'échelle du globe depuis 1970 (*degré de confiance élevé*). {4.2.1, 4.2.2, figure RID.1}

A.3.2  L'élévation du niveau de la mer a accéléré (*extrêmement probable*) en raison de l'augmentation de la perte combinée de glace des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique (*degré de confiance très élevé*). La perte de masse de l'Antarctique a triplé sur la période 2007–2016 par rapport à la période 1997–2006. Pour le Groenland, elle a doublé sur la même période (*probable, confiance moyenne*). {3.3.1 ; figures RID.1, RID.2 ; RID A1.1}



A.3.3  Une accélération de l'écoulement et du recul de la calotte Antarctique, qui a le potentiel d'élever le niveau de la mer de plusieurs mètres en quelques siècles, est observée dans la baie de la mer d'Amundsen (Antarctique de l'Ouest) et dans la terre de Wilkes (Antarctique de l'Est) (*degré de confiance très élevé*). Il est possible que ces changements marquent le début d'une instabilité irréversible²³ de la calotte glaciaire dans ces régions. L'incertitude sur le démarrage d'une instabilité de la calotte glaciaire provient d'observations limitées, d'une représentation inadéquate de certains processus dynamiques spécifiques des calottes glaciaires dans les modèles, et d'une compréhension limitée des interactions complexes entre l'atmosphère, l'océan et les calottes glaciaires. {3.3.1, encadré thématique 8 du chapitre 3, 4.2.3}

A.3.4  L'élévation du niveau de la mer n'est pas uniforme partout sur la planète et varie d'une région à l'autre. Les écarts régionaux, de ± 30 % par rapport à l'élévation moyenne globale, sont dus aux pertes de glace continentale et aux variations du réchauffement de l'océan et de sa circulation. Les écarts par rapport à la moyenne globale peuvent être plus grands dans les zones concernées par un mouvement vertical rapide des terres émergées, celui-ci pouvant provenir de l'effet d'activités humaines locales (prélèvement d'eaux souterraines, par exemple). (*degré de confiance élevé*) {4.2.2, 5.2.2, 6.2.2, 6.3.1, 6.8.2, figure RID.2}




²¹ Principal système de courants dans l'Atlantique Nord et l'Atlantique Sud (annexe I : Glossaire).

²² Le total des taux d'élévation du niveau de la mer est supérieur à la somme des contributions de la cryosphère et de l'océan du fait d'incertitudes sur l'estimation du stockage d'eau sur les terres émergées.


²³ L'échelle de temps de rétablissement est de l'ordre de plusieurs siècles à plusieurs millénaires (annexe I : Glossaire).


- A.3.5  Les hauteurs extrêmes de vagues, qui contribuent aux niveaux marins extrêmes, à l'érosion des côtes et aux submersions, ont augmenté d'environ 1,0 cm.an⁻¹ et 0,8 cm.an⁻¹ dans l'océan Austral et l'Atlantique Nord pendant la période 1985–2018 (*degré de confiance moyen*). Dans l'Arctique, le recul de la glace de mer a également contribué à accroître la hauteur des vagues entre 1992 et 2014 (*degré de confiance moyen*). {4.2.2, 6.2, 6.3, 6.8, encadré 6.1}
- A.3.6  Le changement climatique d'origine anthropique a renforcé l'intensité des précipitations (*degré de confiance moyen*), la vitesse des vents (*degré de confiance faible*) et les épisodes de niveau marin extrême (*degré de confiance élevé*) observés lors de certains cyclones tropicaux, ce qui a augmenté l'intensité d'événements extrêmes multiples et leurs conséquences en cascade (*degré de confiance élevé*). Il est possible que le changement climatique d'origine anthropique ait contribué ces dernières décennies au déplacement vers les pôles de l'intensité maximale des cyclones tropicaux dans la partie occidentale du Pacifique Nord, en relation avec l'élargissement de la bande climatique tropicale générée par le forçage anthropique (*degré de confiance faible*). Des observations récentes font apparaître, sur les dernières décennies, une hausse de la proportion annuelle de cyclones tropicaux de catégorie 4 ou 5 dans le monde (*degré de confiance faible*). {6.2, tableau 6.2, 6.3, 6.8, encadré 6.1}


Impacts observés sur les écosystèmes


- A.4 Les changements survenus dans la cryosphère et les effets hydrologiques qui en résultent ont affecté les espèces et les écosystèmes terrestres et d'eau douce dans les régions polaires et de haute montagne du fait de l'apparition de terres auparavant recouvertes de glace, la modification du manteau neigeux et le dégel du pergélisol. Ils ont contribué à modifier les activités saisonnières, l'abondance et la répartition d'espèces animales et végétales importantes pour leurs valeurs écologiques, culturelles et économiques, et ont aussi affecté les perturbations écologiques et le fonctionnement des écosystèmes. (*degré de confiance élevé*) {2.3.2, 2.3.3, 3.4.1, 3.4.3, encadré 3.4, figure RID.2}**
- A.4.1  Au cours du siècle dernier, à la faveur du recul des glaciers et de l'allongement de la saison libre de neige, l'abondance de certaines espèces animales et végétales a augmenté, leur aire de répartition s'est déplacée et elles ont colonisé de nouveaux secteurs (*degré de confiance élevé*). Conjugués au réchauffement, ces changements ont accru localement le nombre d'espèces en haute montagne, les espèces des altitudes plus basses migrant vers les hauteurs (*degré de confiance très élevé*). L'abondance de certaines espèces adaptées au froid ou tributaires de la neige a diminué, amplifiant le risque d'extinction, surtout sur les sommets (*degré de confiance élevé*). Dans les régions polaires et montagneuses, beaucoup d'espèces ont modifié leurs activités saisonnières, surtout à la fin de l'hiver et au printemps (*degré de confiance élevé*). {2.3.3, encadré 3.4}
- A.4.2  L'augmentation des feux de forêt, le dégel abrupt du pergélisol et la modification de l'hydrologie de l'Arctique et des zones de montagnes ont changé la fréquence et l'intensité des perturbations subies par les écosystèmes (*degré de confiance élevé*). Cela inclut des impacts positifs et négatifs sur la flore et la faune comme le renne et le saumon (*degré de confiance élevé*). {2.3.3, 3.4.1, 3.4.3}
- A.4.3  Les observations par satellite montrent un verdissement de la toundra, signe habituel d'une hausse de la productivité des plantes (*degré de confiance élevé*). Le brunissement de quelques secteurs, dans la toundra et la forêt boréale, y indique une baisse de productivité (*degré de confiance élevé*). Ces changements ont affecté négativement les services écosystémiques d'approvisionnement, de régulation et culturels, avec aussi quelques effets positifs transitoires sur les services d'approvisionnement en haute montagne (*degré de confiance moyen*) et dans les régions polaires (*degré de confiance élevé*). {2.3.1, 2.3.3, 3.4.1, 3.4.3, annexe I : Glossaire}

A.5 L'aire de répartition géographique et les activités saisonnières de beaucoup d'espèces marines de divers groupes ont changé depuis environ 1950, en réaction au réchauffement de l'océan, aux changements de la glace de mer et aux modifications biogéochimiques de leurs habitats, comme leur perte d'oxygène (*degré de confiance élevé*). Cela a entraîné des changements de composition des espèces, de leur abondance, et de la production de biomasse par les écosystèmes, de l'équateur aux pôles. Les modifications des interactions entre espèces ont eu des répercussions en cascade sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes (*degré de confiance moyen*). Dans certains écosystèmes marins, les espèces sont affectées à la fois par les effets de la pêche et du changement climatique (*degré de confiance moyen*). {3.2.3, 3.2.4, encadré 3.4, 5.2.3, 5.3, 5.4.1, figure RID.2}


A.5.1  Depuis les années 1950, l'aire de répartition de diverses espèces marines se déplace vers les pôles 1950 à un rythme (fourchette *très probable*) de 52 ± 33 km par décennie pour les organismes des écosystèmes épipelagiques (premiers 200 m de profondeur) et 29 ± 16 km par décennie pour les organismes des écosystèmes des fonds marins. La vitesse et la direction des changements observés dans ces distributions sont déterminées par les températures locales, la teneur en oxygène et les courants océaniques au sein de gradients de profondeur, de latitude et de longitude (*degré de confiance élevé*). L'expansion de l'aire de répartition des espèces sous l'effet du réchauffement a entraîné une altération de la structure et du fonctionnement des écosystèmes, par exemple dans l'Atlantique Nord, le Pacifique Nord-Est et l'Arctique (*degré de confiance moyen*). {5.2.3, 5.3.2, 5.3.6, encadré 3.4, figure RID.2}


A.5.2  Au cours des dernières décennies, la production primaire nette de l'Arctique a augmenté dans les eaux libres de glace (*degré de confiance élevé*) et l'efflorescence printanière du phytoplancton y survient plus tôt du fait des changements de glace de mer et du volume de nutriments disponibles, avec des conséquences positives ou négatives pour les écosystèmes marins, variables selon le lieu (*degré de confiance moyen*). En Antarctique, ces changements sont spatialement hétérogènes et sont liés à une évolution rapide des conditions locales, telles que le recul des glaciers et les changements de la glace de mer (*degré de confiance moyen*). Les changements dans les activités saisonnières, la production et la répartition d'une partie du zooplancton de l'Arctique et le déplacement vers le sud de la population de krill de l'Antarctique, dans l'Atlantique Sud, sont associés à des changements environnementaux liés au climat (*degré de confiance moyen*). Dans les régions polaires, les oiseaux de mer et les mammifères marins tributaires des glaces ont connu une contraction de leur habitat liée aux modifications de la glace de mer (*degré de confiance élevé*) et le succès de leur recherche de nourriture a été affecté par les impacts climatiques sur la répartition de leurs proies (*degré de confiance moyen*). Des effets en cascade de multiples facteurs climatiques affectant le zooplancton polaire ont modifié la structure et la fonction du réseau trophique, la biodiversité et eu des impacts sur les pêcheries (*degré de confiance élevé*). {3.2.3, 3.2.4, encadré 3.4, 5.2.3, figure RID.2}


A.5.3  Les zones de remontée d'eau profonde sur les marges Est des bassins océaniques (EBUS, *Eastern Boundary Upwelling Systems*) sont parmi les écosystèmes marins les plus productifs. L'acidification et la désoxygénation progressives de l'océan ont des impacts néfastes sur deux de ces quatre grands systèmes : le courant de Californie et le courant de Humboldt (*degré de confiance élevé*). L'acidification et la baisse de la teneur en oxygène dans le système de remontée d'eau profonde du courant de Californie ont modifié la structure de cet écosystème, avec des impacts négatifs directs sur la production de biomasse et la composition des espèces (*degré de confiance moyen*). {Encadré 5.3, figure RID.2}


A.5.4  Le réchauffement de l'océan au XX^e siècle et au-delà a contribué à abaisser globalement le potentiel maximal de capture des pêcheries (*degré de confiance moyen*), aggravant les impacts de la surpêche sur certains stocks de poissons (*degré de confiance élevé*). Dans beaucoup de régions, la diminution des stocks de poissons, coquillages et crustacés, directement ou indirectement imputable au réchauffement planétaire et aux changements biogéochimiques, concourt déjà à faire diminuer les captures (*degré de confiance élevé*). Dans certaines régions, l'évolution des conditions océaniques a favorisé l'expansion d'habitats adéquats et/ou l'augmentation de l'abondance de quelques espèces (*degré de confiance élevé*). Ces changements se sont accompagnés d'une modification de la composition des prises de pêche depuis les années 1970 dans de nombreux écosystèmes (*degré de confiance moyen*). {3.2.3, 5.4.1, figure RID.2}

A.6 Les écosystèmes côtiers sont affectés par le réchauffement de l'océan, notamment par l'intensification des vagues de chaleur marines, par son acidification, sa perte d'oxygène, par les intrusions salines et l'élévation du niveau de la mer, le tout conjugué aux effets préjudiciables des activités humaines en mer comme à terre (*degré de confiance élevé*). On en observe déjà les impacts sur la superficie de certains habitats, la biodiversité ainsi que sur le fonctionnement des écosystèmes et leurs services écosystémiques (*degré de confiance élevé*). {4.3.2, 4.3.3, 5.3, 5.4.1, 6.4.2, figure RID.2}

A.6.1  Les écosystèmes côtiers végétalisés protègent le littoral des tempêtes et de l'érosion tout en atténuant les conséquences de l'élévation du niveau de la mer. Près de 50 % des zones humides côtières ont disparu au cours des derniers 100 ans, sous les effets conjugués des pressions anthropiques locales, de l'élévation du niveau de la mer, du réchauffement planétaire et des phénomènes climatiques extrêmes (*degré de confiance élevé*). La végétation côtière est un important réservoir de carbone et la disparition de ces écosystèmes est à l'origine d'un rejet actuel de 0,04–1,46 Gt de carbone par an (*degré de confiance moyen*). En réaction au réchauffement, l'aire de répartition des herbiers marins et des forêts de laminaires s'étend dans les hautes latitudes et se contracte dans les basses latitudes depuis la fin des années 1970 (*degré de confiance élevé*) ; dans certaines régions, des pertes épisodiques surviennent à la suite de vagues de chaleur (*degré de confiance moyen*). La mortalité à grande échelle des mangroves liée au réchauffement depuis les années 1960 a été en partie compensée par leur progression dans les marais salés subtropicaux du fait de la hausse des températures, mais cette progression provoque la perte de zones dégagées où prolifère une végétation herbacée, fournissant nourriture et habitat à une faune qui en dépend (*degré de confiance élevé*). {4.3.3, 5.3.2, 5.3.6, 5.4.1, 5.5.1, figure RID.2}

A.6.2  L'augmentation de l'intrusion d'eau salée dans les estuaires due à l'élévation du niveau de la mer a provoqué la redistribution en amont d'espèces marines (*degré de confiance moyen*) et a réduit les habitats adéquats pour les communautés estuariennes (*degré de confiance moyen*). La hausse des teneurs en nutriments et matière organique dans les estuaires depuis les années 1970, due aux activités humaines intensives et à l'apport des cours d'eau, a exacerbé l'effet du réchauffement océanique sur la respiration bactérienne, entraînant l'expansion de zones à faibles teneurs en oxygène (*degré de confiance élevé*). {5.3.1}

A.6.3  Les impacts de l'élévation du niveau de la mer sur les écosystèmes côtiers comprennent la réduction des habitats et le déplacement des espèces affectées, de même que la perte de biodiversité et de fonctionnalités des écosystèmes. Ces impacts sont aggravés par les perturbations humaines directes et par la présence de barrières d'origine anthropique au déplacement des zones de marais et des mangroves vers l'intérieur des terres (ce que l'on appelle la compression côtière) (*degré de confiance élevé*). Selon la géomorphologie locale et l'apport en sédiments, les marais et les mangroves peuvent s'étendre verticalement à un rythme égal ou supérieur à l'élévation actuelle du niveau de la mer (*degré de confiance élevé*). {4.3.2, 4.3.3, 5.3.2, 5.3.7, 5.4.1}

A.6.4  Les récifs coralliens d'eau chaude et les côtes rocheuses qui abritent surtout des organismes fixés calcifiants (à coquille, squelette, etc.) tels les coraux, balanes et moules, sont actuellement affectés par les températures extrêmes et l'acidification de l'océan (*degré de confiance élevé*). Les vagues de chaleur marines accroissent déjà la fréquence des phénomènes de blanchissement des coraux à grande échelle (*degré de confiance très élevé*) et ont causé une dégradation des récifs coralliens depuis 1997 à l'échelle globale ; si elle survient, la régénération après un tel événement est lente (plus de 15 ans) (*degré de confiance élevé*). Les périodes prolongées de température ambiante élevée et de déshydratation des organismes font peser des risques élevés sur les écosystèmes des côtes rocheuses (*degré de confiance élevé*). {SR1,5 ; 5.3.4, 5.3.5, 6.4.2.1, figure RID.2}

Impacts régionaux observés résultant de changements de l'océan et la cryosphère

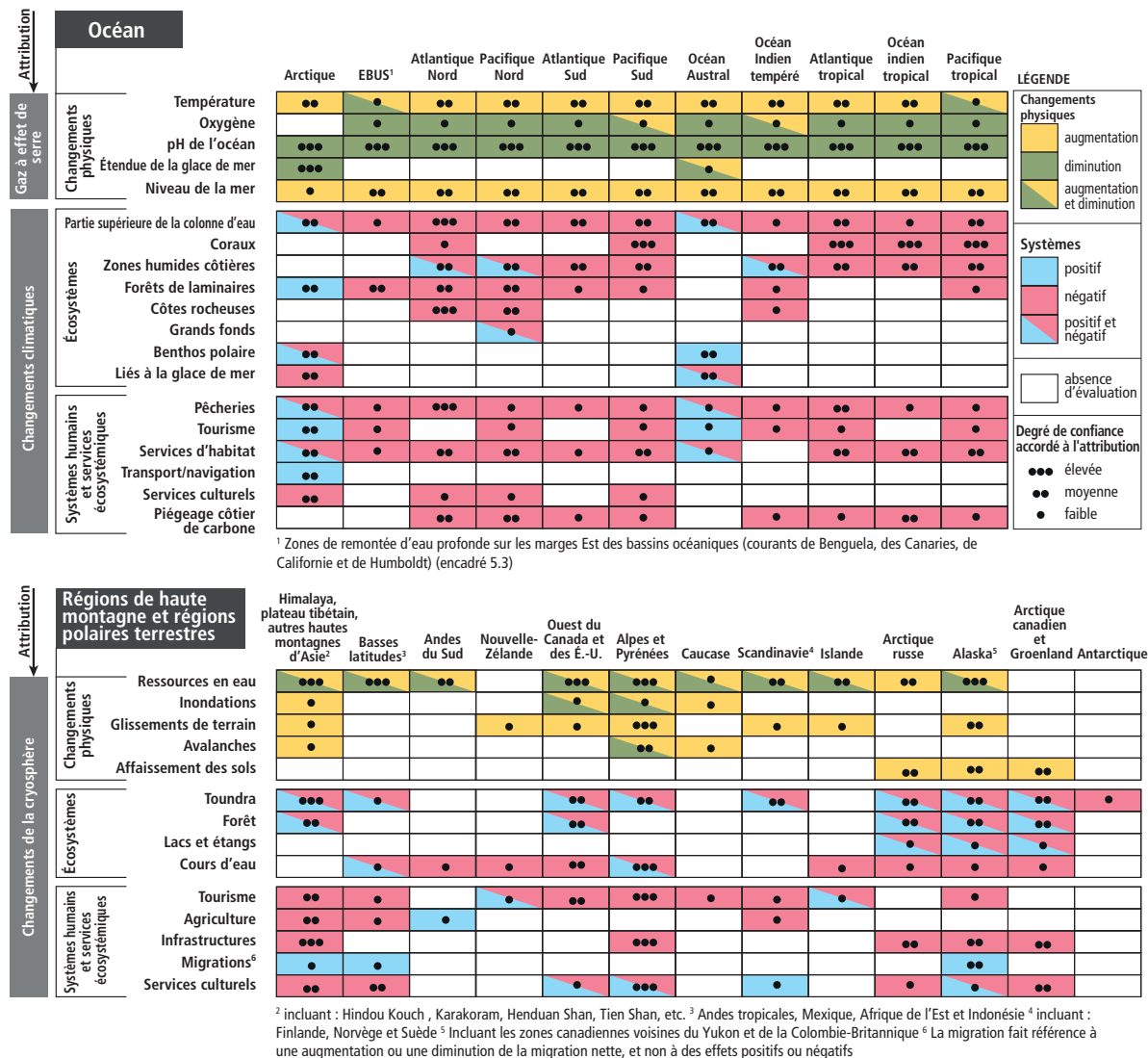



Figure RID.2 | Synthèse des changements physiques régionaux et de leurs impacts observés dans l'océan²⁴ (en haut) et dans les zones de haute montagne et les régions polaires terrestres (en bas) évalués dans ce rapport. Les changements physiques, les impacts sur les écosystèmes clés et les impacts sur les systèmes humains et sur les fonctions et services écosystémiques sont présentés pour chaque région. S'agissant des changements physiques, le jaune et le vert désignent, respectivement, une augmentation et une diminution en quantité ou en fréquence de la variable mesurée. S'agissant des impacts sur les écosystèmes, les systèmes humains et les services écosystémiques, le bleu et le rouge précisent, respectivement, si l'impact observé est positif (bénéfique) ou négatif (néfaste) pour le système ou le service en question. Les cases « augmentation et diminution » signifient que, dans la région visée, on observe à la fois des hausses et des baisses des paramètres physiques, qui ne sont pas forcément égales ; il en va de même pour les cases « positif et négatif ». Dans le cas de l'océan, le degré de confiance concerne l'attribution des changements observés aux variations du forçage résultant des gaz à effet de serre, pour les paramètres physiques, et aux changements climatiques, pour les écosystèmes, les systèmes humains et les services écosystémiques. Dans le cas des zones de haute montagne et des régions polaires terrestres, le degré de confiance concerne l'attribution des changements et des impacts physiques, au moins partiellement, à une modification de la cryosphère. L'absence d'évaluation signifie : non applicable, pas d'évaluation à l'échelle régionale ou éléments probants insuffisants pour une évaluation. Les changements physiques dans l'océan sont : l'évolution de la température dans la couche océanique de 0 à 700 m, sauf dans l'océan Austral (0 à 2 000 m) et l'océan Arctique (couche de mélange supérieure et principales branches entrantes) ; l'oxygène dans la couche de 0 à 1 200 m ou dans la couche de minimum d'oxygène ; et le pH de l'océan en surface (la baisse du pH correspond à l'acidification des eaux). Écosystèmes océaniques : les coraux regroupent les récifs coralliens d'eau chaude et les coraux d'eau froide. La partie supérieure de la colonne d'eau désigne la zone épipelagique dans toutes les régions océaniques à l'exception des régions polaires, où sont inclus les impacts sur certains organismes pélagiques à plus de 200 m de profondeur dans les eaux libres. Les zones humides côtières englobent les marais maritimes, les mangroves et les herbiers. Les forêts de laminaires abritent un groupe particulier de macro-algues. Les côtes rocheuses sont des habitats côtiers qui abritent surtout des organismes fixés calcifiants telles les balanes et les moules. Les grands fonds désignent les écosystèmes situés entre 3 000 et 6 000 m de profondeur. L'association à la glace de mer comprend les écosystèmes qui se trouvent dans, sur ou sous les glaces de mer. Les services d'habitat renvoient aux structures et services d'appui (par exemple : habitat, biodiversité, production primaire). Le piégeage côtier de carbone désigne l'absorption et le stockage de carbone par les écosystèmes à carbone bleu du littoral. Écosystèmes terrestres : la toundra fait référence à la toundra et aux prairies alpines et englobe les écosystèmes antarctiques terrestres. La migration fait référence à une augmentation ou une diminution de la migration nette, et non à ses effets positifs ou négatifs.


²⁴ Les mers marginales ne sont pas évaluées séparément, en tant que régions océaniques, dans le rapport.


Figure RID.2 (continued): Les impacts sur le tourisme font référence aux conditions d'exploitation du secteur touristique. Les services culturels englobent l'identité culturelle, le sentiment d'appartenance et les valeurs spirituelles, intrinsèques et esthétiques, ainsi que l'apport de l'archéologie des glaciers. Les informations sous-jacentes figurent dans les tableaux SM2.6, SM2.7, SM2.8, SM3.8, SM3.9 et SM3.10 pour les régions terrestres, et dans les tableaux SM5.10, SM5.11, SM3.8, SM3.9 et SM3.10 pour les régions océaniques. {2.3.1, 2.3.2, 2.3.3, 2.3.4, 2.3.5, 2.3.6, 2.3.7, figure 2.1, 3.2.1 ; 3.2.3 ; 3.2.4 ; 3.3.3 ; 3.4.1 ; 3.4.3 ; 3.5.2 ; encadré 3.4, 4.2.2, 5.2.2, 5.2.3, 5.3.3, 5.4, 5.6, figure 5.24, encadré 5.3}


Impacts observés sur les populations humaines et les services écosystémiques


A.7 Depuis le milieu du XX^e siècle, le recul de la cryosphère en Arctique et en haute montagne a eu des conséquences essentiellement néfastes sur la sécurité alimentaire, les ressources en eau, la qualité de l'eau, les moyens de subsistance, la santé et le bien-être des populations, les infrastructures, les transports, le tourisme et les loisirs, ainsi que sur la culture des sociétés humaines, particulièrement chez les peuples autochtones (*degré de confiance élevé*). Les coûts et bénéfices ont été inégalement distribués d'une population à une autre et d'une région à une autre. Les efforts d'adaptation ont bénéficié de la prise en compte des savoirs autochtones et des savoirs locaux (*degré de confiance élevé*). {1.1, 1.5, 1.6.2, 2.3, 2.4, 3.4, 3.5, figure RID.2}


A.7.1  La sécurité alimentaire et la sécurité de l'approvisionnement en eau ont été affectées négativement par les changements du manteau neigeux, de la glace de lac et de rivière et du pergélisol dans de nombreuses régions arctiques (*degré de confiance élevé*). Ces changements ont perturbé l'accès aux zones d'élevage, de chasse, de pêche et de cueillette et ont réduit la nourriture qui y est disponible, au détriment des moyens de subsistance et de l'identité culturelle des habitants de l'Arctique, dont les peuples autochtones (*degré de confiance élevé*). Le recul des glaciers et les changements d'enneigement ont contribué à des baisses localisées de rendements agricoles dans certaines régions de haute montagne comme l'Hindou Kouch Himalaya et dans les Andes tropicales (*degré de confiance moyen*). {2.3.1, 2.3.7, encadré 2.4, 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3, 3.5.2, figure RID.2}

A.7.2  En Arctique, les effets négatifs des changements de la cryosphère de l'Arctique sur la santé humaine comprennent un risque accru de maladies d'origine alimentaire ou hydrique, de malnutrition, de blessures et de problèmes de santé mentale, surtout chez des peuples autochtones (*degré de confiance élevé*). Dans certaines zones de haute montagne, la qualité de l'eau a été affectée par des contaminants, en particulier du mercure, relâchés par la fonte des glaciers et le dégel du pergélisol (*degré de confiance moyen*). Les mesures d'adaptation visant la santé publique en Arctique vont de l'échelle locale à internationale et leur efficacité est renforcée lorsqu'elles s'appuient sur les savoirs autochtones (*degré de confiance élevé*). {1.8, encadré thématique 4 du chapitre 1, 2.3.1, 3.4.3}

A.7.3  Les habitants de l'Arctique, en particulier les peuples autochtones, ont modifié le calendrier de leurs activités pour tenir compte des changements saisonniers et de la sécurité de leurs déplacements sur la terre, la glace et la neige. Les municipalités et les entreprises commencent à prendre en charge les défaillances des d'infrastructure provoquées par les inondations et le dégel du pergélisol ; certaines communautés côtières ont planifié leur relocalisation (*degré de confiance élevé*). L'adaptation a été rendue plus difficile par l'insuffisance de fonds, le manque de compétences et de capacités, et l'absence d'appui institutionnel pour lancer efficacement des processus de planification (*degré de confiance élevé*). {3.5.2, 3.5.4, encadré thématique 9}

A.7.4  Le transport maritime (tourisme inclus) a augmenté en été dans les eaux de l'Arctique depuis deux décennies, en parallèle au recul de l'étendue de la glace de mer (*degré de confiance élevé*). Cette évolution a une incidence sur les économies et les échanges internationaux liés aux couloirs de navigation traditionnels et crée de nouveaux risques pour les écosystèmes marins et les communautés locales de l'Arctique (*degré de confiance élevé*), par exemple par l'apport d'espèces invasives et par la pollution locale. {3.2.1, 3.2.4, 3.5.4, 5.4.2, figure RID.2}

A.7.5  Au cours des dernières décennies, l'essor démographique, le tourisme et le développement socio-économique ont accru l'exposition des personnes et des infrastructures aux aléas naturels (*degré de confiance élevé*). Certaines catastrophes ont été attribuées aux changements de la cryosphère, par exemple dans les Andes, les hauts plateaux d'Asie, dans le Caucase et les Alpes européennes (*degré de confiance moyen*). {2.3.2, figure RID.2}

A.7.6  Les modifications observées du manteau neigeux et des glaciers ont changé le volume et le rythme saisonnier de l'écoulement et des ressources en eau dans les bassins hydrographiques alimentés par les glaciers et dominés par la neige (*degré de confiance très élevé*). Les centrales hydroélectriques ont connu des changements dans la saisonnalité et dans le

volume (aussi bien en augmentation qu'en diminution) de l'eau provenant des régions de haute montagne, par exemple en Europe centrale, en Islande, dans l'ouest des États-Unis d'Amérique et du Canada, et dans les Andes tropicales (*degré de confiance moyen*). On ne dispose toutefois que d'*éléments probants limités* quant aux conséquences de ces changements sur l'exploitation de ces ouvrages et sur la production d'énergie. {B1.4, 2.3.1}



- A.7.7 Les dimensions esthétiques et culturelles des hautes montagnes ont pâti de la diminution des glaciers et de l'enneigement (Himalaya, Afrique de l'Est, Andes tropicales, etc.) (*degré de confiance moyen*). Le tourisme et les activités récréatives, dont le ski et le tourisme glaciaire, la randonnée et l'alpinisme ont aussi souffert dans de nombreuses régions montagneuses (*degré de confiance moyen*). Dans certaines régions, la production de neige de culture a limité les conséquences négatives pour les stations de ski (*degré de confiance moyen*). {2.3.5, 2.3.6, figure RID.2}

- A.8 Les changements survenus dans l'océan ont eu des effets sur les écosystèmes marins et les services écosystémiques, variables selon les régions, remettant en cause leur gouvernance (*degré de confiance élevé*). Les impacts sont à la fois positifs et négatifs pour la sécurité alimentaire issue de la pêche (*degré de confiance moyen*), les cultures locales et les moyens de subsistance (*degré de confiance moyen*), le tourisme et les loisirs (*degré de confiance moyen*). Les impacts sur les services écosystémiques sont néfastes pour la santé et le bien-être (*degré de confiance moyen*), ainsi que pour les peuples autochtones et les populations locales qui dépendent de la pêche (*degré de confiance élevé*). {1.1, 1,5, 3.2.1, 5.4.1, 5.4.2, figure RID.2}**



- A.8.1 Les changements induits par le réchauffement dans la répartition spatiale et l'abondance de certains stocks de poissons, coquillages et crustacés ont eu des répercussions positives et négatives sur les captures, les avantages économiques, les moyens de subsistance et les cultures locales (*degré de confiance élevé*). Les conséquences sont néfastes pour les peuples autochtones et les populations locales qui vivent de la pêche (*degré de confiance élevé*). L'évolution de la répartition et de l'abondance des espèces a mis à l'épreuve la gouvernance internationale et nationale de l'océan et des pêcheries, notamment dans l'Arctique, l'Atlantique Nord et le Pacifique, en ce qui concerne la réglementation de la pêche pour préserver l'intégrité des écosystèmes et partager les ressources entre les entités concernées (*degré de confiance élevé*). {3.2.4, 3.5.3, 5.4.2, 5.5.2, figure RID.2}



- A.8.2 Depuis les années 1980, les efflorescences algales nuisibles affectent des zones plus larges et se produisent plus fréquemment le long des côtes, en réponse à des facteurs climatiques et non climatiques tels que l'augmentation des nutriments dans les cours d'eau (*degré de confiance élevé*). Ces tendances sont attribuées en partie aux conditions induites par le réchauffement de l'océan, les vagues de chaleur marines, le déficit en oxygène, l'eutrophisation et la pollution (*degré de confiance élevé*). Les efflorescences algales nuisibles ont des conséquences néfastes sur la sécurité alimentaire, le tourisme, l'économie locale et la santé humaine (*degré de confiance élevé*). Les communautés humaines qui sont les plus vulnérables à ces risques biologiques sont celles qui vivent dans des régions où il n'existe pas de programmes de surveillance soutenus ni de systèmes d'alerte précoce dédiés à ces efflorescences algales nuisibles (*degré de confiance moyen*). {Encadré 5.4, 5.4.2, 6.4.2}

- A.9 Les populations côtières sont exposées à de multiples aléas climatiques, tels les cyclones tropicaux, les niveaux marins extrêmes, les submersions marines, les vagues de chaleur marines, la disparition de la glace de mer et le dégel du pergélisol (*degré de confiance élevé*). Des réponses variées ont été mises en œuvre dans le monde, souvent à la suite d'événements extrêmes, mais dans certains cas en anticipant l'élévation du niveau de la mer à venir, par exemple pour de grandes infrastructures. {3.2.4, 3.4.3, 4.3.2, 4.3.3, 4.3.4, 4.4.2, 5.4.2, 6.2, 6.4.2, 6.8, encadré 6.1, encadré thématique 9, figure RID.5}**



- A.9.1 Aujourd'hui, l'attribution d'impacts affectant les populations côtières à l'élévation du niveau de la mer reste difficile dans la plupart des régions, étant donné que ces impacts ont été amplifiés par des facteurs humains non climatiques tels que la subsidence des terres (par exemple, liée au prélèvement d'eaux souterraines), la pollution, la dégradation des habitats, l'extraction de sable et de récifs (*degré de confiance élevé*). {4.3.2., 4.3.3}




- A.9.2 La protection des côtes par des ouvrages en dur tels que digues, murs longitudinaux et obstacles contre les forts déferlements liés aux tempêtes, est très répandue dans de nombreuses villes côtières et dans les deltas. Les approches écosystémiques et mixtes combinant écosystèmes et génie civil sont devenues de plus en plus populaires dans le monde entier. Le développement de remblais littoraux, c'est-à-dire le fait de gagner des terres en construisant vers la mer (terre-pleins, par exemple)


est pratiqué depuis longtemps dans les régions où il y a une population côtière dense et une pénurie de terres. Le recul stratégique, qui fait référence à la fin de la présence humaine dans une zone côtière, est également observé, mais se limite généralement à de petites communautés humaines ou bien est mis en œuvre pour créer des zones humides littorales. L'efficacité des réponses face à l'élévation du niveau de la mer est évaluée dans la figure RID.5. {3.5.3, 4.3.3, 4.4.2, 6.3.3, 6.9.1, encadré thématique 9}


RID.B Changements et Risques Projetés

Changements projetés dans les paramètres physiques²⁵


B.1 Dans les projections, la perte de masse des glaciers dans le monde, le dégel du pergélisol et la diminution du manteau neigeux et de l'étendue de la banquise Arctique se poursuivent à court terme (2031–2050), à cause de l'augmentation de la température de l'air en surface (*degré de confiance élevé*), avec des conséquences inéluctables sur le débit des rivières et les aléas locaux (*degré de confiance élevé*). La perte de masse des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique projetée s'accélère tout au long du XXI^e siècle et au-delà (*degré de confiance élevé*). Le rythme et l'ampleur de ces changements de la cryosphère devraient encore augmenter au cours de la seconde moitié du XXI^e siècle dans un scénario de fortes émissions de gaz à effet de serre (*degré de confiance élevé*). De larges réductions des émissions de gaz à effet de serre au cours des prochaines décennies limiteraient les changements après 2050 (*degré de confiance élevé*). {2.2, 2.3, encadré thématique 6 du chapitre 2, 3.3, 3.4, figure RID.1, encadré RID.1}


B.1.1  La perte de masse projetée des glaciers (à l'exclusion des calottes glaciaires) entre 2015 et 2100 atteint 18 ± 7 % (fourchette *probable*) selon le RCP2.6 et 36 ± 11 % (fourchette *probable*) selon le RCP8.5, ce qui correspond à un apport de 94 ± 25 mm (fourchette *probable*) en équivalent niveau de la mer selon le RCP2.6 et de 200 ± 44 mm (fourchette *probable*) selon le RCP8.5 (*degré de confiance moyen*). Dans les régions où l'on trouve surtout des petits glaciers (Europe centrale, Caucase, nord de l'Asie, Scandinavie, Andes tropicales, Mexique, Afrique de l'Est et Indonésie), leur perte de masse devrait excéder 80 % d'ici à 2100 selon le RCP8.5 (*degré de confiance moyen*) et beaucoup de glaciers devraient disparaître quel que soit le niveau futur d'émissions (*degré de confiance très élevé*). {Encadré thématique 6 du chapitre 2, figure RID.1}


B.1.2  En 2100, la contribution projetée de la calotte glaciaire du Groenland à l'élévation du niveau moyen des mers atteint 0,07 m (0,04–0,12 m, fourchette *probable*) selon le RCP2.6 et 0,15 m (0,08–0,27 m, fourchette *probable*) selon le RCP8.5. Quant à la calotte glaciaire de l'Antarctique, la projection de sa contribution atteint 0,04 m en 2100 (0,01–0,11 m, fourchette *probable*) selon le RCP2.6 et 0,12 m (0,03–0,28 m, fourchette *probable*) selon le RCP8.5. Actuellement, le Groenland contribue davantage que l'Antarctique à l'élévation du niveau de la mer (*degré de confiance élevé*), mais l'Antarctique pourrait devenir un plus grand contributeur d'ici à la fin du XXI^e siècle en cas de recul rapide (*degré de confiance faible*). Au-delà de 2100, l'écart grandissant entre la contribution du Groenland et de l'Antarctique à l'élévation du niveau moyen de la mer à l'échelle du globe selon le RCP8.5 aurait des conséquences marquées sur le rythme de l'élévation du niveau relatif de la mer dans l'hémisphère Nord. {3.3.1, 4.2.3, 4.2.5, 4.3.3, encadré thématique 8 du chapitre 3, figure RID.1}


B.1.3  La surface du manteau neigeux de la zone arctique à l'automne et au printemps devrait diminuer de 5 à 10 % à court terme (2031–2050) par rapport à 1986–2005, puis se stabiliser dans le scénario RCP2.6, mais subir une perte supplémentaire de 15 à 25 % d'ici à la fin du siècle dans le cas du scénario RCP8.5 (*degré de confiance élevé*). En haute montagne, l'épaisseur moyenne de neige en hiver à basse altitude diminuera *probablement* de 10 à 40 % en 2031–2050 par rapport à 1986–2005, quel que soit le scénario d'émissions (*degré de confiance élevé*). Pour la période 2081–2100, la baisse projetée est *probablement* de 10 à 40 % selon le RCP2.6 et de 50 à 90 % selon le RCP8.5. {2.2.2, 3.3.2, 3.4.2, figure RID.1}

²⁵ Le rapport utilise surtout les scénarios RCP2.6 et RCP8.5 pour les raisons suivantes : ces scénarios représentent en grande partie la gamme évaluée pour les sujets qu'aborde le rapport, ils correspondent largement aux éléments disponibles dans la littérature scientifique, à partir des simulations CMIP5, et ils permettent une description cohérente des changements projetés. Les résultats de projections en réponse aux scénarios RCP4.5 et RCP6.0 ne sont pas disponibles pour toutes les questions examinées dans le rapport. {Encadré RID.1}


B.1.4  Un dégel généralisé du pergélisol est projeté au cours de ce siècle (*degré de confiance très élevé*) et au-delà. D'ici à 2100, le pergélisol de surface (jusqu'à 3 à 4 m de profondeur) devrait perdre 24 ± 16 % (fourchette *probable*) de sa superficie dans le cas du scénario RCP2.6 et 69 ± 20 % (fourchette *probable*) selon le RCP8.5. Le scénario RCP8.5 se traduit d'ici à 2100 par le rejet cumulé dans l'atmosphère de dizaines à centaines de milliards de tonnes de carbone (GtC) sous forme de CO₂²⁶ et de méthane, stockés dans le pergélisol, ce qui est susceptible d'exacerber le changement climatique (*degré de confiance moyen*). L'effet de la libération de carbone dans les zones de pergélisol est réduit pour les scénarios d'émissions les plus basses (*degré de confiance élevé*). Le méthane ne représente qu'une faible part de tout le rejet additionnel de carbone, mais il peut jouer un rôle important en raison de son fort potentiel de réchauffement. L'augmentation de la croissance des plantes devrait permettre de reconstituer en partie le carbone stocké dans le sol, mais ne sera pas suffisante pour compenser les rejets de carbone à long terme (*degré de confiance moyen*). {2.2.4, 3.4.2, 3.4.3, figure RID.1, encadré thématique 5 du chapitre 1}

B.1.5  Dans de nombreuses zones de haute montagne, il est projeté que le recul des glaciers et le dégel du pergélisol continueront à réduire la stabilité des versants, tandis que le nombre et la superficie des lacs glaciaires continueront à augmenter (*degré de confiance élevé*). Il est projeté que les crues dues aux vidanges brutales de lacs glaciaires ou aux événements de pluie sur la neige, les glissements de terrain et les avalanches surviendront aussi dans de nouveaux secteurs ou à différentes périodes de l'année (*degré de confiance élevé*). {2.3.2}



B.1.6  Il est projeté que le débit des rivières dans les bassins versants de haute montagne à régime nivoglacière ou nival changera quels que soient les scénarios d'émissions considérés (*degré de confiance très élevé*) avec comme conséquences un débit moyen accru en hiver (*degré de confiance élevé*) et des pics printaniers plus précoces (*degré de confiance très élevé*). Quel que soit le scénario d'émissions, la contribution hydrologique annuelle et estivale provenant des glaciers devrait culminer avant la fin du XXI^e siècle (*degré de confiance élevé*), par exemple vers le milieu du siècle dans les hautes montagnes d'Asie, pour décliner ensuite. Dans les régions à faible couverture glaciaire (Andes tropicales, Alpes européennes, etc.), la plupart des glaciers ont déjà franchi ce point culminant (*degré de confiance élevé*). Le déclin de la contribution hydrologique glaciaire projeté d'ici à 2100 (RCP8.5) correspond à une diminution de 10 % ou plus du débit des rivières et fleuves, au moins au cours d'un mois de la saison de fonte, dans plusieurs grands bassins versants, surtout dans les hautes montagnes d'Asie pendant la saison sèche (*degré de confiance faible*). {2.3.1}

B.1.7  D'après les projections, le déclin de la glace de mer Arctique se poursuivra jusqu'au milieu du siècle, avec des différences par la suite en fonction de l'ampleur du réchauffement planétaire : pour un réchauffement stabilisé à 1,5 °C, la probabilité annuelle d'absence de glaces de mer en septembre est de 1 % environ à la fin du siècle, chiffre qui passe à 10–35 % avec un réchauffement stabilisé à 2 °C (*degré de confiance élevé*). Un *degré de confiance faible* est associé aux projections d'évolution de la glace de mer Antarctique. {3.2.2, figure RID.1}


B.2 **Dans les projections, l'océan connaît au XXI^e siècle une transition vers des conditions sans précédent, caractérisées par des températures plus élevées (*quasiment certain*), une stratification plus marquée des couches océaniques de surface (*très probable*), une acidification continue en surface (*quasiment certain*), une perte d'oxygène (*degré de confiance moyen*) et une altération de la production primaire nette (*degré de confiance faible*). Il est projeté que les vagues de chaleur marines (*degré de confiance très élevé*) et les épisodes El Niño et La Niña extrêmes (*degré de confiance moyen*) seront plus fréquents. La circulation méridienne de retournement de l'Atlantique devrait s'affaiblir (*très probable*). Le rythme et l'ampleur des changements projetés seront réduits dans les scénarios de baisse d'émissions de gaz à effet de serre (*très probable*). {3.2, 5.2, 6.4, 6.5, 6.7, encadré 5.1, figures RID.1, RID.3}**


B.2.1  L'océan continuera de se réchauffer tout au long du XXI^e siècle (*quasiment certain*). D'ici à 2100, les premiers 2 000 m de l'océan devraient absorber cinq à sept fois plus de chaleur, selon le RCP8.5 (deux à quatre fois plus selon le RCP2.6), que le cumul de chaleur absorbé depuis 1970 (*très probable*). En 2081–2100, la stratification moyenne annuelle¹⁹ dans les premiers 200 m, entre 60°S et 60°N excède celle de la période 1986–2005 de 12 à 30 % dans le cas du RCP8.5, et de 1 à 9 % dans le cas du RCP2.6 (*très probable*), inhibant les flux verticaux de nutriments, de carbone et d'oxygène. {5.2.2, figure RID.1}


²⁶ À titre de comparaison, les émissions anthropiques totales de CO₂ se situaient à $10,8 \pm 0,8$ GtC.an⁻¹ ($39,6 \pm 2,9$ GtCO₂.an⁻¹) en moyenne pendant la période 2008–2017. Les émissions anthropiques totales de méthane se situaient à $0,35 \pm 0,01$ Gt CH₄.an⁻¹ en moyenne pendant la période 2003–2012. {5.5.1}


- B.2.2  Dans le cas du scénario RCP8.5, la teneur en oxygène de l'océan (*degré de confiance moyen*), la concentration en nitrates de la couche supérieure (*degré de confiance moyenne*), la production primaire nette (*degré de confiance faible*) et l'exportation de carbone (*degré de confiance moyenne*) diminuent dans les projections, à l'échelle du globe, de 3–4 %, 9–14 %, 4–11 % et 9-16 % respectivement (*fourchettes très probables*) en 2081–2100 par rapport à 2006–2015. Dans le cas du scénario RCP2.6, les changements anticipés en 2081–2100 à l'échelle du globe sont moindres pour ce qui concerne la désoxygénation (*très probable*), la disponibilité en nutriments (*à peu près aussi probable qu'improbable*) et la production primaire nette (*degré de confiance élevé*). {5.2.2, encadré 5.1, figures RID.1, RID.3}
- B.2.3  Il est *quasiment certain* que l'absorption continue de carbone par l'océan jusqu'en 2100 exacerbera l'acidification océanique. Le pH de surface en haute mer devrait être inférieur d'environ 0,3 unité pH en 2081–2100 par rapport à 2006–2015 pour le scénario RCP8.5 (*quasiment certain*). Ce scénario RCP8.5 s'accompagne de risques élevés pour des espèces clés formant leur coquille à partir d'aragonite, car le seuil de stabilité de la formation d'aragonite sera dépassé tout au long de l'année dans les océans polaires et subpolaires en 2081–2100 (*très probable*). Ces conditions seraient évitées au cours du siècle actuel dans le cas du RCP2.6 (*très probable*), mais certains systèmes de remontée d'eau profonde dans les marges Est devraient rester vulnérables (*degré de confiance élevé*). {3.2.3, 5.2.2, encadré 5.1, encadré 5.3, figure RID.1}
- B.2.4  Des conditions climatiques sans précédent depuis la période préindustrielle sont en train de se mettre en place dans l'océan, amplifiant les risques pour les écosystèmes de haute mer. Les signaux de réchauffement et l'acidification en surface ont déjà émergé au cours de la période historique (*très probable*). Une désoxygénation entre 100 et 600 m de profondeur devrait émerger sur 59 à 80 % de la superficie de l'océan d'ici 2031–2050 pour le scénario RCP8.5 (*très probable*). Les signaux des cinq principaux facteurs d'évolution des écosystèmes marins (réchauffement et acidification en surface, désoxygénation, variation de la teneur en nitrates et modification de la production primaire nette) devraient tous émerger avant 2100 sur plus de 60 % de la superficie de l'océan dans le cas du RCP8.5, et sur plus de 30 % de cette superficie dans le cas du RCP2.6 (*très probable*). {Annexe I : Glossaire, encadré 5.1, figure 1 de l'encadré 5.1}
- B.2.5  Il est projeté que les vagues de chaleur marines continueront d'augmenter en fréquence, durée, étendue spatiale et intensité (température maximale) (*degré de confiance très élevé*). Selon les modèles climatiques, la fréquence des vagues de chaleur marines devrait être multipliée par cinquante environ en 2081–2100 dans le cas du RCP8.5 et par vingt dans le cas du RCP2.6, par rapport à la période 1850–1900 (*degré de confiance moyenne*). Les augmentations de fréquence les plus fortes sont projetées dans l'océan Arctique et les océans tropicaux (*degré de confiance moyenne*). Dans le cas du RCP8.5, l'intensité des vagues de chaleur marines devrait augmenter d'un facteur dix en 2081–2100 par rapport à 1850–1900 (*degré de confiance moyenne*). {6.4, figure RID.1}
- B.2.6  Dans les projections, il est *probable* que les épisodes El Niño et La Niña extrêmes augmenteront en fréquence au XXI^e siècle et il est *probable* qu'ils intensifieront les aléas existants, entraînant des conditions plus sèches ou bien plus humides dans plusieurs régions du globe. Les épisodes El Niño extrêmes devraient survenir à peu près deux fois plus souvent au XXI^e siècle qu'au XX^e siècle, tant dans le cas du RCP2.6 que pour le RCP8.5 (*degré de confiance moyenne*). Les projections indiquent également une augmentation de la fréquence d'occurrence d'événements extrêmes du dipôle de l'océan Indien (*degré de confiance faible*). {6.5, figures 6.5, 6.6}
- B.2.7  Dans les projections, la circulation méridienne de retournement en Atlantique s'affaiblit au XXI^e siècle quels que soient les RCP (*très probable*), mais un effondrement est *très improbable* (*degré de confiance moyenne*). Selon les projections des modèles CMIP5, un arrêt de cette circulation d'ici à 2300 est *aussi probable qu'improbable* avec les scénarios d'émissions élevées, et *très improbable* avec les scénarios d'émissions faibles (*degré de confiance moyenne*). Tout affaiblissement prononcé de la circulation méridienne de retournement en Atlantique se traduirait par une productivité marine réduite dans l'Atlantique Nord (*degré de confiance moyenne*), davantage de tempêtes en Europe du Nord (*degré de confiance moyenne*), une diminution des pluies estivales dans le Sahel (*degré de confiance élevé*) et en Asie du Sud (*degré de confiance moyenne*), un nombre réduit de cyclones tropicaux dans l'Atlantique (*degré de confiance moyenne*) et une accentuation de la hausse du niveau de la mer le long de la côte nord-est de l'Amérique du Nord (*degré de confiance moyenne*). Ces changements se superposeraient aux effets de réchauffement planétaire. {6.7, figures 6.8–6.10}



B.3 Le niveau de la mer continue de s'élever à un rythme qui s'accélère. Les épisodes de niveaux marins extrêmes, historiquement rares (un événement par siècle), devraient survenir fréquemment (un événements par an au minimum) dans nombre d'endroits d'ici à 2050 selon tous les scénarios RCP, et en particulier dans les régions tropicales (*degré de confiance élevé*). La fréquence croissante des hauts niveaux marins peut avoir des impacts graves dans beaucoup d'endroits exposés (*degré de confiance élevé*). Dans les projections, l'élévation du niveau de la mer se poursuit après 2100 quel que soit le scénario RCP. Dans le cas d'un scénario d'émissions élevées (RCP8.5), les projections de hausse du niveau moyen global des mers en 2100 excèdent celles du cinquième Rapport d'évaluation en raison d'une contribution plus grande de la calotte glaciaire de l'Antarctique (*degré de confiance moyen*). Au cours des siècles suivants, l'élévation du niveau de la mer devrait se produire à un rythme dépassant plusieurs centimètres par an dans le cas du RCP8.5, conduisant à une hausse de plusieurs mètres (*degré de confiance moyen*), tandis que celle-ci serait contenue aux alentours d'un mètre en 2300 dans le cas du RCP2.6 (*degré de confiance faible*). Les niveaux marins extrêmes et les aléas côtiers seront exacerbés par l'intensification projetée de l'intensité des cyclones tropicaux et de leurs précipitations (*degré de confiance élevé*). Les changements projetés pour les vagues et les marées varient selon les régions et pourront aggraver ou atténuer ces aléas, selon l'endroit considéré (*degré de confiance moyen*). {Encadré thématique 5 du chapitre 1, encadré thématique 8 du chapitre 3, 4.1, 4.2, 5.2.2, 6.3.1 ; figures RID.1, RID.4, RID.5}

B.3.1  Dans le cas du RCP2.6, l'élévation moyenne projetée du niveau de la mer à l'échelle du globe atteint 0,39 m (0,26–0,53 m, fourchette *probable*) en 2081–2100 et 0,43 m (0,29–0,59 m, fourchette *probable*) en 2100 par rapport à 1986–2005. Dans le cas du RCP8.5, elle est de 0,71 m (0,51–0,92 m, fourchette *probable*) en 2081–2100 et atteint 0,84 m (0,61–1,10 m, fourchette *probable*) en 2100. Les projections de l'élévation du niveau moyen de la mer en 2100 dans le cas du RCP8.5 sont revues à la hausse de 0,1 m par rapport aux estimations du cinquième Rapport d'évaluation et la fourchette *probable* va au-delà d'1 m en 2100, la perte de glace de la calotte Antarctique ayant été revue à la hausse (*degré de confiance moyen*). L'incertitude des valeurs à la fin du siècle est principalement due à la contribution des calottes glaciaires, en particulier celle de l'Antarctique. {4.2.3, figures RID.1, RID.5}

B.3.2  Les projections du niveau de la mer présentent des écarts régionaux par rapport à la moyenne globale. Divers processus non liés à l'évolution récente du climat, telle la subsidence locale causée par des phénomènes naturels et certaines activités humaines, jouent un rôle majeur dans la variation du niveau marin relatif à la côte (*degré de confiance élevé*). Même si l'importance relative de l'élévation du niveau de la mer due au climat croît avec le temps dans les projections, il est indispensable de prendre en compte les processus locaux dans les projections de montée des mers et leurs impacts (*degré de confiance élevé*). {RID A3.4, 4.2.1, 4.2.2, figure RID.5}

B.3.3  Il est projeté que le rythme d'élévation du niveau moyen de la mer à l'échelle du globe atteindra, en 2100, 15 mm.an⁻¹ en moyenne (10–20 mm.an⁻¹, fourchette *probable*) dans le cas du RCP8.5 et dépassera plusieurs centimètres par an au cours du XXI^e siècle. Il atteindra 4 mm.an⁻¹ (2–6 mm.an⁻¹, fourchette *probable*) en 2100 dans le cas du RCP2.6. Les études de modélisation indiquent une montée des eaux de plusieurs mètres d'ici à 2300 (2,3–5,4 m et 0,6–1,07 m dans les cas des RCP8.5 et RCP2.6, respectivement) (*degré de confiance faible*), soulignant l'importance de réduire les émissions de gaz à effet de serre pour limiter l'ampleur de la montée du niveau des mers. Les processus qui contrôlent l'évolution temporelle du recul des plateformes de glace et l'ampleur de l'instabilité des calottes glaciaires pourraient accroître la contribution de l'Antarctique à la hausse du niveau de la mer à des valeurs nettement supérieures à la fourchette *probable* à l'horizon de fin de ce siècle et à plus long terme (*degré de confiance faible*). Compte-tenu des conséquences de l'élévation du niveau de la mer en cas d'effondrement d'une partie de la calotte glaciaire Antarctique, ce risque d'impact majeur mérite d'être considéré avec attention. {Encadré thématique 5 du chapitre 1, encadré thématique 8 du chapitre 3, 4.1, 4.2.3}


B.3.4  L'élévation du niveau moyen de la mer à l'échelle du globe augmentera la fréquence des épisodes de niveaux marins extrêmes pour la plupart des littoraux étudiés dans ce rapport. Selon les projections correspondant à tous les scénarios RCP, les niveaux locaux de la mer qui n'étaient atteints qu'une fois par siècle (événements historiques centennaux) seront récurrents tous les ans au moins dans la plupart des endroits d'ici à 2100 (*degré de confiance élevé*). Beaucoup de mégapoles et de petites îles (dont les petits États insulaires en développement) avec des littoraux de basse altitude subiront ces événements historiques centennaux annuellement ou plus fréquemment d'ici à 2050 dans le cas des RCP2.6, RCP4.5 et RCP8.5. L'année où l'événement centennal historique devient un événement annuel dans les latitudes moyennes se produit le plus tôt dans le cas du scénario RCP8.5, puis dans RCP4.5 et le plus tard pour le RCP2.6. La fréquence croissante des niveaux marins extrêmes peut provoquer des impacts graves en beaucoup d'endroits, selon leur degré d'exposition (*degré de confiance élevé*). {4.2.3, 6.3, figures RID.4, RID.5}


- B.3.5  Dans les projections, la hauteur des vagues importantes (hauteur moyenne, du creux à la crête, du tiers le plus élevé de toutes les vagues) augmente dans l'océan Austral et la partie tropicale du Pacifique Est (*degré de confiance élevé*), ainsi que dans la mer Baltique (*degré de confiance moyen*), et diminue dans l'Atlantique Nord et la mer Méditerranée, dans le cas du RCP8.5 (*degré de confiance élevé*). L'amplitude et la configuration des marées à la côte changeront sous l'effet du niveau plus élevé de la mer et selon les mesures d'adaptation prises dans ces zones (*très probable*). L'évolution des paramètres des vagues due aux nouvelles conditions météorologiques et l'évolution des marées due à un niveau marin plus élevé pourraient aggraver ou atténuer localement les aléas côtiers (*degré de confiance moyen*). {6.3.1, 5.2.2}
- B.3.6  Dans les projections, l'intensité moyenne des cyclones tropicaux, la proportion de cyclones de catégorie 4 ou 5 et les taux moyens de précipitation qui leurs sont associés augmentent pour tout réchauffement de 2°C par rapport à toute période de référence (*degré de confiance moyen*). L'élévation du niveau moyen de la mer provoquera une hausse des niveaux marins extrêmes liés aux cyclones tropicaux (*degré de confiance très élevé*). Les aléas côtiers seront aggravés par l'augmentation de l'intensité moyenne, de l'amplitude des surcôtes liées aux tempêtes et des taux de précipitation associés aux cyclones tropicaux. Les projections d'augmentations sont plus grandes dans le cas du RCP8.5 que dans le cas du RCP2.6, du milieu du siècle environ jusqu'à 2100 (*degré de confiance moyen*). Un degré de *confiance faible* est associé aux changements futurs de fréquence des cyclones tropicaux à l'échelle mondiale. {6.3.1}


Risques projetés pour les écosystèmes


- B.4 L'évolution future de la cryosphère terrestre continuera de transformer les écosystèmes d'eau douce et terrestres dans les zones de haute montagne et les régions polaires, avec des déplacements marqués de la répartition des espèces entraînant une modification de la structure et du fonctionnement des écosystèmes et, à terme, la perte d'une biodiversité unique au monde (*degré de confiance moyen*). Les feux de forêt devraient augmenter nettement jusqu'à la fin du siècle dans la plupart des régions de toundra et de taïga, ainsi que dans certaines zones montagneuses (*degré de confiance moyen*). {2.3.3, encadré 3.4, 3.4.3}**
- B.4.1  Dans les régions de haute montagne, la poursuite de la migration en hauteur des espèces de moyenne altitude, la contraction des habitats et une mortalité accrue entraîneront un déclin de nombreuses espèces, notamment celles qui dépendent des glaciers ou du manteau neigeux (*degré de confiance élevé*), allant jusqu'à une disparition locale, voire mondiale, d'espèces (*degré de confiance moyen*). La sauvegarde des espèces de montagne et le maintien des services écosystémiques dépendent de mesures adéquates de protection et d'adaptation (*degré de confiance élevé*). {2.3.3}
- B.4.2  Sur les terres arctiques, la disparition d'une biodiversité unique au monde est projetée car il existe peu de refuges pour certaines espèces du Haut-Arctique et par conséquent ces espèces sont en concurrence avec des espèces issues de zones plus tempérées (*degré de confiance moyen*). Les arbustes et arbres devraient s'étendre pour couvrir 24 à 52 % de la toundra de l'Arctique d'ici à 2050 (*degré de confiance moyen*). La forêt boréale progresserait sur sa bordure nord et diminuerait sur sa bordure sud, où elle serait remplacée par des zones boisées et arbustives à plus faible quantité de biomasse (*degré de confiance moyen*). {3.4.3, encadré 3.4}
- B.4.3  Le dégel du pergélisol et la réduction de l'enneigement auront une incidence sur l'hydrologie et les feux de forêt dans les montagnes et dans l'Arctique, avec des impacts sur la faune et la végétation (*degré de confiance moyen*). Environ 20 % du pergélisol terrestre de l'Arctique est vulnérable à un dégel abrupt et un affaissement du sol, ce qui, dans les projections, devrait étendre de plus de 50 % la superficie des petits lacs d'ici à 2100 dans le cas du RCP8.5 (*degré de confiance moyen*). Bien que le cycle de l'eau s'intensifie dans les projections pour la région arctique, à la fois pour la hausse des précipitations, de l'évapotranspiration et du débit des rivières vers l'océan Arctique, le recul de l'enneigement et du pergélisol pourrait provoquer un assèchement du sol, avec des conséquences sur la productivité et des perturbations des écosystèmes (*degré de confiance moyen*). Selon les projections, les feux de forêt augmenteront jusqu'à la fin du siècle dans la plupart des régions de toundra et de taïga ainsi que dans certaines zones montagneuses, tandis que les interactions du climat et des déplacements de la végétation influenceront sur l'intensité et la fréquence des incendies (*degré de confiance moyen*). {2.3.3, 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3, RID B1}

B.5 Une diminution de la biomasse totale des populations d'animaux marins, de leur production et du potentiel de capture des pêcheries, ainsi qu'un changement dans la composition des espèces sont projetés au cours du XXI^{ème} siècle dans tous les écosystèmes océaniques, depuis la surface jusqu'au fond des mers, quels que soient les scénarios d'émissions (*degré de confiance moyen*). Ce déclin devrait être le plus rapide et le plus prononcé dans les régions tropicales (*degré de confiance élevé*), alors que les impacts sont divers dans les régions polaires (*degré de confiance moyen*) et augmentent pour les scénarios de fortes émissions. L'acidification des océans (*degré de confiance moyen*), la perte d'oxygène (*degré de confiance moyen*) et la réduction de l'étendue de la glace de mer (*degré de confiance moyen*) ainsi que les conséquences des activités humaines autres que les rejets de gaz à effet de serre (*degré de confiance moyen*) peuvent exacerber ces conséquences du réchauffement sur les écosystèmes. {3.2.3, 3.3.3, 5.2.2, 5.2.3, 5.2.4, 5.4.1, figure RID.3}

B.5.1  Le réchauffement de l'océan et les changements projetés de la production primaire nette modifieront la biomasse, la production et la structure en communauté des écosystèmes marins. La biomasse mondiale de la faune marine sur tout le réseau trophique chute de $15,0 \pm 5,9$ % (fourchette *très probable*) et le potentiel maximal de pêche baisse de 20,5–24,1 % d'ici à la fin du XXI^e siècle par rapport à la période 1986–2005 dans les projections correspondant au scénario RCP8.5 (*degré de confiance moyen*). Dans les projections, ces changements sont *très probablement* trois ou quatre fois plus importants dans le cas du RCP8.5 que dans le cas du RCP2.6. {3.2.3, 3.3.3, 5.2.2, 5.2.3, 5.4.1, figure RID.3}

B.5.2  Dans les projections, l'apport réduit en nutriments lié à une stratification accrue induit dans les eaux tropicales un déclin de la production primaire nette de 7 à 16 % (fourchette *très probable*) pour le RCP8.5 en 2081–2100 (*degré de confiance moyen*). Dans les régions tropicales, les projections de recul de la biomasse animale marine et de la production sont plus importantes qu'en moyenne planétaire, quel que soit le scénario d'émissions, au cours du XXI^e siècle (*degré de confiance élevé*). Le réchauffement et la modification de la banquise stimulent la production primaire nette dans les eaux de l'Arctique (*degré de confiance moyen*) et de l'Antarctique (*degré de confiance faible*), l'apport de nutriments étant modifié par le déplacement des zones de remontée d'eau profonde et de stratification dans les projections. À l'échelle mondiale, les projections indiquent une diminution du flux de sédimentation de matière organique provenant de la couche supérieure de l'océan, en grande partie en raison des changements de la production primaire nette (*degré de confiance élevé*). Il est projeté, dans le cas du RCP8.5, que 95 % ou plus des grands fonds marins (3 000–6 000 m de profondeur) et des écosystèmes de coraux d'eau froide de profondeur connaîtront un déclin de la biomasse benthique (*degré de confiance moyen*). {3.2.3, 5.2.2, 5.2.4, figure RID.1}

B.5.3  Il est projeté que le réchauffement, l'acidification de l'océan, la diminution de l'étendue saisonnière de la banquise et le recul continu de la glace de mer pluriannuelle auront un impact sur les écosystèmes marins polaires par leurs effets directs et indirects sur les habitats, les populations et leur viabilité (*degré de confiance moyen*). Les espèces marines de l'Arctique, dont les mammifères, les oiseaux et les poissons, verront leur aire de répartition rétrécir alors que celle de plusieurs communautés de poissons subarctiques s'étendra, accentuant les pressions subies par les espèces du Haut-Arctique (*degré de confiance moyen*). Il est projeté que l'habitat du krill antarctique dans l'océan Austral, espèce cruciale pour l'alimentation des manchots, phoques et baleines, se contractera vers le sud dans le cas des scénarios RCP2.6 et RCP8.5 (*degré de confiance moyen*). {3.2.2, 3.2.3, 5.2.3}

B.5.4  Il est projeté que le réchauffement de l'océan, la perte d'oxygène, l'acidification et la diminution des flux de carbone organique de la surface vers l'océan profond seront néfastes pour les coraux d'eau froide qui forment des habitats soutenant une diversité biologique riche, du fait en partie d'une calcification moindre, de la dissolution accrue des squelettes et de la bioérosion (*degré de confiance moyen*). La vulnérabilité et les risques sont les plus élevés dans les endroits et aux moments où la température et la teneur en oxygène locales atteignent des niveaux en dehors de la fourchette de tolérance de ces espèces (*degré de confiance moyen*). {Encadré 5.2, figure RID.3}

Changements, impacts et risques projetés pour les écosystèmes océaniques du fait du changement climatique

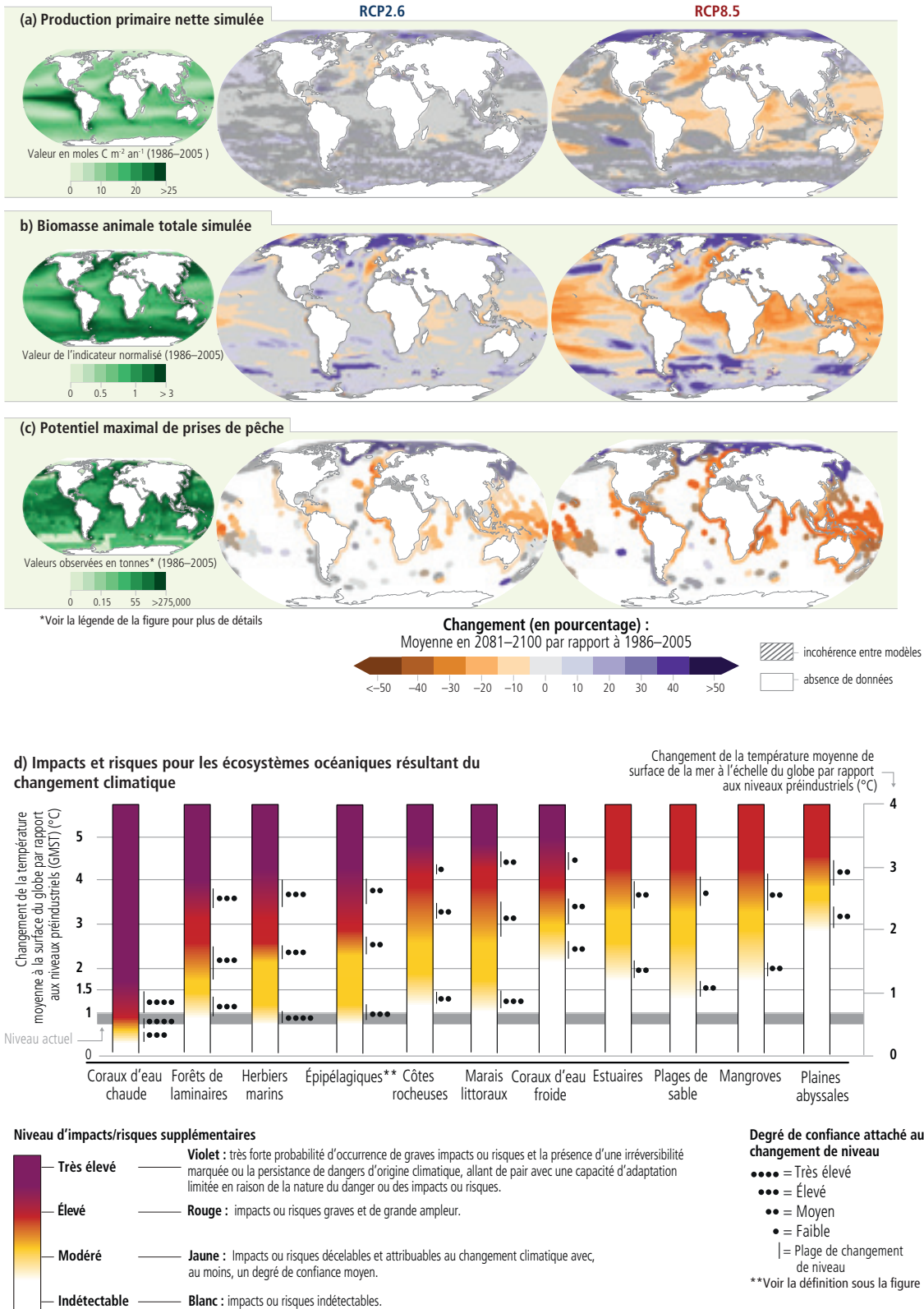




Figure RID.3 | Projections des changements, impacts et risques dans les régions et les écosystèmes océaniques :



Figure RID.3 (continued): (a) Production primaire nette intégrée sur la colonne d'eau (selon CMIP5²⁷); **(b)** Biomasse animale totale (intégrée sur la colonne d'eau, incluant poissons et invertébrés, selon FISHMIP²⁸); **(c)** Potentiel maximal de pêche; **(d)** Impacts et risques pour les écosystèmes côtiers et de pleine mer. Les trois graphiques de gauche illustrent les valeurs moyennes simulées (a, b) et observées (c) dans le passé récent (1986–2005), ceux du centre et de droite présentent les changements projetés (%) en 2081–2100 par rapport au passé récent avec, respectivement, des scénarios bas (RCP2.6) et élevé (RCP8.5) d'émissions de gaz à effet de serre [encadré RID.1]. La biomasse animale totale dans le passé récent (b, graphique de gauche) représente la valeur projetée de biomasse animale totale pour chaque pixel spatial relativement à la moyenne mondiale. c) * Capture moyenne observée dans le passé récent (selon la base de données mondiale sur la pêche « Sea Around Us »); variation projetée du potentiel maximal de capture dans les eaux du plateau continental selon les résultats moyens de deux modèles des écosystèmes marins et des pêches. Zones d'incohérence des modèles : les secteurs hachurés délimitent les régions où le désaccord quant au sens du changement concerne plus de trois projections de modèles sur dix (a et b), un modèle sur deux (c). Bien que les régions arctique et antarctique ne soient pas hachurées, les changements projetés dans l'Arctique et l'Antarctique concernant b) la biomasse animale totale et c) le potentiel de pêche sont affectés d'un *degré de confiance faible* étant donné les incertitudes associées à la modélisation de multiples facteurs en interaction et à la réponse des écosystèmes. Les projections représentées en b) et c) résultent des changements dans les propriétés physiques et biogéochimiques de l'océan telles que la température, la teneur en oxygène et la production primaire nette projetés par les modèles du système Terre dans le CMIP5. ** La zone épipélagique est la couche supérieure de l'océan, jusqu'à moins de 200 m, qui reçoit assez de lumière pour la photosynthèse. d) Évaluation des risques pour les écosystèmes côtiers et de pleine mer d'après les impacts observés et projetés du climat sur la structure, le fonctionnement et la biodiversité des écosystèmes. Les impacts et les risques sont présentés en fonction de l'évolution de la température moyenne à la surface du globe par rapport au niveau préindustriel. Comme les risques et les impacts sont évalués en fonction de la température moyenne de surface de la mer à l'échelle du globe, les valeurs correspondantes sont indiquées²⁹. L'évaluation des transitions de risque est décrite dans les sections 5.2, 5.2.5, 5.3 et 5.3.7 du chapitre 5, le supplément SM5.3, le tableau SM5.6, le tableau SM5.8 et d'autres parties du rapport. La figure montre les risques évalués selon le niveau approximatif de réchauffement et l'aggravation des risques liés au climat dans l'océan : réchauffement océanique, acidification, désoxygénation, hausse de la stratification de densité, changement des flux de carbone, élévation du niveau de la mer et augmentation de la fréquence et/ou de l'intensité des phénomènes extrêmes. L'évaluation tient compte de la capacité naturelle d'adaptation des écosystèmes, de leur exposition et de leur vulnérabilité. Les niveaux d'impact et de risque ne prennent en considération ni les stratégies de réduction des risques telles que les interventions humaines, ni les changements futurs dans les facteurs non climatiques. Les risques qui pèsent sur les écosystèmes sont évalués en considérant les aspects biologiques, biogéochimiques, géomorphologiques et physiques. Les risques plus élevés liés aux effets combinés des aléas climatiques comprennent la perte d'habitat et de biodiversité, la modification de la composition et des aires de répartition des espèces et les impacts/risques pour la structure et le fonctionnement des écosystèmes, dont les variations dans la densité et la biomasse animale/végétale, la productivité, les flux de carbone et le transport sédimentaire. Les publications scientifiques ont été rassemblées et les données en ont été extraites sous forme de tableau de synthèse pour procéder à l'évaluation. Un processus d'élucidation entre experts en plusieurs étapes a eu lieu avec une évaluation indépendante pour déterminer ces seuils, et une discussion finale pour parvenir à un consensus. Davantage de renseignements sur les méthodes et les textes sous-jacents sont fournis dans les sections 5.2 et 5.3 et le supplément du chapitre 5. {3.2.3, 3.2.4, 5.2, 5.3, 5.2.5, 5.3.7, SM5.6, SM5.8, figure 5.16, tableau CCB1 de l'encadré thématique 1 du chapitre 1}

B.6 Les risques d'impacts graves sur la biodiversité, la structure et la fonction des écosystèmes côtiers seront plus grands avec les températures plus élevées liées aux scénarios d'émissions fortes, que dans les scénarios de baisses d'émissions, au XXI^e siècle et au-delà. Parmi les projections de réponses des écosystèmes figurent la perte d'habitats et de la diversité des espèces, et la dégradation des fonctions des écosystèmes. La capacité d'ajustement et d'adaptation des organismes et des écosystèmes est meilleure dans le cas des scénarios avec des émissions plus faibles (*degré de confiance élevé*). Les écosystèmes fragiles tels les herbiers marins et les forêts de laminaires seront gravement menacés si le réchauffement planétaire excède 2 °C par rapport au niveau préindustriel, du fait de la combinaison de multiples aléas liés au climat (*degré de confiance élevé*). Les coraux d'eau chaude sont déjà exposés à un risque élevé et le passage à un risque très élevé surviendrait même si le réchauffement planétaire était contenu à 1,5 °C (*degré de confiance très élevé*). {4.3.3, 5.3, 5.5, figure RID.3}

B.6.1  Tous les écosystèmes côtiers évalués sont confrontés à un niveau de risque projeté grandissant, qui passe d'ici à 2100 d'un niveau modéré à élevé dans le cas du RCP2.6 et atteint un niveau élevé à très élevé dans le cas du RCP8.5. Les écosystèmes intertidaux des rivages rocheux subissent un risque très élevé d'ici à 2100 dans le cas du RCP8.5 (*degré de confiance moyen*), car ils sont exposés au réchauffement, surtout pendant les vagues de chaleur marines, ainsi qu'à l'acidification, l'élévation du niveau de la mer, la perte d'espèces calcifiantes et de biodiversité (*degré de confiance élevé*). L'acidification des eaux met ces écosystèmes à l'épreuve et limite encore davantage leur adéquation à leur habitat (*degré de confiance moyen*), leur capacité de rétablissement étant inhibée par une calcification réduite et une bioérosion accrue. Le déclin des forêts de laminaires dû au réchauffement se poursuivra dans les zones tempérées, surtout sous l'effet de l'intensification projetée des vagues de chaleur marines, avec un risque élevé de disparition locale dans le cas du RCP8.5 (*degré de confiance moyen*). {5.3, 5.3.5, 5.3.6, 5.3.7, 6.4.2, figure RID.3}


B.6.2  Les herbiers marins, les marais salés et leur stockage de carbone sont soumis à un risque modéré pour un réchauffement planétaire de 1,5 °C, et qui croît avec la hausse des températures (*degré de confiance moyen*). À l'échelle du globe, il est projeté que 20 à 90 % des zones humides côtières actuelles disparaîtront d'ici à 2100, ces estimations variant selon le niveau de montée du niveau de la mer, les particularités régionales et le types de zones humides, celles-ci étant particulièrement vulnérables lorsque la progression verticale est déjà restreinte par un apport réduit en nutriments et lorsque la migration vers l'intérieur des terres est elle-même contrainte par une topographie abrupte ou par l'artificialisation du littoral (*degré de confiance élevé*). {4.3.3, 5.3.2, figure RID.3, RIDA6.1}


²⁷ La production primaire nette est estimée à partir de la cinquième phase du Projet de comparaison de modèles couplés (CMIP5).
²⁸ La biomasse animale totale est tirée du Projet de comparaison de modèles des écosystèmes marins et des pêches (FISHMIP).
²⁹ La conversion de la température moyenne à la surface du globe en température de surface de la mer est faite en utilisant un coefficient de 1,44 calculé à partir de leurs changements dans un ensemble de simulations pour le scénario RCP8.5 ; ce coefficient est associé à une incertitude d'environ 4 % due aux différences entre les scénarios RCP2.6 et RCP8.5. {Tableau RID.1}


- B.6.3  Selon les projections, le réchauffement de l'océan, l'élévation du niveau de la mer et la modification des marées entraîneront une progression de la salinisation et de l'hypoxie dans les estuaires (*degré de confiance élevé*), avec des risques élevés pour certains biotes et entraînant une migration, une survie moindre et une extinction locale dans le cas de scénarios d'émissions élevées (*degré de confiance moyen*). Ces impacts seront plus prononcés dans les estuaires les plus vulnérables car peu profonds, en proie à l'eutrophisation et caractérisés par une faible amplitude de marée, notamment dans les régions tempérées et aux latitudes élevées (*degré de confiance moyen*). {5.2.2., 5.3.1, figure RID.3}
- B.6.4  Pratiquement tous les récifs coralliens d'eau chaude vont subir un recul notable de leur superficie et des extinctions locales, même si le réchauffement planétaire est contenu à 1,5 °C (*degré de confiance élevé*). Les coraux restants devraient être différents des récifs actuels par leur composition et leur diversité (*degré de confiance très élevé*). {5.3.4, 5.4.1, figure RID.3}

Risques projetés pour les populations humaines et les services écosystémiques


- B.7 Il est projeté que les changements à venir de la cryosphère affecteront les ressources en eau et leurs usages, comme la production d'hydroélectricité (*degré de confiance élevé*) et l'agriculture irriguée dans les zones de haute montagne et en aval de celles-ci (*degré de confiance moyen*), de même que les moyens de subsistance dans l'Arctique (*degré de confiance moyen*). Il est projeté que les changements portant sur les crues, les avalanches, les glissements de terrain et la déstabilisation du sol augmenteront les risques affectant les infrastructures, les biens culturels, le tourisme et les activités récréatives (*degré de confiance moyen*). {2.3, 2.3.1, 3.4.3}**


- B.7.1  Les risques de catastrophe affectant les communautés humaines, leurs modes de vie et moyens de subsistance, devraient augmenter en haute montagne et dans l'Arctique (*degré de confiance moyen*), étant donné l'évolution future d'aléas tels que les crues, les feux, les glissements de terrain, les avalanches, les conditions incertaines de neige et de glace et l'exposition accrue des personnes et des biens (*degré de confiance élevé*). Il est projeté que les techniques actuelles de réduction des risques perdront en efficacité du fait de l'évolution du caractère des aléas (*degré de confiance moyen*). D'ambitieuses stratégies de réduction des risques et d'adaptation pourraient aider à contrer la hausse des impacts provoqués par les crues et les glissements de terrain en montagne au fur et à mesure de l'augmentation de l'exposition et la vulnérabilité à ces aléas dans de nombreuses zones montagneuses au cours de ce siècle (*degré de confiance élevé*). {2.3.2, 3.4.3, 3.5.2}


- B.7.2  Selon les projections, la subsidence des terres imputable au dégel du pergélisol aura un impact sur les infrastructures de communication et de transport urbains et ruraux implantées sur les sols gelés dans l'Arctique et en haute montagne (*degré de confiance moyen*). En Arctique, la majorité des infrastructures se trouve dans des régions où une intensification du dégel du pergélisol est anticipée d'ici au milieu du siècle. La modernisation et la reconfiguration de ces infrastructures pourraient réduire de moitié les coûts découlant du dégel du pergélisol et des impacts liés au changement climatique d'ici à 2100 (*degré de confiance moyen*). {2.3.4, 3.4.1, 3.4.3}


- B.7.3  Il est projeté que les atouts touristiques, récréatifs et culturels des régions de haute montagne seront affectés négativement par les changements à venir dans la cryosphère (*degré de confiance élevé*). Les techniques actuelles de production de neige de culture seront de moins en moins efficaces pour réduire les risques climatiques pour les stations de sports d'hiver dans la majeure partie de l'Europe, en Amérique du Nord et au Japon, surtout si le réchauffement planétaire atteint ou dépasse 2 °C (*degré de confiance élevé*). {2.3.5, 2.3.6}

B.8 Selon les projections, l'évolution future de la répartition des poissons, l'abondance réduite des stocks et la baisse du potentiel de capture des pêcheries résultant du changement climatique vont affecter les revenus, les moyens de subsistance et la sécurité alimentaire des communautés qui dépendent de la mer (*degré de confiance moyen*). La disparition et la dégradation durables des écosystèmes marins compromettent leur rôle pour des valeurs culturelles, récréatives et pour leur valeur intrinsèque qui sont importantes pour l'identité et le bien-être des populations humaines (*degré de confiance moyen*). {3.2.4, 3.4.3, 5.4.1, 5.4.2, 6.4}


B.8.1  Les déplacements géographiques et les réductions de la biomasse animale marine et du potentiel de pêche projetés dans le monde sont plus marqués dans le cas du RCP8.5 qu'avec le RCP2.6, augmentant les risques qui pèsent sur les revenus et les moyens de subsistance des populations humaines qui en dépendent, particulièrement dans les régions où l'économie est vulnérable (*degré de confiance moyen*). Les projections de répartition des ressources et de leur abondance devraient accroître les risques de conflit entre les pêcheries, les autorités et les populations (*degré de confiance moyen*). Les défis pour la gouvernance des pêcheries sont généralisés dans le cas du scénario RCP8.5, avec des régions critiques comme l'Arctique et la partie tropicale du Pacifique (*degré de confiance moyen*). {3.5.2, 5.4.1, 5.4.2, 5.5.2, 5.5.3, 6.4.2, figure RID.3}


B.8.2  Le déclin des récifs coralliens d'eau chaude compromettra fortement les services qu'ils procurent à la société, tels l'apport de nourriture (*degré de confiance élevé*), la protection des côtes (*degré de confiance élevé*) et le tourisme (*degré de confiance moyen*). Les risques accrus qui pèsent sur la sécurité alimentaire liée aux produits de la mer (*degré de confiance moyen*), combinés à la baisse des ressources halieutiques, mettront davantage en péril la santé nutritionnelle de certaines populations fortement dépendantes des ressources marines (*degré de confiance moyen*), par exemple dans l'Arctique, en Afrique de l'Ouest et dans les petits États insulaires en développement. Ces impacts se combinent à d'autres risques créés par d'autres changements dans les régimes et systèmes alimentaires dus à l'évolution socio-économique et au changement climatique sur les terres émergées (*degré de confiance moyen*). {3.4.3, 5.4.2, 6.4.2}


B.8.3  Le réchauffement planétaire nuit à la qualité sanitaire des produits de la mer (*degré de confiance moyen*) en exposant les populations humaines à la forte bioaccumulation de polluants organiques persistants et de mercure dans la faune et la flore océaniques (*degré de confiance moyen*), à l'augmentation de la prévalence de pathogènes de type « *vibrio* » (*degré de confiance moyen*) et à une probabilité élevée d'efflorescences algales nuisibles (*degré de confiance moyen*). Ces risques seront particulièrement élevés au sein des communautés qui consomment beaucoup de produits de la mer, y compris les peuples autochtones établis sur le littoral (*degré de confiance moyen*), et dans les secteurs économiques tels que la pêche, l'aquaculture et le tourisme (*degré de confiance élevé*). {3.4.3, 5.4.2, encadré 5.3}

B.8.4  Les impacts du changement climatique sur les écosystèmes marins et les services qu'ils procurent menacent certaines dimensions culturelles fondamentales des modes de vie et des moyens de subsistance (*degré de confiance moyen*), par exemple en modifiant la répartition et l'abondance des espèces collectées et en réduisant l'accès aux zones de pêche ou de chasse. Cela comprend la perte potentiellement rapide et irréversible d'éléments culturels et de savoirs locaux et autochtones, ainsi que les impacts néfastes sur les régimes alimentaires traditionnels, la sécurité alimentaire, les valeurs esthétiques et les loisirs marins (*degré de confiance moyen*). {3.4.3, 3.5.3, 5.4.2}

B.9 La montée des niveaux marins moyens et extrêmes combinée au réchauffement et à l'acidification de l'océan aggravera les risques qui pèsent sur les populations des littoraux de basse altitude (*degré de confiance élevé*). Dans les communautés de l'Arctique qui ne sont pas soumises à un soulèvement rapide des terres et dans les îles urbaines des atolls, les risques seront modérés à élevés même dans le cas d'un scénario de forte baisse des émissions (RCP2.6) (*degré de confiance moyen*), incluant l'atteinte de limites à l'adaptation (*degré de confiance élevé*). Dans le cas d'émissions fortes (RCP8.5) et de la poursuite du niveau actuel d'adaptation, les deltas et les villes côtières riches en ressources seront confrontés à des risques modérés à élevés après 2050 (*degré de confiance moyen*). Une adaptation ambitieuse incluant une gouvernance transformatrice peut réduire ces risques (*degré de confiance élevé*), les bénéfiques étant propres à chaque contexte. {4.3.3, 4.3.4, 6.9.2, encadré thématique 9, SM4.3, figure RID.5}

B.9.1  En l'absence de mesures d'adaptation plus ambitieuses qu'aujourd'hui et vu la hausse actuelle de l'exposition et de la vulnérabilité des populations côtières, les risques tels que l'érosion et la perte de terres, les inondations, la salinisation et les impacts en cascade de l'élévation du niveau moyen de la mer et des phénomènes extrêmes devraient augmenter substantiellement tout au long du XXI^e siècle, quel que soit le scénario d'émissions de gaz à effet de serre (*degré de confiance très élevé*). Selon les mêmes hypothèses, les dommages annuels causés par les submersions côtières seront multipliés par cent ou mille d'ici à 2100 par rapport à aujourd'hui (*degré de confiance élevé*). {4.3.3, 4.3.4, encadré 6.1, 6.8, SM4.3, figures RID.4 et RID.5}

B.9.2  L'élévation du niveau de la mer fait peser des niveaux de risque élevés à très élevés sur les communautés vulnérables vivant dans des environnements coralliens, dans des îles urbanisées d'atolls et des littoraux bas arctiques, et ce bien avant la fin du siècle en cas de scénarios à fortes émissions. Cela implique l'atteinte de la limite à l'adaptation, c'est-à-dire le point à partir duquel les objectifs d'un acteur (ou les besoins d'un système) ne peuvent être préservés de risques intolérables par la prise de mesures d'adaptation (*degré de confiance élevé*). L'atteinte de cette limite (biophysique, géographique, financière, technique, sociale, politique, institutionnelle ou autres) dépend des scénarios d'émissions et de la tolérance aux risques spécifique à chaque contexte ; elle devrait toucher davantage de littoraux après 2100, étant donné l'élévation inéluctable et à long terme du niveau de la mer (*degré de confiance moyen*). Il est *probable* que les modifications de l'océan et de la cryosphère liées au climat rendront inhabitables certains États insulaires (*degré de confiance moyen*), mais il reste extrêmement difficile d'évaluer les seuils critiques d'habitabilité. {4.3.4, 4.4.2, 4.4.3, 5.5.2, encadré thématique 9, SM4.3, RID C1, glossaire, figure RID.5}

B.9.3  Une limitation de l'ampleur des changements climatiques et de leurs conséquences sur l'océan et la cryosphère permettrait d'augmenter les possibilités d'adaptation à l'échelle mondiale (*degré de confiance élevé*). Bien qu'un degré de *confiance élevé* soit affecté au potentiel offert par une adaptation ambitieuse incluant une gouvernance propice à des changements transformationnels pour réduire les risques dans de nombreux endroits, ces bénéfiques sont susceptibles de varier d'un lieu à l'autre. À l'échelle planétaire, la protection des côtes pourrait réduire les risques de submersion de deux ou trois ordres de grandeur pendant le XXI^e siècle, mais elle nécessite des investissements annuels de l'ordre de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de milliards de dollars américains (*degré de confiance élevé*). Si de tels investissements sont souvent rentables dans les régions urbaines densément peuplées, les zones rurales et plus pauvres pourraient avoir du mal à entreprendre ce genre de projets, dont le coût annuel équivaldrait à plusieurs pourcents du produit intérieur brut dans certains petits États insulaires (*degré de confiance élevé*). Il persisterait des risques résiduels et des pertes associées même avec des mesures substantielles d'adaptation (*degré de confiance moyen*), quoique les limites à l'adaptation spécifiques au contexte et les risques résiduels restent difficiles à évaluer. {4.1.3, 4.2.2.4, 4.3.1, 4.3.2, 4.3.4, 4.4.3, 6.9.1, 6.9.2, encadrés thématiques 1 et 2 du chapitre 1, SM4.3, figure RID.5}

Événements de niveau marin extrême

En raison de l'élévation projetée du niveau moyen de la mer à l'échelle globale, il est projeté que les niveaux extrêmes locaux qui se produisaient historiquement une fois par siècle (événements historiques centennaux, EHC) surviendront, au cours du XXI^e siècle, au moins une fois par an pour la plupart des régions côtières. La hauteur des EHC varie considérablement d'une localisation à une autre, et, selon le degré d'exposition, peut déjà provoquer des impacts considérables. Les impacts peuvent continuer à s'accroître avec l'augmentation de la récurrence des EHC.

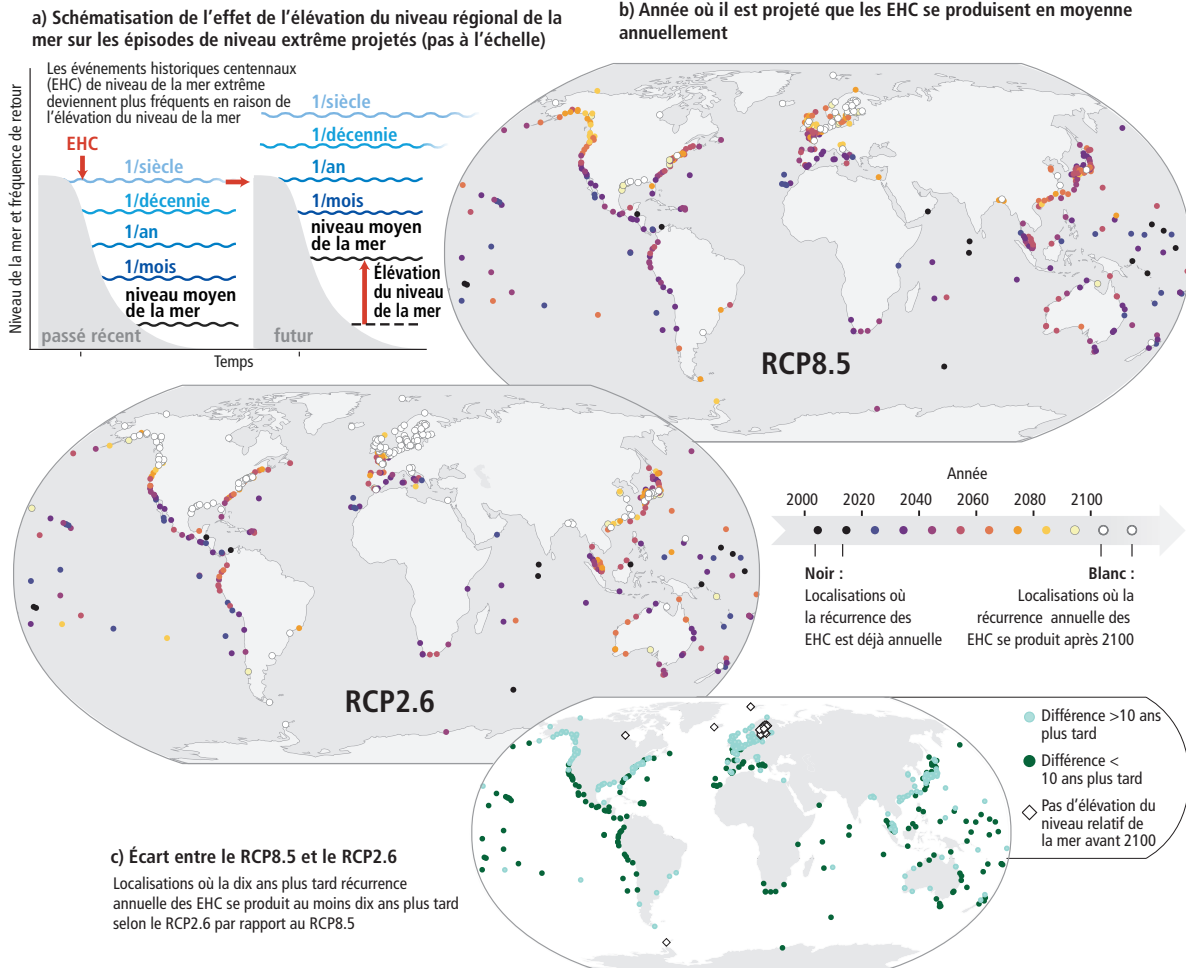




Figure RID.4 | Effet de l'élévation du niveau régional de la mer sur les niveaux marins extrêmes pour différents sites côtiers. **(a)** Illustration schématisée des événements de niveau marin extrême et de leur récurrence moyenne dans le passé récent (1986–2005) et dans le futur. Par suite de l'élévation du niveau moyen de la mer, les niveaux locaux qui revenaient historiquement une fois par siècle (événements historiques centennaux, EHC) devraient survenir plus fréquemment à l'avenir. **(b)** Année où les EHC se reproduiraient une fois par an en moyenne dans le cas des RCP8.5 et RCP2.6 pour les 439 localisations côtières pour lesquelles on dispose de relevés d'observation suffisants. L'absence de cercle signale l'impossibilité de procéder à une évaluation par manque de données, et non pas une exposition ou un risque inexistant. Plus la couleur du cercle est sombre, plus la transition surviendrait tôt. La fourchette probable est de ± 10 ans aux endroits où cette transition est attendue avant 2100. Un cercle blanc (33 % des sites selon le RCP2.6, 10 % selon le RCP8.5) signifie que les EHC ne devraient pas se reproduire une fois par an avant 2100. **(c)** Indication des localisations où le passage des EHC à des phénomènes annuels serait retardé de plus de dix ans dans le cas du RCP2.6 par rapport au RCP8.5. Étant donné que les scénarios produisent, en beaucoup d'endroits, de faibles écarts d'ici 2050, les résultats obtenus avec le RCP4.5 ne sont pas inclus ici mais ils sont présentés également dans le chapitre 4. (4.2.3, figure 4.10, figure 4.12)


RID.C Mise en Oeuvre de Reponses aux Changements dans l'Océan et la Cryosphère


Défis

C.1 Les impacts des changements liés au climat dans l'océan et la cryosphère confrontent de manière croissante les efforts de gouvernance aux défis d'élaborer et de mettre en œuvre des stratégies d'adaptation aux échelles locale à mondiale, les poussant parfois à leurs limites. Les populations les plus exposées et les plus vulnérables sont souvent celles qui disposent de la plus faible capacité de réponse (*degré de confiance élevé*). {1,5, 1.7, encadrés thématiques 2 et 3 du chapitre 1, 2.3.1, 2.3.2, 2.3.3, 2.4, 3.2.4, 3.4.3, 3.5.2, 3.5.3, 4.1, 4.3.3, 4.4.3, 5.5.2, 5.5.3, 6.9}

C.1.1  Les impacts du changement climatique dans l'océan et la cryosphère, tout comme leurs répercussions sur les sociétés, ont un horizon temporel plus long que celui des dispositifs de gouvernance (cycles de planification, cycles du processus décisionnel dans le secteur public et privé, instruments financiers, etc.). Ces différences d'horizons temporels entravent la capacité qu'ont les sociétés de se préparer et de réagir de manière adéquate aux changements à long terme, y compris aux variations de fréquence et d'intensité des phénomènes extrêmes (*degré de confiance élevé*). Des exemples de tels enjeux incluent les modifications des glissements de terrain et des inondations dans les régions de haute montagne, les risques qui pèsent sur des espèces et des écosystèmes importants de l'Arctique, ainsi que sur les pays et les îles de faible altitude, les petits États insulaires, les autres régions côtières et les écosystèmes des récifs coralliens. {2.3.2, 3.5.2, 3.5.4, 4.4.3, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5.1, 5.5.2, 5.5.3, 6.9}


C.1.2  Les instruments de gouvernance (aires marines protégées, plans d'aménagement du territoire, systèmes de gestion des ressources en eau, etc.) sont, dans de nombreux contextes, trop fragmentés et répartis entre les frontières administratives et les différents secteurs pour apporter des réponses intégrées face aux risques croissants et en cascade inhérents aux changements dans l'océan et/ou la cryosphère liés au climat (*degré de confiance élevé*). La capacité des dispositifs de gouvernance dans les régions polaires et océaniques de contrer les impacts du changement climatique s'est accrue récemment, mais pas de manière assez rapide ou solide pour faire face de manière adéquate aux risques croissants projetés (*degré de confiance élevé*). Dans les hautes montagnes, les régions côtières et les petites îles, la coordination des mesures d'adaptation au changement climatique présente aussi des difficultés au regard des nombreuses interactions entre les facteurs de risque climatiques et non climatiques (inaccessibilité, démographie et habitat, subsidence due aux activités locales, etc.), à diverses échelles et dans différents secteurs et domaines d'action gouvernementale (*degré de confiance élevé*). {2.3.1, 3.5.3, 4.4.3, 5.4.2, 5.5.2, 5.5.3, encadré 5.6, 6.9, encadré thématique 3 du chapitre 1}


C.1.3  Il existe un large éventail d'obstacles répertoriés et de limites à l'adaptation au changement climatique dans les écosystèmes (*degré de confiance élevé*). Parmi ces limites figurent l'espace dont ont besoin les écosystèmes, les facteurs non climatiques et les impacts humains qui doivent être pris en compte dans le cadre des options d'adaptation, la baisse de la capacité d'adaptation des écosystèmes du fait du changement climatique, et l'augmentation de la durée de rétablissement des écosystèmes en fonction de la récurrence des impacts climatiques, la disponibilité des technologies, des connaissances et des moyens financiers, et les dispositifs de gouvernance en place (*degré de confiance moyen*). {3.5.4, 5.5.2}


C.1.4  Il existe des obstacles, notamment financiers, technologiques, institutionnels et autres à la mise en œuvre de stratégies de réponses face aux impacts négatifs actuels et projetés induits par les changements dans l'océan et la cryosphère liés au climat, qui entravent le renforcement de la résilience et les mesures de réduction des risques (*degré de confiance élevé*). La question de savoir si ces obstacles réduisent l'efficacité de l'adaptation ou correspondent aux limites à l'adaptation dépend des circonstances propres au contexte, du rythme et de l'ampleur des changements climatiques et de l'aptitude des sociétés à transformer leur capacité d'adaptation en réponses efficaces. La capacité d'adaptation diffère toujours d'une communauté et d'une société à l'autre comme au sein de celles-ci (*degré de confiance élevé*). Les populations les plus exposées et les plus vulnérables aux aléas présents et futurs découlant des changements dans l'océan et la cryosphère sont souvent celles qui possèdent la plus faible capacité d'adaptation, surtout dans les îles et les zones côtières de basse altitude, l'Arctique et les régions de hautes montagnes aux prises avec des défis de développement (*degré de confiance élevé*). {2.3.1, 2.3.2, 2.3.7, encadré 2.4, 3.5.2, 4.3.4, 4.4.2, 4.4.3, 5.5.2, 6.9, encadrés thématiques 2 et 3 du chapitre 1, encadré thématique 9}


Renforcer les options de réponse


C.2 Les multiples services et possibilités qu'offrent les écosystèmes océaniques et cryosphériques peuvent être soutenus par la protection, la restauration, la gestion précautionneuse fondée sur les écosystèmes, et la diminution de la pollution et des autres facteurs de stress (*degré de confiance élevé*). La gestion intégrée des ressources en eau (*degré de confiance moyen*) et l'adaptation fondée sur les écosystèmes (*degré de confiance élevé*) réduisent localement les risques climatiques et apportent de multiples bienfaits à la société. Il existe cependant des contraintes écologiques, financières, institutionnelles et en matière de gouvernance à ce type d'actions (*degré de confiance élevé*) et, dans de nombreux contextes, l'adaptation fondée sur les écosystèmes ne sera efficace que pour les niveaux de réchauffement les plus faibles (*degré de confiance élevé*). {2.3.1, 2.3.3, 3.2.4, 3.5.2, 3.5.4, 4.4.2, 5.2.2, 5.4.2, 5.5.1, 5.5.2, figure RID.5}





C.2.1  Les réseaux d'aires protégées aident à préserver les services écosystémiques, dont l'absorption et le stockage de carbone, et rendent possibles de futures options d'adaptation fondées sur les écosystèmes en facilitant la migration vers les pôles et en altitude des espèces, populations et écosystèmes qui se produisent en réponse au réchauffement et à l'élévation du niveau de la mer (*degré de confiance moyen*). Les obstacles géographiques, la dégradation des écosystèmes, le morcellement des habitats et les freins à la coopération régionale limitent le potentiel de ces réseaux pour soutenir les changements d'aires de répartition des espèces à venir dans les régions marines, les régions de haute montagne et les régions polaires (*degré de confiance élevé*). {2.3.3, 3.2.3, 3.3.2, 3.5.4, 5.5.2, encadré 3.4}

C.2.2  La restauration des habitats terrestres et marins et les outils de gestion des écosystèmes, telles que la relocalisation assistée d'espèces et la culture de coraux, peuvent être efficaces pour améliorer l'adaptation fondée sur les écosystèmes à l'échelon local (*degré de confiance élevé*). De telles actions sont plus fructueuses lorsqu'elles sont soutenues par la communauté locale, sont basées sur la science tout en intégrant aussi les savoirs locaux et autochtones, et bénéficient d'un appui durable incluant la réduction ou l'élimination des facteurs de stress non climatiques, et aux niveaux de réchauffement les plus bas (*degré de confiance élevé*). Ainsi, la restauration des récifs coralliens pourrait s'avérer inefficace si le réchauffement planétaire s'élevait au-delà de 1,5 °C, les coraux étant déjà gravement menacés (*degré de confiance très élevé*) au niveau actuel de réchauffement. {2.3.3, 4.4.2, 5.3.7, 5.5.1, 5.5.2, encadré 5.5, figure RID.3}



C.2.3  Le renforcement des approches de conservation, telle la reconstitution des zones de pêche surexploitées ou épuisées, et l'amélioration de la capacité d'ajustement des stratégies de gestion des pêches réduisent les impacts néfastes du changement climatique sur les pêcheries, au profit de l'économie régionale et des moyens de subsistance (*degré de confiance moyen*). La gestion des pêches qui évalue et actualise les mesures à intervalle régulier, en s'appuyant sur les évaluations des tendances futures des écosystèmes, diminue les risques pour les pêcheries (*degré de confiance moyen*) mais offre une capacité limitée de faire face aux changements dans les écosystèmes. {3.2.4, 3.5.2, 5.4.2, 5.5.2, 5.5.3, figure RID.5}



C.2.4  La restauration des écosystèmes de végétation côtière, comme les mangroves, les marais maritimes et les herbiers (« carbone bleu »), pourrait atténuer le changement climatique en augmentant l'absorption et le stockage de carbone à raison de 0,5 % des émissions mondiales annuelles actuelles (*degré de confiance moyen*). Une protection et une gestion améliorées peuvent réduire les émissions de carbone de ces écosystèmes. Conjuguées, ces mesures offrent également de multiples autres avantages, comme une protection renforcée contre les tempêtes et une amélioration de la qualité de l'eau, de la biodiversité et des ressources pour la pêche (*degré de confiance élevé*). L'amélioration de la quantification du stockage de carbone et des flux de gaz à effet de serre de ces écosystèmes côtiers réduira les incertitudes actuelles concernant leur mesure, notification et vérification (*degré de confiance élevé*). {Encadré 4.3, 5.4, 5.5.1, 5.5.2 ; annexe 1 : Glossaire}



C.2.5  Les énergies marines renouvelables peuvent contribuer à l'atténuation du changement climatique, et peuvent comprendre l'exploitation de l'énergie des vents marins, des marées, des vagues, des gradients thermiques et de salinité ou des biocarburants issus des algues. La demande émergente de sources d'énergie alternatives devrait ouvrir des possibilités économiques pour le secteur des énergies marines renouvelables (*degré de confiance élevé*), bien que leur potentiel puisse également être affecté par le changement climatique (*degré de confiance faible*). {5.4.2, 5.5.1, figure 5.23}



C.2.6     Les approches de gestion intégrée des ressources en eau à toutes les échelles spatiales peuvent être efficaces pour faire face aux impacts et exploiter les opportunités découlant des modifications de la cryosphère dans les régions de haute montagne. Ceci encourage la gestion des ressources en eau en permettant le développement et l'optimisation du stockage et des lâchers d'eau des réservoirs à diverses fins (*degré de confiance moyen*), en tenant compte des impacts potentiellement négatifs pour les écosystèmes et les communautés. La diversification des activités touristiques tout au long de l'année concourt à l'adaptation pour les économies de haute montagne (*degré de confiance moyen*). {2.3.1, 2.3.5}

C.3 Au regard de l'élévation du niveau de la mer, les populations côtières font face à des choix difficiles au moment d'élaborer des réponses intégrées et adaptées à chaque contexte, qui équilibrent les coûts, les bénéfiques et les compromis associés aux différentes options disponibles, et qui puissent être ajustées au fil du temps (*degré de confiance élevé*). Toutes les catégories d'options, incluant la protection, l'accommodation, l'adaptation fondée sur les écosystèmes, l'avancée sur la mer et le recul stratégique, peuvent jouer un rôle important dans ces réponses intégrées (*degré de confiance élevé*). {4.4.2, 4.4.3, 4.4.4, 6.9.1, encadré thématique 9 ; figure RID.5}

C.3.1.   Plus le niveau de la mer s'élève, plus la protection du littoral s'avère difficile en raison d'obstacles davantage économiques, financiers et sociaux que de limites techniques (*degré de confiance élevé*). Au cours des prochaines décennies, la diminution des facteurs locaux d'exposition et de vulnérabilité, tels que l'urbanisation du littoral et la subsidence due aux activités humaines, est une stratégie efficace (*degré de confiance élevé*). Lorsque l'espace est limité et que la valeur des biens exposés est élevée (dans les villes, par exemple), il est *probable* qu'une protection en dur (digue, etc.) constituera une option rentable au XXI^e siècle, en tenant compte des particularités propres à chaque contexte (*degré de confiance élevé*), mais les zones ayant des ressources limitées pourraient ne pas être en mesure de se permettre de tels investissements. Quand l'espace n'est pas limité, l'adaptation fondée sur les écosystèmes peut réduire les risques côtiers et procurer de multiples autres bénéfices, dont le stockage de carbone, l'amélioration de la qualité de l'eau, la sauvegarde de la biodiversité et l'accès à des moyens de subsistance (*degré de confiance moyen*). {4.3.2, 4.4.2, encadré 4.1, encadré thématique 9, figure RID.5}

C.3.2.   Face aux niveaux marins actuels, certaines mesures d'aménagement du littoral, comme les systèmes d'alerte précoce et la protection des bâtiments contre les inondations, sont souvent peu coûteuses et très efficaces pour le niveau actuel des mers (*degré de confiance élevé*). L'élévation projetée de la montée des mers et l'augmentation des aléas côtiers rendent certaines de ces mesures moins efficaces si elles ne sont pas combinées à d'autres mesures (*degré de confiance élevé*). Toutes les catégories d'options envisageables, y compris la protection, l'accommodation, l'adaptation fondée sur les écosystèmes, l'avancée sur la mer et la relocalisation planifiée (si d'autres emplacements sont disponibles) peuvent jouer un rôle important dans ces réponses intégrées (*degré de confiance élevé*). Lorsque la communauté touchée est de petite taille ou à la suite d'une catastrophe, il est pertinent d'envisager de réduire les risques par une relocalisation planifiée, à condition que des lieux d'accueil sûrs soient disponibles. Une telle relocalisation planifiée peut se heurter à des obstacles de nature sociale, culturelle, financière et politique (*degré de confiance très élevé*). {4.4.2, encadré 4.1, encadré thématique 9, RID B3}

C.3.3.   La réponse à l'élévation du niveau de la mer et la diminution des risques associés présentent d'immenses défis de gouvernance pour la société, en raison de l'incertitude sur l'ampleur et le rythme de l'élévation du niveau des mers à venir, et de compromis difficiles à trouver entre plusieurs objectifs sociétaux (sécurité, conservation, développement économique, équité entre les générations et au sein des générations, etc.), de ressources limitées et de valeurs et intérêts divergents parmi les parties prenantes (*degré de confiance élevé*). Il est possible d'alléger ces défis en conjuguant, selon les conditions locales, l'analyse décisionnelle, la planification de l'usage des terres, la participation du public, en combinant les différents types de savoirs, en mettant en œuvre des approches de résolution des conflits, et en les ajustant au fil du temps, en fonction des changements de circonstances (*degré de confiance élevé*). {Encadré thématique 5 du chapitre 1, 4.4.3, 4.4.4, 6.9}

C.3.4.   En dépit des grandes incertitudes sur l'ampleur et le rythme d'élévation du niveau de la mer au-delà de 2050, de nombreuses décisions d'adaptation pour le littoral, à un horizon temporel de plusieurs décennies voire plus d'un siècle, sont prises dès aujourd'hui (infrastructures stratégiques, ouvrages de protection des côtes, plans d'urbanisme, par exemple) et peuvent être améliorées en tenant compte des projections d'élévation du niveau relatif de la mer, en favorisant des réponses flexibles (qui peuvent être adaptées au cours du temps) appuyées par des systèmes de surveillance des signaux d'alerte précoce, en révisant régulièrement les décisions (processus décisionnel adaptatif) et en faisant appel aux méthodes de prise de décisions robustes, à des avis d'experts, à la construction de scénarios et en utilisant de multiples types de savoirs (*degré de confiance élevé*).

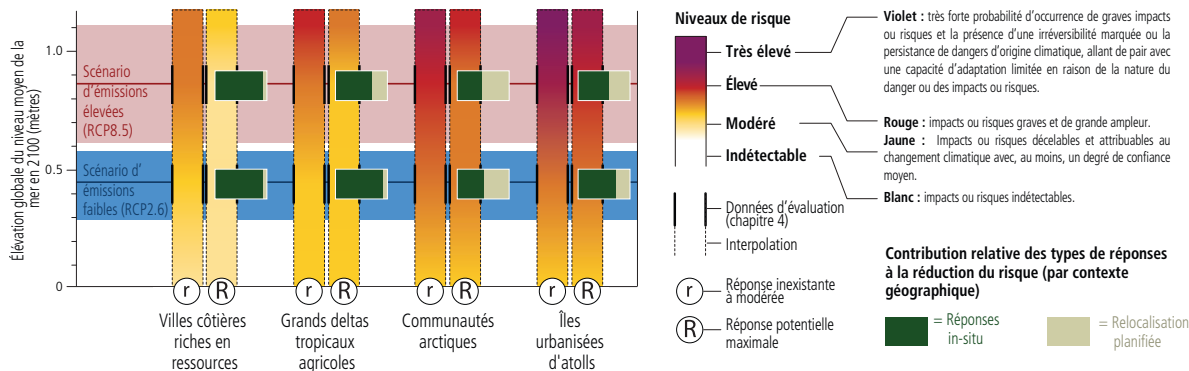
L'amplitude de l'élévation du niveau de la mer dont il faut tenir compte pour planifier et mettre en œuvre des réponses sur le littoral dépend du degré de tolérance au risque des parties prenantes. Les parties prenantes ayant une tolérance au risque plus élevée (par exemple, celles qui planifient des investissements qui peuvent très facilement être adaptés en cas de conditions imprévues) préfèrent souvent utiliser la fourchette de projections qualifiée de *probable*. Les parties prenantes présentant une tolérance au risque plus basse (par exemple, pour les décisions concernant une infrastructure critique) prennent également en compte la montée du niveau moyen de la mer à l'échelle mondiale et locale qui se situe au-delà de la limite supérieure de la fourchette *probable* (1,1 m à l'échelle du globe d'ici à 2100 selon le RCP8.5) et qui provient de méthodes caractérisées par un *degré de confiance plus faible*, comme la consultation d'experts. {1.8.1, 1.9.2, 4.2.3, 4.4.4, figure 4.2, encadré thématique 5 du chapitre 1, figure RID.5, RID B.3}

Risques et réponses face à l'élévation du niveau de la mer

Le terme réponse, et non adaptation, est employé ici car certaines réponses, tel le recul stratégique, peuvent ou non être considérées comme une adaptation

a) Risques en 2100 pour différents scénarios d'élévation du niveau de la mer et de réponses

Risques pour des exemples de contextes géographiques pour différents changements de niveau moyen de la mer (*degré de confiance moyen*)



Dans cette évaluation, le terme réponse renvoie à des mesures mises en œuvre *in situ* pour contrer l'élévation du niveau de la mer (ouvrages de protection des côtes, restauration des écosystèmes dégradés, limitation de la subsidence) et à la relocalisation planifiée. La relocalisation planifiée désigne ici le recul stratégique ou la réinstallation à titre préventif, à une échelle locale uniquement, en fonction du contexte particulier (dans le cas des îles urbanisées d'atolls par exemple : déplacement à l'intérieur de l'île, vers une île voisine ou sur une île artificielle). Les déplacements forcés et les migrations internationales sont exclus du cadre de cette évaluation.

Ces exemples de zones géographiques sont construits à partir d'un nombre limité d'études de cas bien documentées par des publications scientifiques. La réalisation du risque dépendra des spécificités du contexte.

Scénarios d'élévation du niveau de la mer : les scénarios RCP4.5 et RCP6.0 ne sont pas pris en compte pour cette analyse de risques car le corpus de publications scientifiques sous-tendant cette évaluation n'est disponible que pour les scénarios RCP2.6 et RCP8.5.

(b) Bénéfices de ces réponses à l'élévation du niveau de la mer et de l'atténuation du changement climatique

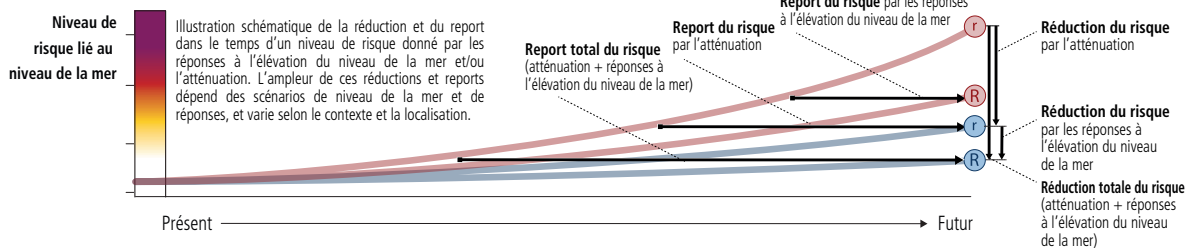


Figure RID.5 | a, b

c) Réponses face à l'élévation des niveaux marins moyens et extrêmes

Ce tableau présente certaines réponses et leurs caractéristiques. Il n'est pas exhaustif. La pertinence de chaque réponse dépend de la géographie et du contexte.

Degré de confiance (évalués pour l'efficacité) : ●●● = Très élevé ●●● = Élevé ●● = Moyen ● = Faible

Réponses	Efficacité potentielle <small>en terme de réduction des risques liés à l'élévation du niveau de la mer (limites techniques/biophysiques)</small>	Avantages <small>(en plus de la réduction du risque)</small>	Co-bénéfices	Inconvénients	Efficience économique	Défis en matière de gouvernance	
Défenses côtières artificielles	Efficace jusqu'à plusieurs mètres d'élévation du niveau de la mer (4.4.2.2.4) ●●●	Degré de protection prévisible (4.4.2.2.4)	Digues multi-fonctions, par exemple pour les loisirs, autres usages des terres (4.4.2.2.5)	Destruction d'habitats par compression côtière, inondation et érosion en aval du littoral, verrouillage technologique, conséquences catastrophiques en cas de rupture (4.3.2.4, 4.4.2.2.5)	Elevée si la valeur des biens protégés est élevée, comme dans beaucoup de zones côtières urbanisées et fortement peuplées (4.4.2.2.7)	Souvent inabordable dans les zones moins riches économiquement. Conflits entre objectifs (conservation, sécurité et tourisme), conflits dans l'affectation des fonds publics, manque de financement (4.3.3.2, 4.4.2.2.6)	
Protection fondée sur les sédiments	Efficace mais exige une disponibilité en sédiments (4.4.2.2.4) ●●●	Grande flexibilité (4.4.2.2.4)	Sauvegarde des plages pour les loisirs/le tourisme (4.4.2.2.5)	Destruction d'habitats là où les sédiments sont prélevés (4.4.2.2.5)	Elevée si les revenus tirés du tourisme sont élevés (4.4.2.2.7)	Conflits dans l'affectation des fonds publics (4.4.2.2.6)	
Adaptation fondée sur les écosystèmes	Conservation des coraux	Efficace jusqu'à 0,5 cm/an d'élévation du niveau de la mer ●● Fortement limitée par le réchauffement et l'acidification de l'océan. Limitée avec un réchauffement de 1,5 °C, nulle à 2 °C à de nombreux emplacements (4.3.3.5.2, 4.4.2.3.2, 5.3.4) ●●●	Possibilité d'associer les communautés (4.4.2.3.1)	Gain d'habitat, de biodiversité, stockage de carbone, revenus du tourisme, hausse de la productivité des pêches, meilleure qualité de l'eau. Apport de nourriture, ingrédients médicinaux, carburant, bois et bénéfices culturels (4.4.2.3.5)	L'efficacité à long terme dépend du réchauffement de l'océan, de l'acidification et des scénarios d'émissions (4.3.3.5.2, 4.4.2.3.2)	Peu d'éléments probants sur le rapport coûts-bénéfices ; dépend de la densité de population et des terres disponibles (4.4.2.3.7) Degrés de protection moins prévisibles, bénéfices non concrétisés en matière de développement (4.4.2.3.5, 4.4.2.3.2) Degrés de protection moins prévisibles, beaucoup de terres requises, nécessité de lever les obstacles à l'expansion des écosystèmes vers les terres (4.4.2.3.5, 4.4.2.3.2)	Difficulté d'obtenir les permis de mise en œuvre. Manque de financements. Application insuffisante des politiques de conservation. Options d'adaptation fondée sur les écosystèmes écartées à cause d'intérêts économiques à court terme. Disponibilités de terres (4.4.2.3.6)
	Restauration des coraux						
	Conservation des zones humides (marais, mangroves)	Efficace jusqu'à 0,5-1 cm/an d'élévation du niveau de la mer ●● Moins efficace à 2 °C (4.3.3.5.1, 4.4.2.3.2, 5.3.7) ●●●					
	Restauration des zones humides (marais, mangroves)						
Avancée sur la mer	Efficace jusqu'à plusieurs mètres d'élévation du niveau des mers (4.4.2.2.4) ●●●	Degré de protection prévisible (4.4.2.2.4)	Création de terres, les revenus tirés de la vente peuvent servir à financer l'adaptation (4.4.2.4.5,)	Salinisation des eaux souterraines, accélération de l'érosion, disparition d'écosystèmes et d'habitats côtiers (4.4.2.4.5)	Très élevée si le prix des terrains est élevé, comme dans beaucoup de zones côtières urbanisées (4.4.2.4.7)	Souvent inabordable dans les zones moins riches économiquement. Conflits sociaux concernant l'accès et la distribution des nouvelles terres (4.4.2.4.6)	
Aménagement du littoral (protection des bâtiments contre les inondations, systèmes d'alerte précoce pour les inondations, etc.)	Très efficace dans le cas d'une faible élévation du niveau de la mer (4.4.2.5.4) ●●●	Techniques parvenues à maturité ; le dépôt de sédiments pendant les inondations peut accroître l'altitude (4.4.2.5.5)	Sauvegarde de la connectivité des paysages (4.4.2.5.5)	N'empêche pas les inondations et les impacts (4.4.2.5.5)	Très élevée pour les systèmes d'alerte précoce et les interventions sur les bâtiments (4.4.2.5.7)	Les systèmes d'alerte précoce exigent des dispositifs institutionnels efficaces (4.4.2.6.6)	
Recul stratégique	Relocalisation planifiée	Efficace s'il existe des localités d'accueil sûres par rapport à l'élévation du niveau de la mer (4.4.2.6.4) ●●●	Élimination des risques liés à l'élévation du niveau de la mer sur le lieu d'origine (4.4.2.6.4)	Accès à de meilleurs services (santé, éducation, logement) dans les zones de relocalisation, possibilités d'emploi et prospérité économique (4.4.2.6.5)	Perte de cohésion sociale, d'identité culturelle et de bien-être. Baisse des services (santé, éducation, logement), des possibilités d'emploi et de la prospérité économique (4.4.2.6.5)	Éléments probants limités (4.4.2.6.7)	Conciliation des intérêts divergents découlant du déplacement de personnes, de l'emplacement d'origine à destination (4.4.2.6.6)
	Déplacement forcé	Ne répond qu'au risque immédiat sur le lieu d'origine	Sans objet	Sans objet	De la perte de vies humaines à la perte de moyens de subsistance, et de la souveraineté (4.4.2.6.5)	Sans objet	Soulève des questions humanitaires complexes touchant les moyens de subsistance, les droits humains et l'équité (4.4.2.6.6)

d) Choix et mise en oeuvre de réponses face à l'élévation du niveau de la mer

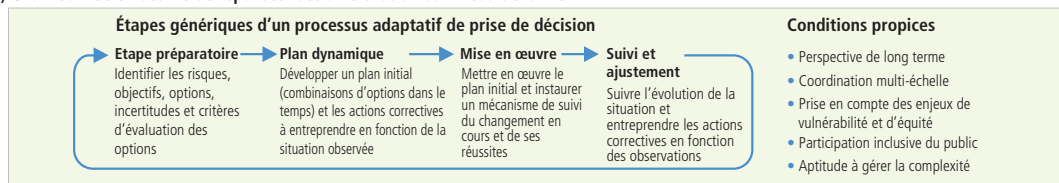




Figure RID.5 | c, d

Figure RID.5 | Élévation du niveau de la mer : risques et réponses. Le terme réponse, et non adaptation, est employé ici car certaines mesures, tel le recul stratégique, peuvent ou non être considérées comme de l'adaptation. La partie (a) montre le risque combiné de submersion marine, d'érosion côtière et de salinisation du littoral imputable à la variation des niveaux marins moyens et extrêmes, en 2100, pour divers contextes géographiques illustratifs et en fonction à la fois des RCP2.6 et RCP8.5 et de deux scénarios de réponse. Les risques afférents au RCP4.5 et au RCP6.0 n'ont pas été évalués faute de littérature scientifique suffisante sur les contextes géographiques retenus. L'évaluation ne tient pas compte des variations du niveau extrême qui ne résultent pas directement de l'élévation du niveau moyen de la mer ; le risque pourrait donc croître si l'on incluait d'autres changements dans ces valeurs extrêmes (découlant, par exemple, des changements dans l'intensité des cyclones). Dans le scénario socio-économique de la partie a), la densité de population sur le littoral est relativement stable au cours du siècle (SM4.3.2) Les risques qui pèsent sur les différents contextes géographiques considérés ont été évalués sur la base des variations relatives du niveau de la mer projetées dans une série d'exemples précis : New York, Shanghai et Rotterdam pour les villes côtières riches en ressources, couvrant une large gamme d'expériences de réponses ; Tarawa Sud, Fongafale et Malé pour les îles urbanisées d'atolls ; le Mékong et le Gange-Brahmapoutre-Meghna pour les grands deltas agricoles tropicaux ; Bykovskiy, Shishmaref, Kivalina, Tuktoyaktuk et Shingle Point pour les communautés arctiques non soumises à un ajustement isostatique rapide. [4.2, 4.3.4, SM4.2] L'évaluation examine deux scénarios distincts de réponse. Le scénario « réponse inexistante à modérée » correspond aux efforts déployés à ce jour (sans autre action majeure ou action d'un nouveau type). Le scénario « réponse maximale possible » représente une combinaison d'actions mises en œuvre dans toute leur ampleur et, par conséquent, des efforts supplémentaires importants par rapport à aujourd'hui, en supposant que les obstacles financiers, sociaux et politiques soient minimisés. L'évaluation a porté sur chaque scénario d'élévation du niveau de la mer et de réponse, comme l'illustrent les dégradés de couleur de la figure ; les niveaux intermédiaires de risque ont été obtenus par interpolation. [4.3.3] Les critères d'évaluation comprennent l'exposition et la vulnérabilité (densité des biens, degré de dégradation des écosystèmes tampons terrestres et marins), les aléas côtiers (submersion, érosion, salinisation), les réponses *in situ* (défenses côtières artificielles, restauration des écosystèmes ou création de nouvelles zones tampons naturelles, gestion de la subsidence) et la relocalisation planifiée. Ce dernier terme désigne le recul stratégique ou la réinstallation, comme l'explique le chapitre 4, c'est-à-dire une action préventive et locale visant à réduire le risque en déplaçant les personnes, les biens et les infrastructures. Le déplacement forcé n'est pas pris en compte dans cette évaluation. La partie (a) met également en évidence l'apport relatif des mesures *in situ* et de la relocalisation planifiée à la réduction du risque total. La partie (b) illustre de manière schématique la réduction du risque (flèches verticales) et la temporalité du risque (flèches horizontales) induites par l'atténuation et/ou les réponses à la montée du niveau de la mer. La partie (c) récapitule et évalue les types de réponse face à l'élévation du niveau de la mer quant à leur efficacité et leur coût, leurs co-bénéfices, leurs inconvénients, leur efficacité économique et leurs défis sur le plan de la gouvernance. [4.4.2] La partie (d) présente les étapes générales d'une approche adaptative de la prise de décision, ainsi que les conditions clés qui permettent de réagir face à l'élévation du niveau de la mer. [4.4.4 ; 4.4.5]


Conditions favorables

C.4 Favoriser la résilience face aux conséquences du changement climatique et un développement durable dépend de manière critique d'une réduction urgente et ambitieuse des émissions de gaz à effet de serre conjointement à la mise en place durable de mesures d'adaptation coordonnées et de plus en plus ambitieuses (degré de confiance très élevé). Parmi les conditions déterminantes pour la mise en œuvre de réponses efficaces aux changements de l'océan et la cryosphère liés au climat, figurent l'intensification de la coopération et de la coordination entre les instances dirigeantes à toutes les échelles spatiales et à tous les horizons de planification. D'autres aspects essentiels sont : l'éducation et la construction d'un socle commun de connaissances vis-à-vis du changement climatique, la surveillance et la prévision, l'utilisation de toutes les sources de savoirs disponibles, le partage des données, de l'informations et des connaissances, la finance, la prise en compte de la vulnérabilité sociale, le respect de l'équité et l'appui institutionnel. Ce type d'investissements favorise le renforcement de capacités, l'apprentissage social et la participation à des mesures d'adaptation spécifiques, de même que la négociation de compromis et l'obtention de co-bénéfices pour réduire les risques à court terme et renforcer la résilience et la soutenabilité à long terme (degré de confiance élevé). Ce rapport représente l'état actuel des connaissances scientifiques concernant l'océan et la cryosphère dans le contexte d'un réchauffement planétaire de faible ampleur (1,5 °C), comme l'ont fait les précédents rapports du GIEC et de l'IPBES. {1.1, 1.5, 1.8.3, 2.3.1, 2.3.2, 2.4, figure 2.7, 2.5, 3.5.2, 3.5.4, 4.4, 5.2.2, encadré 5.3, 5.4.2, 5.5.2, 6.4.3, 6.5.3, 6.8, 6.9, encadré thématique 9, figure RID.5}

C.4.1  Au regard des changements observés et projetés dans l'océan et la cryosphère, beaucoup de nations auront des difficultés à s'adapter, même avec des actions d'atténuation ambitieuses (degré de confiance très élevé). Dans le cas d'un scénario d'émissions élevées, il est projeté qu'un grand nombre de communautés dépendantes de l'océan et de la cryosphère devront faire face à des limites à leur adaptation (limites biophysiques, géographiques, financières, techniques, sociales, politiques et institutionnelles) au cours de la seconde moitié du XXI^e siècle. En comparaison, les scénarios de fortes baisses d'émissions limitent les risques posés par les changements dans l'océan et la cryosphère au cours du siècle actuel et au-delà, et permettent la mise en œuvre de réponses plus efficaces (degré de confiance élevé) tout en offrant des co-bénéfices. Des transformations en profondeur de l'économie et des institutions permettront de construire des trajectoires de développement résilientes face au changement climatique dans le contexte de l'océan et de la cryosphère (degré de confiance élevé). {1.1, 1.4–1.7, encadrés thématiques 1 à 3 du chapitre 1, 2.3.1, 2.4, encadré 3.2, figure 3.4, encadré thématique 7 du chapitre 3, 3.4.3, 4.2.2, 4.2.3, 4.3.4, 4.4.2, 4.4.3, 4.4.6, 5.4.2, 5.5.3, 6.9.2, encadré thématique 9, figure RID.5}

C.4.2  L'intensification de la coopération et de la coordination entre les instances dirigeantes œuvrant à diverses échelles, juridictions, secteurs, domaines politiques et horizons de planification, peut permettre des réponses efficaces à l'élévation du niveau de la mer ainsi qu'aux changements qui touchent l'océan et la cryosphère (degré de confiance élevé). La coopération régionale, y compris par des traités et des conventions, peut soutenir les mesures d'adaptation ; toutefois, la capacité de réponse

aux impacts et aux pertes découlant des changements dans l'océan et la cryosphère par le biais de politiques régionales reste pour l'instant limitée (*degré de confiance élevé*). Les dispositifs institutionnels qui tissent à divers échelons des liens solides avec les communautés locales et autochtones sont bénéfiques pour l'adaptation (*degré de confiance élevé*). La coordination et la complémentarité des politiques nationales et régionales transfrontalières peuvent soutenir les efforts déployés pour faire face aux risques qui pèsent sur la protection et la gestion des ressources, telles l'eau et celles issues de la pêche (*degré de confiance moyen*). {2.3.1, 2.3.2, 2.4, encadré 2.4, 2.5, 3.5.2, 3.5.3, 3.5.4, 4.4.4, 4.4.5, tableau 4.9, 5.5.2, 6.9.2}

- C.4.3  L'expérience acquise à ce jour – pour répondre à l'élévation du niveau de la mer, aux risques hydrologiques dans certaines régions de haute montagne, aux risques posés par le changement climatique dans l'Arctique, etc. – révèle également l'intérêt d'adopter une perspective à long terme lors de la prise de décisions à court terme, en tenant explicitement compte de l'incertitude sur les risques spécifiques à chaque contexte au-delà de 2050 (*degré de confiance élevé*), et de renforcer les capacités de gouvernance pour aborder des risques complexes (*degré de confiance moyen*). {2.3.1, 3.5.4, 4.4.4, 4.4.5, tableau 4.9, 5.5.2, 6.9, figure RID.5}
- C.4.4  Les investissements dans l'éducation et le renforcement des capacités à différents niveaux et échelons facilite l'apprentissage social et renforcent la capacité à long terme de réagir en fonction du contexte pour réduire les risques et améliorer la résilience (*degré de confiance élevé*). Cela inclut spécifiquement l'intégration dans le processus décisionnel de plusieurs types de savoirs ainsi que des informations climatiques régionales, l'association des communautés locales, des peuples autochtones et des parties prenantes pertinentes aux dispositifs de gouvernance adaptative et aux cadres de planification (*degré de confiance moyen*). La promotion d'un socle commun de connaissances vis-à-vis du changement climatique et la mise à profit des types de savoirs locaux, autochtones et scientifiques sont propices à la sensibilisation du public, la compréhension et l'apprentissage social au sujet des spécificités des risques locaux et des réponses possibles pour y faire face (*degré de confiance élevé*). Ce type d'investissement peut permettre de développer, et, dans bien des cas, de transformer les institutions en place et de mettre en place des dispositifs pour une gouvernance éclairée, interactive et adaptative (*degré de confiance élevé*). {1.8.3, 2.3.2, figure 2.7, encadré 2.4, 2.4, 3.5.2, 3.5.4, 4.4.4, 4.4.5, tableau 4.9, 5.5.2, 6.9}
- C.4.5  La surveillance et la prévision locales des changements dans l'océan et la cryosphère éclairent la planification et la mise en œuvre de l'adaptation, et facilitent la prise de décisions robustes quant aux compromis entre les gains à court et long terme (*degré de confiance moyen*). Le suivi continu à long terme, le partage des données, des informations et des connaissances et l'amélioration des prévisions adaptées aux contextes locaux, y compris les systèmes d'alerte précoce pour mieux prévoir les épisodes El Niño/La Niña plus intenses, les cyclones tropicaux et les vagues de chaleur marines, aident à gérer les impacts négatifs des changements de l'océan, comme les pertes pour les pêcheries, et les conséquences néfastes pour la santé humaine, la sécurité alimentaire, l'agriculture, les récifs coralliens, l'aquaculture, les feux de forêt, le tourisme, la conservation, la sécheresse et les inondations (*degré de confiance élevé*). {2.4, 2.5, 3.5.2, 4.4.4, 5.5.2, 6.3.1, 6.3.3, 6.4.3, 6.5.3, 6.9}
- C.4.6  Accorder la priorité aux mesures permettant de remédier à la vulnérabilité sociale et prenant en compte l'équité étaye les efforts pour promouvoir une résilience climatique qui soit équitable et juste et un développement soutenable (*degré de confiance élevé*), et peut être facilité par la création de cadres communautaires sûrs permettant la participation active du public, la délibération et la résolution de conflits (*degré de confiance moyen*). {Encadré 2.4, 4.4.4, 4.4.5, tableau 4.9, figure RID.5}
- C.4.7  Cette évaluation portant sur l'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique révèle les bénéfices d'une atténuation ambitieuse et d'une adaptation efficace pour le développement durable et, à l'inverse, l'escalade des coûts et des risques inhérents à une action tardive. La possibilité de suivre des trajectoires de développement favorisant la résilience face au changement climatique varie selon et parmi les régions océaniques, les zones de haute montagne et les régions terrestres polaires, de même qu'à l'intérieur de celles-ci. Des transformations en profondeur sont nécessaires pour concrétiser cette possibilité. Cela souligne l'urgence de donner la priorité à une action rapide, ambitieuse, concertée et tenace. (*degré de confiance très élevé*) {1.1, 1.8, encadré thématique 1 du chapitre 1, 2.3, 2.4, 3.5, 4.2.1, 4.2.2, 4.3.4, 4.4, tableau 4.9, 5.5, 6.9, encadré thématique 9, figure RID.5}

