



Office for
Climate
Education



L'OCÉAN ET LA CRYOSPHERE FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE **RÉSUMÉ POUR ENSEIGNANTS**

BASÉ SUR LE RAPPORT SPÉCIAL DU GROUPE D'EXPERTS
INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT (GIEC)

Coordinatrice

Lydie Lescarmontier (Office for Climate Education – OCE, France).

Auteurs

Éric Guilyardi (Institut Pierre Simon Laplace, France), Lydie Lescarmontier (OCE, France), Robin Matthews (IPCC Working Group I Technical Support Unit, France), Nathalie Morata (OCE, France), Mariana Rocha (OCE, France), Jenny Schlüpmann (Freie Universität Berlin, Germany), Mathilde Tricoire (OCE, France), David Wilgenbus (OCE, France).

Éditeurs

Simon Klein (OCE, France), Maria A. Martin (Potsdam Institute for Climate Impact Research, Germany), Anwar Bhai Rumjaun (Mauritius Institute of Education, Mauritius), Gabrielle Zimmermann (*La main à la pâte*, France).

Date de publication

Mars 2020, version anglaise. Titre original : « The Ocean and Cryosphere in a changing climate, Summary for teachers ».

Traduction

Simon Klein (OCE, France), Mathilde Tricoire (OCE, France).

Remerciements

Experts ayant fourni un soutien à l'OCE : Juan Carlos Andrade, Laurent Bopp, Badin Borde, Éric Brun, Caroline Côté, Sanny Djohan, Randy Fananta, Serge Janicot, Jean Jouzel, Pierre Léna, Claudia Martinez, Valérie Masson-Delmotte, Cliona Murphy, Natalie Nicetto, Anna Pirani, Jean-Baptiste Sallée, Pramod Kumar Sharma, Aline Tribollet, Martin Vancoppenolle.

Les organisations suivantes pour leur soutien scientifique, opérationnel et financier : Service de Support du groupe de travail I du GIEC, l'Institut Pierre Simon Laplace (IPSL), l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD), la Fondation La main à la pâte, la Fondation Luciole, Météo-France, l'Association Météo et Climat, la Fondation Prince Albert II de Monaco, Siemens Stiftung, Sorbonne Université, UNESCO, ADEME, CASDEN.

Photos

Jake Hawkes (couverture), Quang Nguyen Vinh (p. 7), Riccardo Maccarini (p. 9), Chrissy from Chicago (p. 11), Наталья Коллегова (p. 14), Benjamin Jones (p. 24), Stekirr (p. 25), Bishnu Sarangi (p. 28), Canislupus (p. 29), Daniil Vnouchkov (p. 31), AkshayaPatra Foundation (p. 34).

Design artistique

Mareva Sacoun (mareva.sacoun@gmail.com).

Adaptation en français

Bruno Marie (insularis@me.com).

Licence

Cette ressource (hors photographies) a été publiée sous licence Creative Commons. La ressource peut être partagée gratuitement et adaptée sans utilisation commerciale.



RÉSUMÉ POUR ENSEIGNANTS

L'océan et la cryosphère face au changement climatique

LES CHOIX QUE NOUS FAISONS AUJOURD'HUI SONT DÉTERMINANTS POUR LE FUTUR DE L'OCÉAN ET DE LA CRYOSPHERE (GIEC).

L'humanité dépend de l'océan et de la cryosphère.

L'océan et la cryosphère sont sous pression.

Les changements affectant l'océan et la cryosphère nous touchent toutes et tous.

L'action, c'est pour maintenant.



Table des matières



Introduction.....	6
1. Qu'est-ce que le GIEC et pourquoi faire un résumé du rapport pour les enseignants?.....	8
2. L'océan et la cryosphère.....	10
3. Les changements climatiques actuels et futurs et leurs impacts sur l'océan et la cryosphère.....	14
4. Faire face aux transformations de l'océan et de la cryosphère.....	27
Conclusion.....	31
Glossaire.....	32
Bibliographie.....	34



Introduction

LA RÉVOLUTION INDUSTRIELLE

La révolution industrielle a marqué un tournant sans précédent dans l'histoire de l'humanité et son influence continue à se faire sentir aujourd'hui. Elle a débuté au XVIII^e siècle en Grande Bretagne et correspond à une période de l'histoire au cours de laquelle les avancées scientifiques et technologiques aboutirent à un développement très rapide de l'industrie, des transports et de l'agriculture en Europe et aux États-Unis. La population humaine mondiale a également rapidement augmenté, grâce aux progrès de la médecine et des conditions d'hygiène. Ceci a conduit à plusieurs changements : les gens ont délaissé les campagnes pour les villes, passant ainsi des champs à l'usine, tandis que la traction animale a été progressivement remplacée par l'utilisation de moteurs à explosion, fonctionnant à l'énergie fossile. L'ensemble de ces changements a conduit à une augmentation rapide de la consommation en énergie fossile, et, par conséquent, à une augmentation importante de l'émission de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

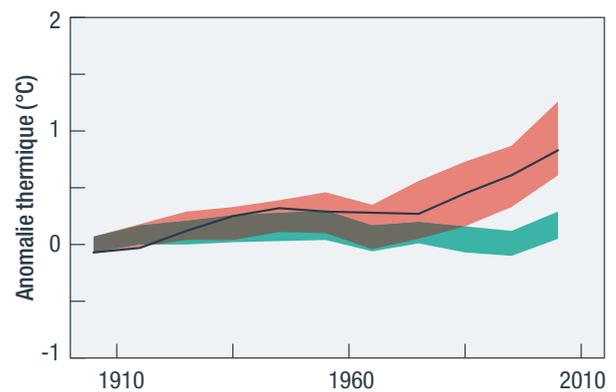
COMMENT MODIFIONS-NOUS LE CLIMAT TERRESTRE ?

Les gaz à effet de serre – principalement la vapeur d'eau (H₂O), le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O) et l'ozone (O₃) – émis dans l'atmosphère par l'activité humaine ont un impact direct sur l'augmentation de la température planétaire via un phénomène appelé « effet de serre ».

Actuellement, les gaz à effet de serre émis par les humains depuis le début de la révolution industrielle (c'est-à-dire depuis la période « préindustrielle ») ont causé un réchauffement planétaire d'environ 1,0°C¹. Si les émissions continuent avec la même intensité, nous allons très certainement atteindre un réchauffement de 1,5°C entre 2030 et 2052, ce qui correspond à une augmentation de 0,5°C par rapport au réchauffement actuel.¹

L'effet de serre démarre avec l'arrivée des radiations solaires (l'énergie du Soleil) qui voyagent à travers l'espace jusqu'à atteindre l'atmosphère terrestre. Une partie de cette énergie est renvoyée dans l'espace et le reste continue de se propager à travers l'atmosphère, et finit par atteindre la surface de la Terre ce qui la réchauffe. Lorsqu'elle est chauffée, la surface terrestre

émet des rayons infrarouges vers l'atmosphère. Une partie de cette chaleur est absorbée par les gaz à effet de serre et est renvoyée vers la surface. Ainsi, les gaz à effet de serre forment une sorte de « couverture » qui emprisonne la chaleur, ce qui augmente la chaleur de la basse atmosphère. En effet, sans ces gaz, la température à la surface de la Terre serait d'environ -18°C, contre une moyenne actuelle de +15°C.



● Modèles n'incluant que les effets naturels
● Modèles incluant les effets naturels et ceux liés à l'activité humaine

FIGURE 1 Comparaison entre le réchauffement observé (courbe noire) et deux types de simulations. En vert, la simulation prend seulement en compte l'influence des phénomènes naturels sur la température. En rouge, la simulation tient compte à la fois de l'influence des phénomènes naturels mais aussi de celle des effets anthropiques. La tendance observée rejoint la seconde simulation, lorsque les effets anthropiques (c'est-à-dire les émissions de gaz à effet de serre dus à l'activité humaine) sont ajoutés.

Adapté du 5^e rapport du GIEC depuis Fig. SPM.06.
<https://archive.ipcc.ch/report/graphics/index.php?t=Assessment%20Reports&r=AR5%20-%20WG1&f=SPM>

ACTIVITÉ DE CLASSE # ACTIVITÉS

- Faites une recherche Internet pour trouver un graphique montrant que la température moyenne de la surface terrestre a augmenté d'environ 1°C depuis la révolution industrielle. Assurez-vous que le graphique provient d'une source fiable (comme le GIEC, la NASA, etc.).
- À partir de la figure 1, expliquez en quoi les activités humaines sont responsables du changement climatique.
- Nommez d'autres gaz à effet de serre à part le CO₂.
- Expliquez comment les principaux gaz à effet de serre sont produits.

¹ Rapport Spécial du GIEC : « Global Warming of 1,5°C », <http://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/>, paragraphe A.1

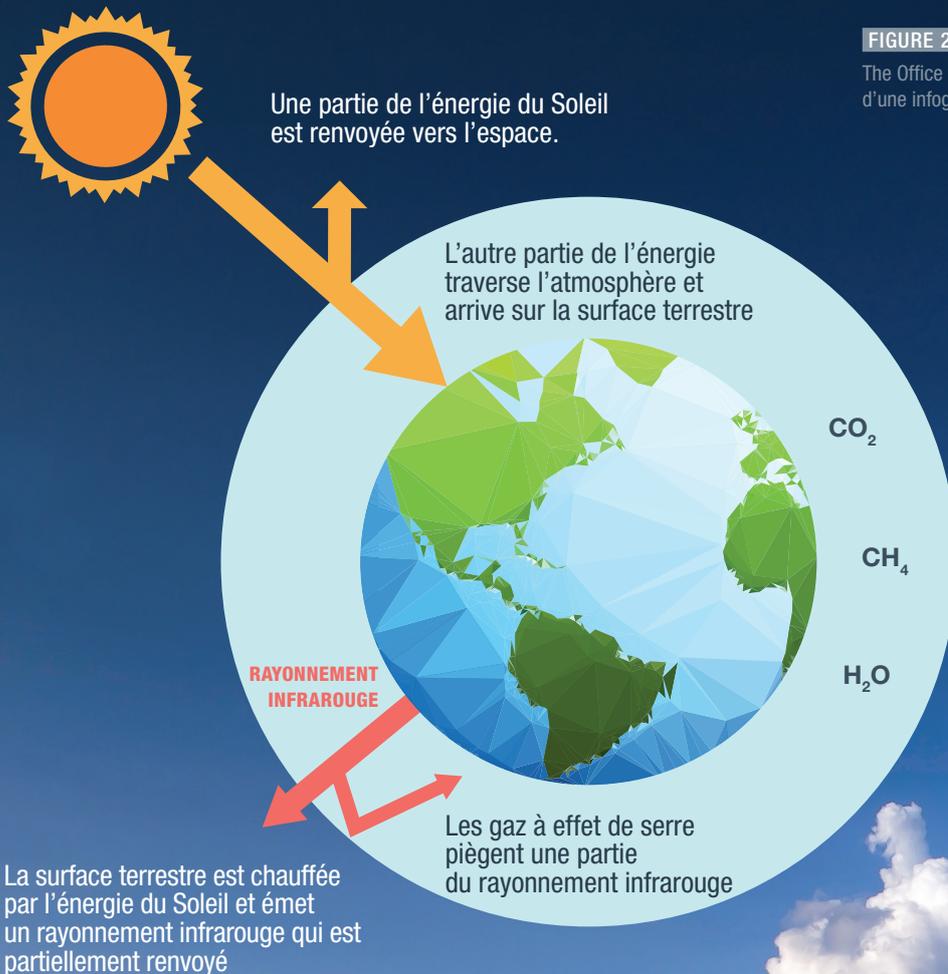


FIGURE 2 L'effet de serre.

The Office for Climate Education, adapté d'une infographie de Lannis.

1. Qu'est-ce que le GIEC et pourquoi faire un résumé du rapport pour les enseignants ?

Le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC ou IPCC en anglais) est une instance de l'ONU qui a été fondée en 1988 et qui synthétise les avancées des connaissances scientifiques relatives au **changement climatique**. Le GIEC étudie l'état actuel de ces connaissances, ainsi que les conséquences du changement climatique pour la planète, les options disponibles pour s'adapter à ces changements, et enfin les choix possibles pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Les rapports du GIEC présentent des projections du climat futur basées sur différents scénarii d'émissions de gaz à effet de serre à l'échelle mondiale (croissance continue, réduction rapide, etc.), et les risques correspondant pour les humains et pour la planète.

Bien qu'ils mettent en avant différentes options futures et leurs implications, ces rapports ne dictent pas aux politiques les actions à mener. Les rapports du GIEC sont rédigés par des centaines de scientifiques travaillant dans le monde entier et sont formellement adoptés par les gouvernements de 195 pays membres. Le GIEC rédige ses rapports à partir de littérature scientifique existante et actualisée, il ne conduit pas ses propres études scientifiques.

Ce groupe produit des rapports réguliers, soit sur des sujets spécifiques (« rapports spéciaux »), soit sur des thèmes généraux. **Chaque rapport comprend un résumé pour décideurs**. Depuis qu'il est dans son sixième cycle d'étude, le GIEC a déjà publié trois rapports spéciaux :

- Réchauffement climatique à 1,5°C – octobre 2018.
- Changement climatique et terres émergées – août 2019.
- L'océan et la cryosphère face au changement climatique – septembre 2019.

Ces rapports sont rédigés à l'attention des décideurs et ne sont pas adaptés aux besoins des enseignants, malgré la reconnaissance, dans les accords de Paris (Article 12, COP21, 2015), de **l'importance des systèmes éducatifs dans la préparation des jeunes générations à la transition écologique**. Afin de combler ce manque, l'Office for Climate Education (OCE) a débuté, en 2018, la rédaction de **Résumés pour enseignants** à partir des différents rapports du GIEC. Ce document est un résumé pour enseignant du Rapport Spécial L'océan et la cryosphère face au changement climatique, accompagné d'un guide d'activités pédagogiques qui peuvent être réalisées clés en main en classe².

² Un autre résumé pour enseignants, à partir du Rapport Spécial du GIEC Un réchauffement climatique à 1,5°C, est disponible sur le site web de l'OCE (www.oce.global) en Anglais, Français, Espagnol et Allemand.

COMMENT FONCTIONNE LE GIEC ?

Le résumé destiné aux décideurs est approuvé, ce qui signifie que chaque ligne a été validée par tous les États membres - y compris les États-Unis et l'Arabie Saoudite. Des négociations ont lieu quant à la manière dont le contenu doit être présenté dans le résumé, mais en aucun cas il ne peut aller à l'encontre de ce qui est dit dans le rapport principal. Cette approbation donne au résumé un poids politique important.

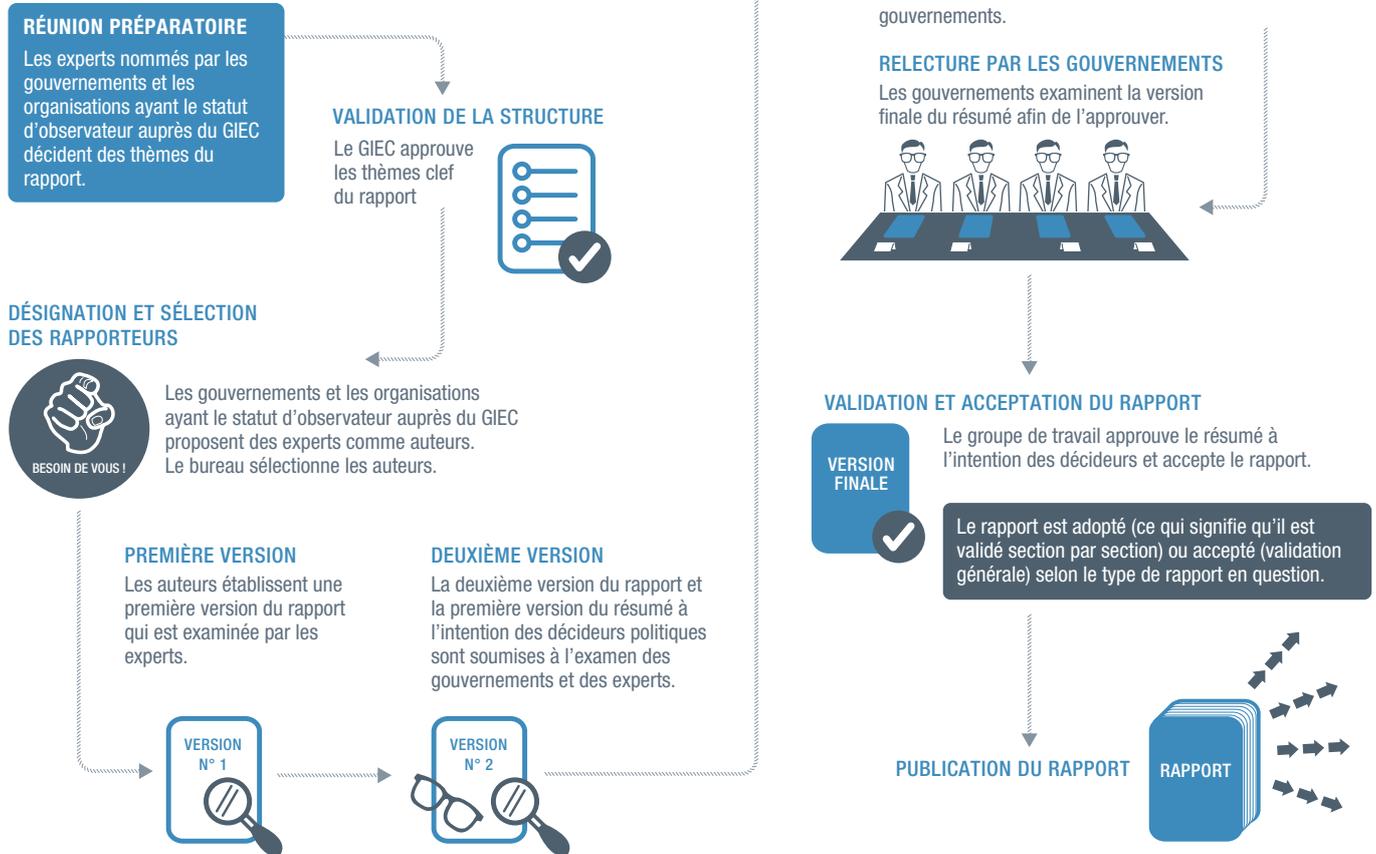


FIGURE 3 Le fonctionnement du GIEC.

Adaptée d'une infographie créée par Citoyens pour le climat – <https://citoyenspourleclimat.org/2019/03/24/informations/>



2. L'océan et la cryosphère

La géographie de l'océan et de la cryosphère

L'océan couvre environ 70 % de la surface du globe et contient approximativement 97 % de l'eau sur Terre. D'aucuns suggèrent que l'on pourrait qualifier notre planète de « Planète Bleue ». L'océan planétaire comporte cinq océans majeurs : l'océan Arctique, l'océan Antarctique, l'océan Atlantique, l'océan Pacifique et l'océan Indien. Bien que depuis sa surface, l'océan semble homogène, sa température, sa salinité, sa couleur et ses écosystèmes diffèrent d'un lieu à l'autre.

La cryosphère, qui regroupe toute l'eau existant sous forme solide (neige ou glace), recouvre, elle aussi, une large partie de la Terre : en effet, **les calottes glaciaires de l'Antarctique et du Groenland occupent, à elles seules, à peu près 3 % de la surface terrestre. À cela s'ajoutent les quelques 200 000 glaciers dans le monde**, avec, notamment, les glaciers de haute altitude dans les régions tropicales (où les températures sont basses, malgré un climat tropical).

Moins connu, le pergélisol, désignant le sol gelé en permanence, couvre environ un quart des terres de l'hémisphère nord. L'étendue de certaines parties de la cryosphère varie de manière saisonnière. Par exemple, en hiver, la neige recouvre environ un tiers des terres émergées de l'hémisphère nord (on parle alors de neige saisonnière), alors que les banquises arctique et antarctique s'étendent chaque hiver et se réduisent chaque été.

Les humains et la faune sauvage vivent en harmonie avec l'océan et la cryosphère. De nombreuses métropoles sont situées sur les côtes et en 2010, environ **28 % de la population humaine mondiale vivait à moins de 100 km des côtes et moins de 100 m au-dessus du niveau de la mer**. Environ 10 % de la population mondiale vit dans les régions montagneuses, et 4 millions de personnes vivent en Arctique. L'Antarctique, en revanche, est protégé par un traité international et ne reçoit que des scientifiques, explorateurs et touristes ; il n'y a aucun résident permanent³.

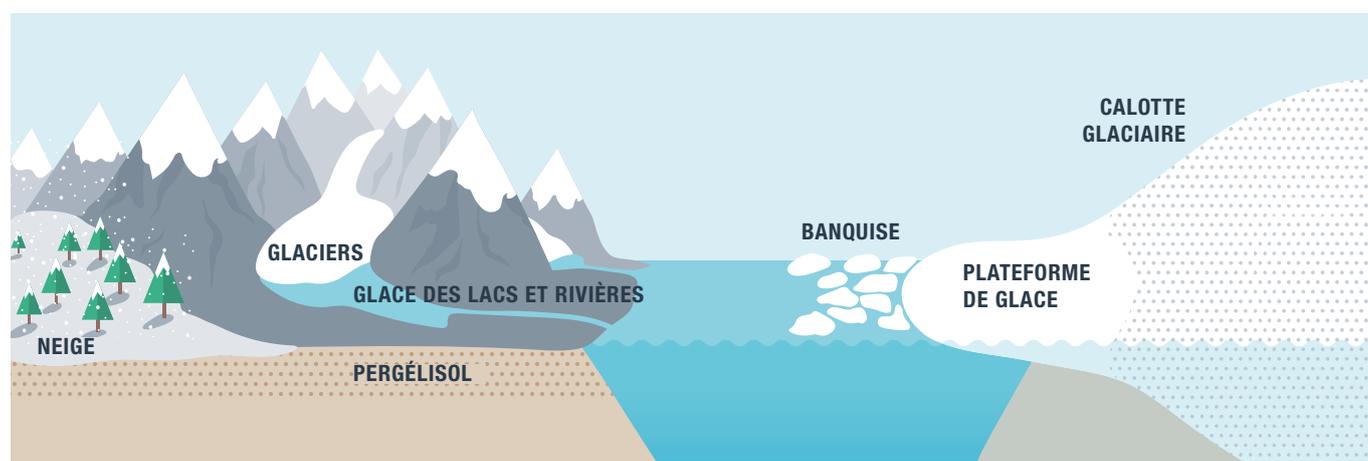


FIGURE 4 Les différentes parties de la cryosphère.

Adapté de la Fig. 4.25 des rapports du GIEC WG1 of the AR5 (2013) – https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/fig4-25_errata-1.jpg

3 https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/12/SROCC_FullReport_FINAL.pdf, Startup Box, p. 5

ACTIVITÉS DE CLASSE # QUESTIONS

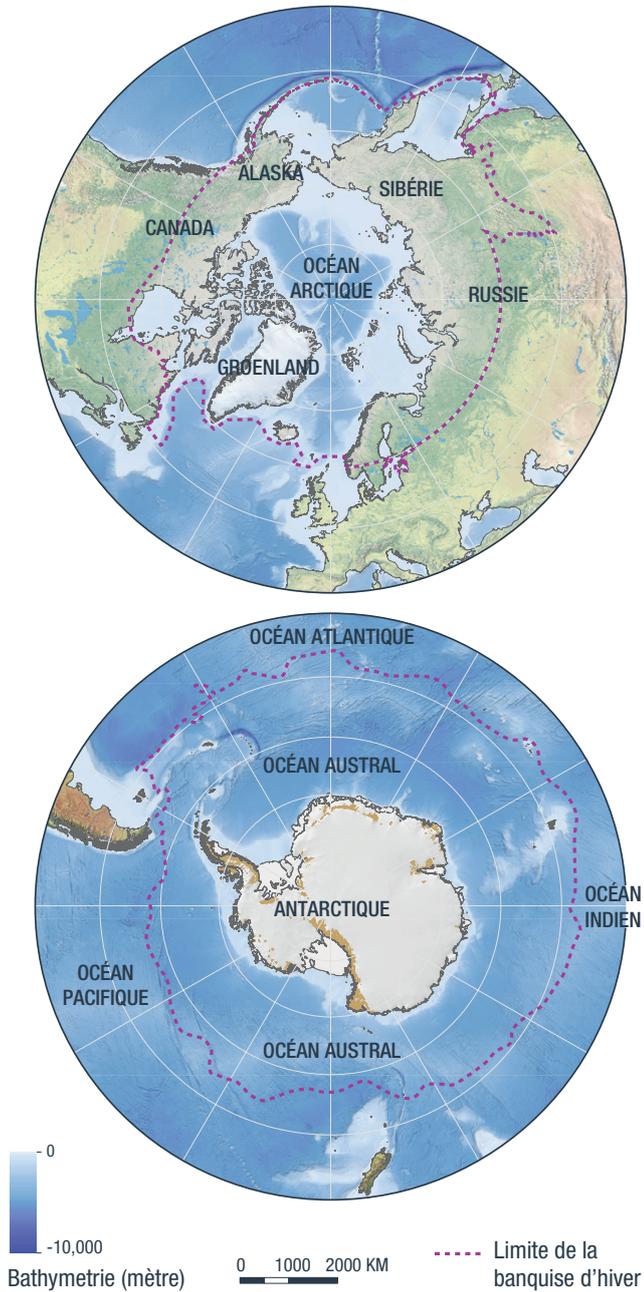
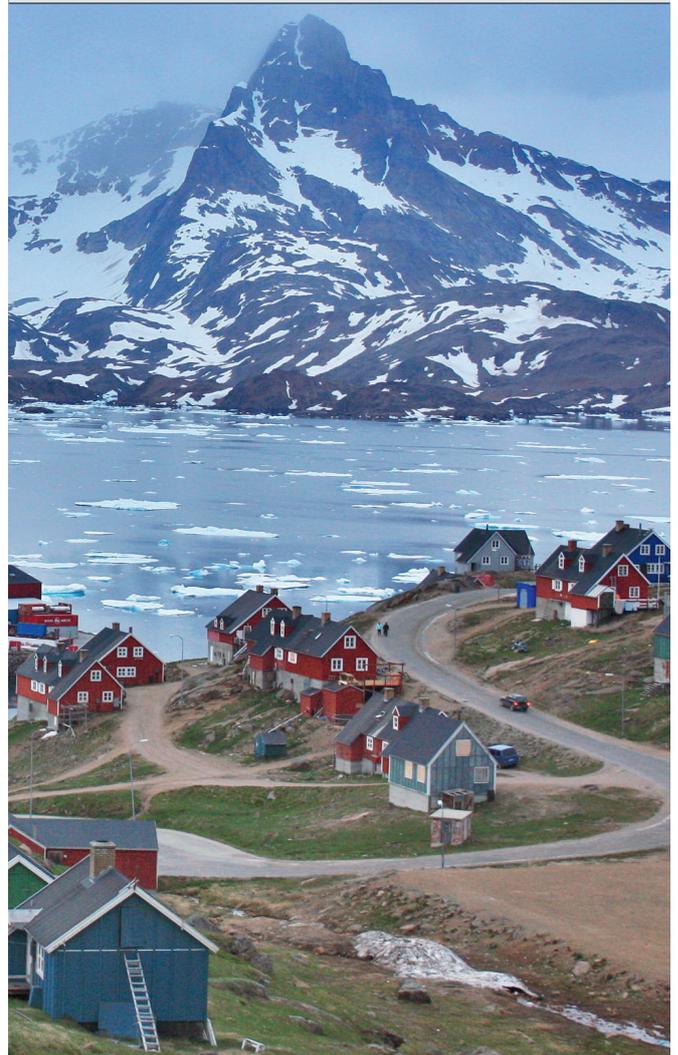


FIGURE 5 Les régions polaires arctiques (en haut) et antarctiques (en bas). Les lignes pointillées représentent les limites approximatives des régions polaires. On peut noter que l'Arctique est composé d'un océan entouré de terre tandis que c'est l'inverse pour l'Antarctique: un continent entouré d'eau. L'Antarctique est presque entièrement couvert de glace (la calotte glaciaire antarctique), son équivalent en Arctique est la calotte du Groenland.

Adapté du rapport SROCC, Chapitre 3, IPCC 2019 – http://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/07_SROCC_Ch03_FINAL.pdf

- Sur une mappemonde, localisez ces différentes régions: le pôle Nord, le pôle Sud, l'océan Atlantique, l'océan Indien, la banquise arctique, la banquise antarctique, la calotte glaciaire du Groenland, la calotte glaciaire antarctique. Quelles sont celles qui font partie de l'océan et celles qui appartiennent à la cryosphère?
- Faites des recherches sur les étendues géographiques de ces régions et comparez-les à l'étendue des terres émergées.
- Qu'est-ce que la cryosphère? Retrouvez l'étymologie de ce mot.
- Qu'est-ce que le pergélisol? Comment se forme-t-il?
- Pouvez-vous nommer les différents types de glaces continentales?
- Faites des recherches pour savoir comment la banquise se forme. Est-elle plus ou moins salée que l'eau de mer? Quelle est la quantité de sel (autrement appelée salinité) des calottes glaciaires antarctiques ou du Groenland?
- Expliquez pourquoi notre planète est parfois appelée la « planète bleue ».



L'importance de l'océan et la cryosphère pour l'espèce humaine

Les ressources et les services issus de l'océan et de la cryosphère peuvent être séparés en différentes **catégories, selon les contributions offertes par la nature à l'espèce humaine** (ou « services écosystémiques ») : les services de régulation, d'approvisionnement, de soutien ou encore les services culturels et spirituels.

LES SERVICES DE RÉGULATION

L'océan et la cryosphère participent à la régulation du climat mondial : ils interagissent avec d'autres composantes du système climatique, telles que les terres émergées ou l'atmosphère, via des échanges d'eau, d'énergie et de carbone. On peut citer comme exemple de service de régulation les barrières de corail et les mangroves qui protègent les côtes.

LES SERVICES D'APPROVISIONNEMENT

L'océan et la cryosphère nous fournissent de la nourriture (poissons, algues, fruits de mer, sel), de l'eau et de l'énergie. La pêche constitue un apport alimentaire mondial de premier ordre : les poissons et les fruits de mer fournissent plus de 50 % des protéines animales consommées dans les pays⁴ en voie de développement. L'océan fournit aussi de l'électricité à partir d'énergie renouvelable, comme les forces marée- ou houlo- (utilisant la force des vagues) motrices. On extrait également des fonds marins des énergies fossiles (non renouvelables) telles que du pétrole, du gaz ou des ressources minérales.

Les glaciers de montagne alimentent des rivières dont l'eau est utilisée pour boire, irriguer les champs ou pour fournir de l'énergie hydroélectrique. Environ 800 millions de personnes⁵ sont partiellement ou entièrement dépendantes des glaciers de l'Himalaya. L'océan et la cryosphère représentent également un réseau de transport pour les populations humaines : ainsi, en hiver, les rivières et les lacs gelés de l'Arctique constituent des voies de circulation importantes, et la grande majorité des marchandises sont transportées par des cargos porte-conteneurs qui voyagent sur tous les océans.

LES SERVICES CULTURELS ET SPIRITUELS

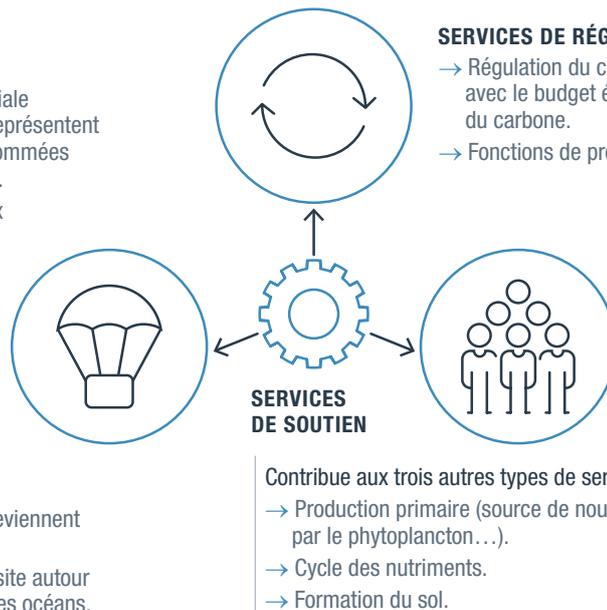
Les services culturels et spirituels regroupent la pêche récréative, les loisirs, les traditions et cultures locales ainsi que les aspects religieux. Dans de nombreuses régions du monde, le tourisme dépend de l'océan et de la cryosphère, comme c'est le cas pour les stations de ski en montagne. Dans les régions tropicales, l'économie de nombreuses îles dépend des activités balnéaires ou de la plongée.

LES SERVICES DE SOUTIEN

Les services de soutien contribuent au fonctionnement des autres types de services évoqués plus haut. Ils incluent, par exemple, la production primaire comme celle assurée par le phytoplancton océanique à la base de nombreuses chaînes alimentaires et donc du fonctionnement de divers écosystèmes marins.

SERVICES D'APPROVISIONNEMENT

- Nourriture, eau et énergie.
- La pêche est une source alimentaire mondiale essentielle : les poissons et les crustacés représentent plus de 50 % des protéines animales consommées dans de nombreux pays en développement.
- Les glaciers alimentent les bassins fluviaux en eau douce utilisée pour l'irrigation et l'hydroélectricité - environ 800 millions de personnes dépendent en partie du ruissellement des seuls glaciers himalayens.
- L'océan fournit de l'énergie renouvelable sous forme d'énergie des vagues et des marées, ainsi que du pétrole, du gaz et des minéraux provenant des fonds marins.
- Transport.
- En hiver, les rivières gelées de l'Arctique deviennent des réseaux de transport.
- La grande majorité des marchandises transite autour de la planète à bord de navires traversant les océans.



SERVICES DE RÉGULATION

- Régulation du climat mondial par des interactions avec le budget énergétique de la Terre et le cycle du carbone.
- Fonctions de protection (protection des côtes...).

SERVICES CULTURELS

- Emplois dans le secteur de la pêche et des loisirs.
- Cultures et traditions locales.
- Spiritualité et religion.

FIGURE 6 Différents types de services écosystémiques.

4 <http://www.fao.org/fishery/topic/16603/en>

5 <https://www.aaas.org/news/spy-satellites-reveal-himalayan-ice-loss-has-doubled-2000>

La biodiversité et les écosystèmes

La biodiversité rassemble la diversité des organismes vivants et leurs relations d'interdépendance. Elle participe, à l'instar d'un service de soutien, au fonctionnement des écosystèmes: ainsi, **les écosystèmes avec une forte diversité biologique sont plus résilients au changement climatique**⁶.

L'océan concentre une grande diversité biologique, avec des « points chauds » de biodiversité, qui correspondent à des régions où la diversité et la densité d'espèces, principalement endémiques, sont importantes: c'est par exemple le cas des barrières de corail. Au sommet de la chaîne alimentaire initiée par le phytoplancton et suivie par le zooplancton, on trouve les requins et les mammifères marins, tels que les phoques et les baleines, qui, pour certains, migrent sur de très longues distances dans l'océan. Si la diversité des espèces participe au bon fonctionnement des écosystèmes, chaque écosystème contient des espèces clés qui lui sont spécifiques. Alors que l'on recense des milliers de nouvelles espèces marines chaque année⁷, notre connaissance du milieu marin reste limitée, et les biologistes marins estiment que des centaines de milliers d'espèces nous sont encore inconnues.

6 Epple and Dunning (2014). Ecosystem resilience to climate change: What is it and how can it be addressed in the context of climate change adaptation? UNEP - WCMC.

7 World Register of Marine Species – <http://www.marinespecies.org/index.php>

FIGURE 7 Exemples de différents écosystèmes marins et côtiers dans le monde.



ACTIVITÉ DE CLASSE # ACTIVITÉS

La surpêche est une menace pour la biodiversité marine. La production de poissons d'élevage, appelée aquaculture, pourrait être une alternative. À ce jour, la consommation de poisson est issue, à parts égales, de l'aquaculture et de poissons sauvages pêchés dans l'océan. Dans les pays développés, on consomme principalement du thon et du saumon. Ces deux poissons sont carnivores et cela pose un problème majeur: un saumon d'élevage aura mangé jusqu'à dix fois son poids en harengs lorsqu'il sera consommé par un humain (10 kg de harengs sont nécessaires pour produire 1 kg de saumon).

- Calculez la quantité de hareng nécessaire pour élever 800 000 tonnes de saumon, soit l'équivalent du record de capture de morue en 1968.
- Si un être humain adulte mange en moyenne 100 g de saumon chaque jour, combien d'adultes peut-on nourrir avec 800 000 tonnes de saumon?
- Combien d'adultes pourraient être nourris avec les harengs qui ont été utilisés pour nourrir les saumons?
- Pensez-vous que l'aquaculture soit une solution viable pour protéger la biodiversité marine (argumentez)?

L'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (IUCN) recense le nombre d'espèces menacées dans le monde. Elle actualise fréquemment sa Liste Rouge des espèces menacées.

- Pouvez-vous renseigner les diverses catégories de la liste rouge de l'IUCN: de « éteinte » à « préoccupation mineure ».
- Rendez-vous sur le site web de l'IUCN qui recense différentes espèces en fonction de leur niveau de vulnérabilité, en France métropolitaine et en Outre-Mer. Choisissez une espèce vivant dans l'océan et cherchez des informations à son sujet afin de la présenter à vos camarades. Insistez sur son importance vis-à-vis des autres espèces océaniques.

3. Les changements climatiques actuels et futurs et leurs impacts sur l'océan et la cryosphère

Changements physiques

Ce rapport spécial traite des impacts du changement climatique sur l'océan, les côtes, les régions polaires et montagneuses ainsi que sur les communautés humaines qui en dépendent. Il s'intéresse à la vulnérabilité des écosystèmes et des humains face aux changements climatiques et évalue leurs capacités d'adaptation. Des options permettant de suivre des trajectoires de développement résilientes dans le contexte du changement climatique y sont également présentées.

Les projections climatiques futures analysées dans ce rapport comportent, entre autres, deux scénarii: le **RCP2.6** et le **RCP8.5** – RCP signifiant Representation Concentration Pathway (trajectoire représentative de concentration – en CO₂). Le RCP2.6 suppose que les émissions de gaz à effet de serre vont décliner en réponse à des mesures fortes prises par les sociétés humaines pour les réduire afin que le réchauffement climatique ne dépasse pas les 2,5°C en moyenne sur la planète d'ici à 2100 (pour référence, nous avons atteint, en 2018, 1°C d'augmentation de la température moyenne sur Terre par rapport à la moyenne des températures durant la période préindustrielle).

Le RCP8.5 fait l'hypothèse, quant à lui, que les gaz à effet de serre vont augmenter rapidement durant le XXI^e siècle, ce qui aboutirait à une augmentation de température d'environ 4°C d'ici 2100. Dans la suite du texte, nous nous référerons aux scénarios RCP2.6 et RCP8.5 par, respectivement, le scénario à basses émissions et le scénario à hautes émissions.

Température moyenne globale de l'air en surface

Changement relatif à 1986–2005

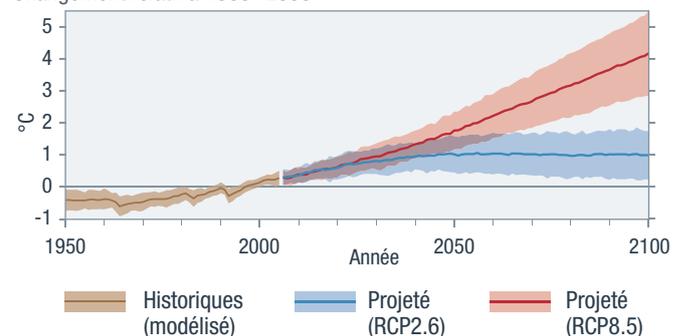


FIGURE 9 Évolution de la température planétaire moyenne de l'air de surface et changement de température prévu dans les deux scénarios d'émission RCP2.6 et RCP8.5.

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/IPCC-SROCC-TS_3.jpg



FONTE DE LA CRYOSPHERE

LA CRYOSPHERE CONTINENTALE

Actuellement, l'augmentation de la température terrestre a comme conséquence la fonte des calottes et des glaciers du monde entier. Cette fonte se calcule en masse d'eau perdue, exprimée en gigatonnes (Gt), une Gt de glace équivalant à 1 km³ d'eau liquide (soit un cube d'eau qui mesurerait 1 000 m de côté!).

En Antarctique, la perte de masse est principalement liée à l'amincissement et au retrait des glaciers, ceux-ci se réchauffant au contact d'une eau de mer plus chaude arrivant par-dessous (particulièrement dans l'Ouest de l'Antarctique). Au Groenland, où la température atmosphérique est plus élevée qu'en Antarctique, la perte de masse est principalement due à la fonte de la glace de surface, qui commence dès lors que la température atmosphérique dépasse 0°C.

De 2006 à 2015, la glace du Groenland a fondu à un rythme de 278 Gt/an; en Antarctique, le rythme était de 155 Gt/an. Pour leur part, les glaciers du monde entier ont fondu à un rythme de 220 Gt par an. La fonte de ces glaciers et calottes glaciaires contribue à l'augmentation du niveau de la mer à un rythme de 0,77 mm/an pour le Groenland, 0,43 mm/an pour l'Antarctique et 0,61 mm/an pour les glaciers.

Le **RCP2.6** projette qu'entre 2015 et 2100 (on ne mentionne pas les estimations de confiance ici) :

- Les glaciers perdraient 18 % de leur masse, entraînant une élévation du niveau marin de 9,4 cm;
- La fonte de la calotte du Groenland contribuerait à une élévation du niveau marin de 7 cm;
- La fonte de la calotte antarctique contribuerait à une élévation du niveau marin de 4 cm.

Le **RCP8.5** projette qu'entre 2015 et 2100 :

- Les glaciers perdraient 36 % de leur masse, entraînant une élévation du niveau marin de 20 cm;
- La fonte de la calotte du Groenland contribuerait à une élévation du niveau marin de 15 cm;
- La fonte de la calotte antarctique contribuerait à une élévation du niveau marin de 12 cm.

Le scénario RCP8.5 projette que les **glaciers de montagnes** (en Europe centrale, Asie du nord, Scandinavie, Andes tropicales, Indonésie, Nouvelle-Zélande) perdraient 80 % de leur masse d'ici 2100, et que de nombreux glaciers disparaîtraient complètement. La fonte des glaciers a deux conséquences successives: tout d'abord une augmentation du débit des rivières alimentées par les glaciers, suivie d'un déclin de ce débit. Il est attendu

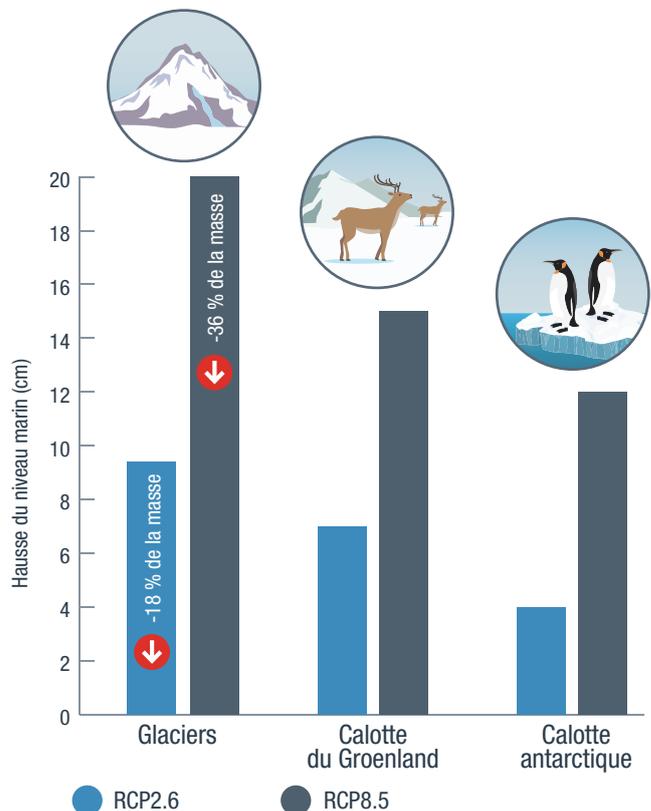


FIGURE 10 Impacts de la fonte des réservoirs cryosphériques sur l'élévation du niveau de la mer selon le scénario projeté.

que l'augmentation du débit des rivières culmine avant 2100, bien que les régions abritant de petits glaciers aient déjà atteint ce pic.

Comme autres conséquences du réchauffement dans les régions montagneuses, on peut citer l'augmentation des inondations autour des lacs de montagne, les glissements de terrains et les avalanches. La hausse de la fréquence des alternances de gel et de dégel dans les régions polaires et la fonte du pergélisol ont pour conséquence une déstabilisation du sol, qui s'effondre alors plus facilement.

Chaque année, la **couverture neigeuse** de la planète diminue en épaisseur, en étendue et en durée. En Arctique, la surface couverte par la neige en juin a diminué d'environ 13 % tous les dix ans depuis 1967. La réduction de la couverture neigeuse dépend de l'altitude: plus l'altitude est élevée, plus la température est basse ce qui limite le déclin de la couverture neigeuse.

Dans le scénario RCP2.6, la surface des neiges arctiques d'automne et de printemps diminuerait de 5 à 10 % par rapport aux observations des années 1990 avant de se stabiliser vers 2040. Dans le scénario RCP8.5, cette surface serait réduite de 20 à 35 % avant 2100.

Dans les régions montagneuses, la surface moyenne des neiges de basse altitude déclinerait de 10 à 40 % (RCP2.6) et de 50 à 90 % (RCP8.5) d'ici à 2090 par rapport à celle des années 1990.

La température du **pergélisol** (c'est-à-dire le sol qui reste gelé toute l'année) a augmenté à des niveaux encore jamais atteints lors des records observés depuis les années 1980. Lorsqu'il atteint une température de 0°C, ce sol gelé se met à fondre. Le principal problème de cette fonte est le relargage dans l'atmosphère du dioxyde de carbone et du méthane qui étaient jusqu'alors emprisonnés dans le sol gelé. Le pergélisol se trouve dans l'hémisphère nord (principalement en Sibérie, au Canada, en Alaska et au Groenland), mais aussi dans des régions montagneuses. Il recouvre un cinquième des surfaces continentales.

À l'heure actuelle, entre 1460 et 1600 Gt de carbone organique sont stockées dans le pergélisol, ce qui représente environ le double de la quantité de carbone dans l'atmosphère. Il est actuellement débattu de savoir si son réchauffement pourrait être responsable de l'accroissement de la quantité de gaz à effet de serre dans l'atmosphère ou non. La fonte du pergélisol et le retrait des glaciers ont causé une augmentation de l'instabilité des sols. Le niveau supérieur du pergélisol (soit le sol gelé sur une profondeur de 3-4 m) diminue dans les deux scénarios : cette partie se rétracterait d'une proportion de 2 à 66 % dans le cas du scénario RCP2.6 et entre 30 et 99 % pour le RCP8.5. Des dizaines à des centaines de milliards de tonnes de carbone issues de la fonte du permafrost pourraient être relâchées dans l'atmosphère d'ici 2100 (RCP8.5), avec un fort potentiel d'aggravation du changement climatique. Il est néanmoins intéressant de noter que l'augmentation de la végétation sur les terres dégélées du pergélisol pourrait contrebalancer partiellement ces émissions de carbone.



FIGURE 11 Fonte du pergélisol en Alaska.

NASA/JPL-Caltech - <https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=4376>

LA BANQUISE ARCTIQUE

La surface de la banquise arctique a diminué. Elle est à son minimum en septembre, à la fin de l'été, avant de s'étendre et d'atteindre son maximum au mois de mars. Sur les 40 dernières années, la surface minimale de septembre a diminué d'environ 12,8 % tous les dix ans ce qui équivaut à environ 40 % de la surface totale. Ces changements n'ont sans doute pas été observés depuis au moins un millier d'années. Des hivers très chauds comme en 2016, 2017 et 2018 durant lesquels les températures de surface au centre de l'Arctique ont atteint 6°C de plus que la normale, ont vu la glace atteindre des minimums alors qu'en cette période de l'année la banquise devrait être à son maximum. À cause des fontes saisonnières successives, il y a moins de banquise qui reste d'une saison à l'autre entraînant la diminution d'extension annuelle observée depuis 40 ans. Contrairement à la fonte des glaciers et des calottes glaciaires, la fonte de la banquise ne contribue pas à l'élévation du niveau marin, car la banquise se trouve déjà dans l'eau et flotte sur l'océan (comme des glaçons qui fondent dans un verre).

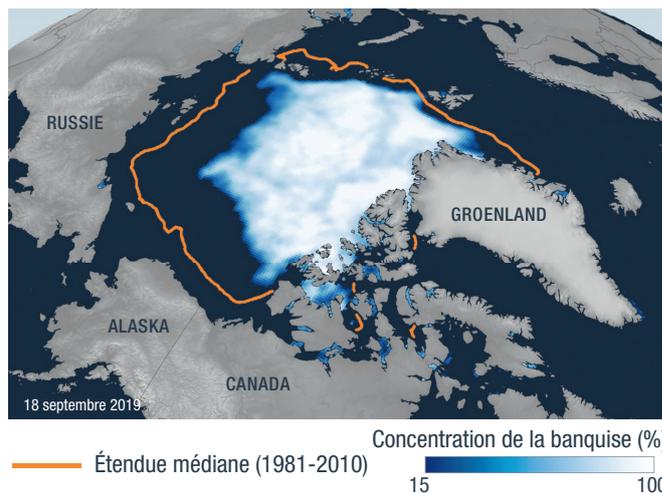


FIGURE 12 Évolution de la concentration de la banquise Antarctique.

NOAA, Data NSIDC - https://www.climate.gov/sites/default/files/ClimateDashboard_ArcticSeaIce_minimum_2019_map_large.jpg

La perte de la banquise d'été et la diminution de la neige de printemps sur les continents ont amplifié le réchauffement de l'Arctique via de nombreux phénomènes, tels que les changements d'humidité ou d'albédo. La température de l'air dans cette région a augmenté deux fois plus vite que la température globale de la planète depuis une vingtaine d'années et les changements en Arctique pourront avoir des conséquences sur la météorologie des latitudes moyennes.

Qu'en est-il du futur ? Dans les deux scénarii, la banquise continuera de fondre jusqu'en 2050. Si le réchauffement est stabilisé à 2°C, l'Arctique pourrait être libre de glace en septembre jusqu'à une fois tous les trois ans.

EN RÉSUMÉ

On observe actuellement la fonte des glaciers et des calottes polaires, le dégel du permafrost, et la diminution de la couverture neigeuse et de la banquise arctique. Ce phénomène est amené à se poursuivre pendant encore au moins 20 ans. La masse de calotte perdue au Groenland et en Antarctique continuera d'augmenter tout au long du XXI^e siècle. L'étendue et l'âge de la banquise arctique sont en baisse ce qui a pour effet de contribuer au réchauffement de la région. Même si les émissions de gaz à effet de serre diminuent drastiquement, la cryosphère continuera d'évoluer jusqu'en 2050, modifiant le débit des rivières et augmentant les dangers en montagne, les avalanches ou les glissements de terrain.

ACTIVITÉ DE CLASSE # ACTIVITÉ

Il y a de la glace qui flotte sur l'océan (la banquise) et de la glace sur les continents (les glaciers et les calottes glaciaires). Avec le changement climatique, les deux types de glace fondent.

— Expliquer où va l'eau issue de ces fontes.

Réponse : L'eau de fonte des calottes et de la banquise rejoint directement l'océan ; l'eau des glaciers peut d'abord alimenter les rivières, les nappes phréatiques, les lacs, et finalement alimenter l'océan.

— Expliquer pourquoi l'eau de fonte de la banquise et celle des glaces continentales contribuent différemment à l'augmentation du niveau marin. Élaborer une expérience pour montrer cette différence.

LA TEMPÉRATURE DE L'OCÉAN ET LA SÉQUESTRATION DU CARBONE

Depuis 1970, l'océan a absorbé et stocké environ 93 % de la chaleur excédentaire issue du réchauffement climatique, contribuant à réguler le système climatique. Depuis 1993, le réchauffement de l'océan, et, ainsi, la chaleur absorbée, a plus que doublé. La température océanique a augmenté plus rapidement en surface, où a lieu la majorité de l'absorption de la chaleur, mais les eaux profondes se réchauffent aussi. Le réchauffement des 2 premiers kilomètres de l'océan a principalement eu lieu autour de l'Antarctique, région qui a absorbé entre 35 et 43 % de la totalité de la chaleur depuis les 50 dernières années.

Conséquence de ce réchauffement, les épisodes de chaleur extrême qui touchent la surface de l'océan, qualifiées de vagues de chaleur marines, ont doublé en fréquence et sont devenues plus longues, plus intenses et plus étendues depuis 40 ans. On s'attend à voir des canicules marines arriver de manière plus fréquente (20 fois plus fréquentes d'après le scénario RCP2.6 et 50 fois plus fréquentes à la fin du XXI^e siècle dans le scénario RCP8.5). Le réchauffement des eaux de surface ainsi que l'augmentation d'apport en d'eau douce issue de la fonte des calottes glaciaires et des glaciers rendent les eaux de surface de moins en moins denses par rapport aux eaux profondes. Cette augmentation du contraste de densité entre les eaux de surface et des profondeurs modifie le mélange entre les couches de l'océan, perturbant les échanges de dioxygène et de nutriments. On parle de stratification pour désigner l'absence de mélange entre les différentes couches. D'ici 2090, que ce soit pour le RCP2.6 ou le RCP8.5, les projections montrent un déclin du taux d'oxygénation et de nutriments dans l'océan.

L'océan, important puits de carbone, a absorbé entre 20 et 30 % du CO₂ émis dans l'atmosphère par les activités humaines depuis 1980.

Lorsque le CO₂ se dissout dans l'eau de surface océanique, il produit de l'acide carbonique, ce qui augmente l'acidité de l'eau de mer en abaissant son pH. Ce processus se nomme l'acidification de l'océan. Depuis la fin des années 1980, le pH de surface a diminué d'environ 0,02 unités par décennie. Cela peut sembler peu, mais de petits changements peuvent avoir d'importantes répercussions sur les écosystèmes, comme nous le verrons dans la section suivante. Le degré d'acidification des océans est directement lié à la quantité de CO₂ libérée dans l'atmosphère. Dans le scénario RCP8.5, l'absorption continue du CO₂ atmosphérique par l'océan entraînerait une baisse supplémentaire du pH de l'océan de 0,3 d'ici la fin du siècle.

Où va le réchauffement ?

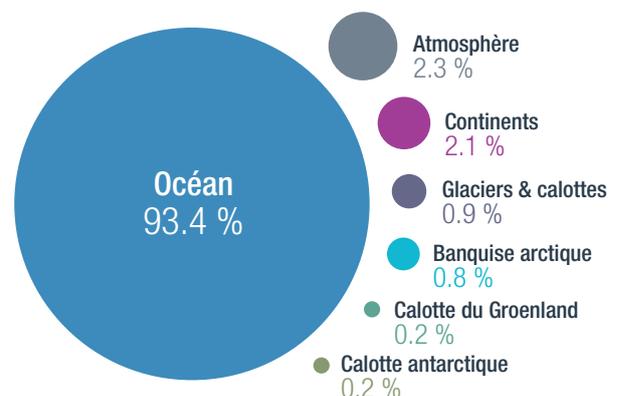


FIGURE 13 Répartition de l'excès de chaleur lié au réchauffement. <https://skepticalscience.com/Infographic-on-where-global-warming-is-going.html>

EN RÉSUMÉ

L'océan se réchauffe sur toute sa profondeur et a absorbé plus de 90 % de la chaleur excédentaire générée par le réchauffement climatique. La surface de l'océan et l'océan Austral ont absorbé la plus grande partie de cette chaleur. Les vagues de chaleur marines sont plus fréquentes et plus intenses. La stratification de la densité dans les 200 premiers mètres de l'océan s'accroît, entraînant une diminution de la teneur en dioxygène et en nutriments.

Les couches supérieures de l'océan, proches de la surface, absorbent plus de CO₂, ce qui l'acidifie.

ACTIVITÉ DE CLASSE # ACTIVITÉ

Comprendre l'effet de l'acidification de l'océan sur les coraux :

— Imaginez une expérience pour démontrer l'effet de l'absorption du CO₂ sur le pH de l'eau de mer. Dans cette expérience, vous devrez ajouter du CO₂ à l'eau de mer. Comment faire ? Comment pouvez-vous ensuite mesurer l'impact sur le pH ?

Réponse : vous pourriez, par exemple, souffler dans l'eau avec une paille.

— Regardez et expliquez les conséquences de l'acidification de l'océan sur les coraux, les mollusques et crustacés.

CYCLES ET CIRCULATION OCÉANIQUES : EL NIÑO ET LA CIRCULATION MÉRIDIENNE DE RETOURNEMENT

El Niño est un phénomène de réchauffement anormal qui se produit naturellement dans le Pacifique tropical central et oriental. Il a des répercussions considérables sur l'environnement et les humains, entraînant notamment une réduction des prises de poissons le long des côtes du Pérou et du Chili, et de graves sécheresses en Indonésie, aux Philippines et en Australie. Tout au long du XXI^e siècle, les événements extrêmes El Niño pourraient se produire plus souvent, en raison du réchauffement de l'océan.

La circulation océanique mondiale devrait également être affectée par le changement climatique. La circulation méridienne de retournement de l'Atlantique est la branche atlantique de la circulation océanique planétaire qui transporte la chaleur, le carbone, le dioxygène et les nutriments dans tous les océans.

Cette branche atlantique devrait s'affaiblir au cours du XXI^e siècle, bien qu'il soit très peu probable qu'elle disparaisse totalement. Le rythme et l'ampleur des changements seront plus faibles dans les scénarii à faibles émissions de gaz à effet de serre, mais dans tous les cas, cet affaiblissement entraînerait une diminution de la productivité biologique dans l'Atlantique Nord, davantage de tempêtes hivernales en Europe du Nord, moins de précipitations estivales au Sahel et en Asie du Sud, moins d'ouragans dans l'Atlantique et une augmentation du niveau de la mer le long de la côte nord-est de l'Amérique du Nord.

EN RÉSUMÉ

La circulation océanique devrait être affectée par le changement climatique. La circulation méridienne de retournement de l'Atlantique devrait s'affaiblir au cours du XXI^e siècle, et des phénomènes El Niño extrêmes pourraient se produire plus souvent à cause du réchauffement de l'océan.

AUGMENTATION DU NIVEAU MARIN

Le niveau moyen global de la mer a augmenté de 16 cm au cours du siècle dernier et s'est élevé à un rythme toujours plus rapide. Le taux d'augmentation pour 2006-2015, de 3,6 mm/an, est sans précédent, et 2,5 fois plus élevé que le taux de 1901-1990. Si quelques millimètres d'augmentation par an peuvent sembler peu, ils s'accumulent au fil du temps et entraînent des inondations extrêmes plus fréquentes dans les régions côtières.

Les principaux facteurs de l'élévation du niveau de la mer sont illustrés sur la figure 14. Aujourd'hui, la fonte des calottes glaciaires et des glaciers est la principale source d'élévation et a contribué à hauteur de 1,8 mm/an à l'élévation sur la période 2006-2015. La dilatation thermique a contribué pour 1,4 mm/an de hausse sur la même période : à mesure que l'eau de l'océan se réchauffe, elle se dilate et occupe un volume plus important, ce qui accentue l'élévation du niveau de la mer.

Lorsque le niveau de la mer s'élève, une tempête peut se propager plus loin dans les terres. Le changement climatique peut aggraver les inondations côtières et l'érosion causées par les cyclones tropicaux, et augmenter l'intensité des précipitations et des vents qui y sont associés.

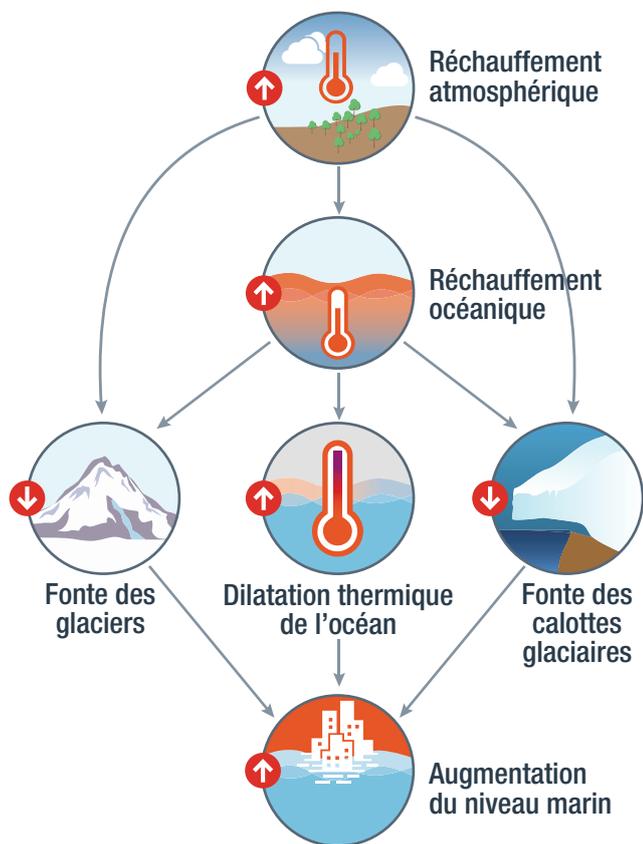


FIGURE 14 Lien entre les réchauffements atmosphérique et océanique et l'élévation du niveau marin.

L'élévation du niveau de la mer devrait se poursuivre, à un rythme croissant.

En raison de la lenteur des changements touchant l'océan du fait de son inertie thermique, le niveau de la mer continuera à s'élever même après que la température mondiale se soit stabilisée. Dans le RCP2.6, le niveau de la mer en 2100 pourrait atteindre entre 29 et 59 cm au-dessus du niveau des années 1990 à un rythme de 2 à 6 mm par an. En revanche, dans le RCP8.5, le niveau de la mer en 2100 pourrait s'élever de 61 à 110 cm à un rythme de 1 à 2 cm par an. Par rapport à la précédente évaluation du niveau de la mer issue du GIEC (dans le dernier rapport AR5), cette projection est 10 cm plus élevée, en raison de la prise en compte d'une réduction plus importante de la calotte glaciaire antarctique dans les modèles. En outre, l'instabilité de cette calotte pourrait accroître la contribution de l'Antarctique à l'élévation du niveau marin de façon bien plus significative au cours du siècle prochain et par la suite. Dans le RCP2.6, les modèles prévoient une élévation du niveau de la mer d'environ 1 m, contre 5 m en 2300 dans le RCP8.5.

Les événements extrêmes pourraient également se produire plus souvent, accompagnant cette hausse du niveau marin (voir fig. 15). Des événements qui se produisaient historiquement une seule fois par siècle pourraient se produire annuellement d'ici 2100 selon les projections des deux scénarii.

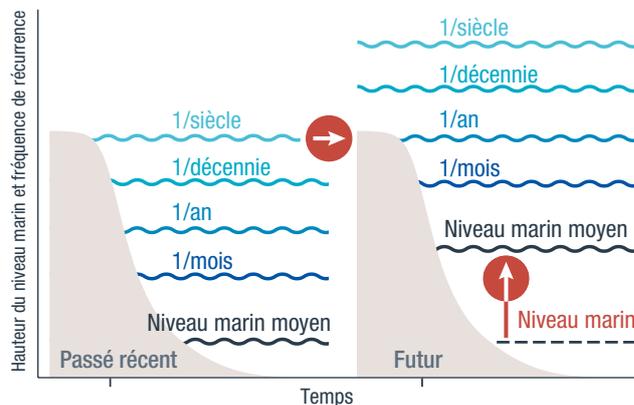


FIGURE 15 En raison de l'augmentation projetée du niveau moyen de la mer, les inondations qui se sont produites historiquement une fois par siècle devraient devenir des événements annuels dans la plupart des endroits au XXI^e siècle.

http://www.ipcc.ch/srocc/chapter/summary-for-policymakers/spm-section-3/srocc_spm4_final_edit_sl/

EN RÉSUMÉ

La fonte des glaciers et des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique ainsi que la dilatation thermique de l'eau de mer à cause du réchauffement de l'océan contribuent à l'élévation du niveau global de la mer. Le niveau moyen de la mer s'élève actuellement d'environ 3,6 mm par an, et cette élévation s'est accélérée au cours du siècle dernier avec des différences régionales. Les inondations extrêmes qui sont rares se produiront plus fréquemment (au moins une fois par an) dans de nombreuses zones côtières d'ici 2050.

L'élévation du niveau de la mer devrait se poursuivre au-delà de 2100 quel que soit le scénario d'émissions (RCP 2.6 ou RCP 8.5).

ACTIVITÉ DE CLASSE # ACTIVITÉ

- Analysez les deux diagrammes présentant les mesures du niveau de la mer sur la page « Sea Level Change » de la NASA : <https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/>. Comment le niveau de la mer a-t-il été mesuré jusqu'en 2013? Et après 2013? Expliquez pourquoi ces mesures sont particulièrement pertinentes pour étudier le changement climatique.
- En utilisant les données fournies, calculer l'élévation moyenne du niveau marin depuis 1880. Comparez votre résultat à l'élévation actuelle de 3,6 mm/an et commentez vos conclusions.
- Citez deux facteurs qui contribuent à l'élévation de ce niveau marin et expliquez pourquoi.

CYCLONES TROPICAUX

La proportion des cyclones tropicaux les plus forts, ainsi que les précipitations associées, devraient augmenter

avec la hausse des températures. Les tempêtes qui en résulteront élèveront le niveau de base de la mer, ce qui accroîtra le risque d'inondations côtières.

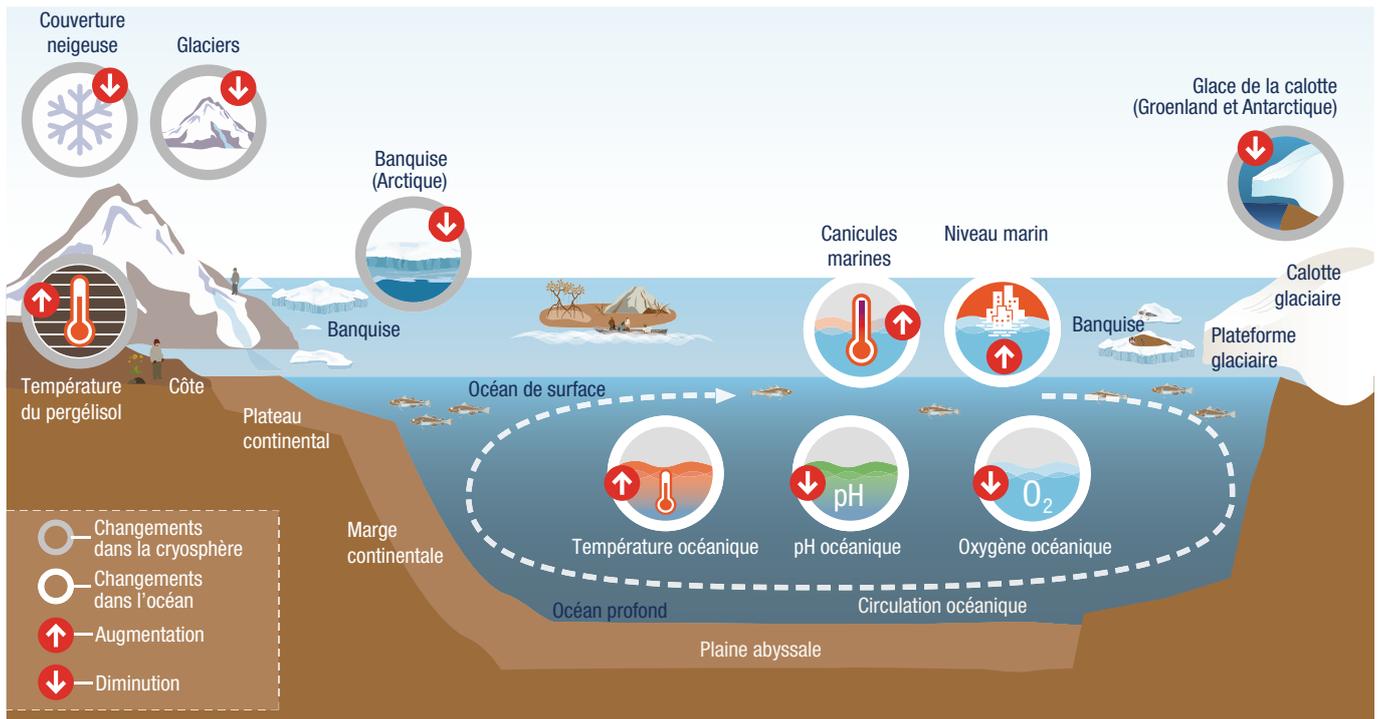


FIGURE 16 Impacts du changement climatique sur l'océan et la cryosphère (couverture neigeuse, pergélisol, glaciers, banquise, calotte glaciaire et plateforme), indiqués dans les cercles. Les effets du changement climatique sur l'océan comprennent l'élévation du niveau de la mer, l'augmentation des températures océaniques et des vagues de chaleur marines, la désoxygénation de l'océan et son acidification. Les changements dans la cryosphère comprennent la diminution de l'étendue de la banquise arctique, la fonte des calottes glaciaires de l'Antarctique et du Groenland, la fonte des glaciers, le dégel du pergélisol et la diminution de l'étendue de la couverture neigeuse.

Adapté du SROCC, Chapitre 1, GIEC 2019 – https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/05_SROCC_Ch01_FINAL.pdf

Impacts observés et anticipés sur les écosystèmes

MIGRATION ET REDISTRIBUTION DES ESPÈCES

L'augmentation des températures atmosphérique et océanique **modifie la répartition et l'abondance des espèces vivantes. Les espèces continentales adaptées au froid et dépendantes de la neige sont confrontées à une restriction de leur habitat, migrant en altitude ou vers les pôles. Elles diminuent aussi en abondance, ce qui augmente leur risque d'extinction.** D'autre part, certaines espèces bénéficient de la perte de la couverture neigeuse, du recul des glaciers et du dégel du permafrost, et s'étendent sur de nouvelles zones, augmentant ainsi leur abondance. En haute montagne, la migration des espèces de basse altitude vers une plus haute altitude a augmenté la diversité des espèces locales. Parallèlement, on observe un « verdissement » général de la végétation de la toundra arctique (les terres les plus septentrionales de l'Arctique) en raison de l'augmentation de la couverture végétale. D'autre part, on observe également un certain « brunissement de la végétation », c'est-à-dire un déclin de la végétation, dans la toundra et la forêt boréale.

Les projections pour les deux scénarii prévoient une poursuite de la migration de ces espèces vers le haut dans les zones de haute montagne, ainsi qu'une contraction généralisée de leur habitat. **Dans l'Arctique, une biodiversité unique est vouée à disparaître** à mesure que les espèces y ayant des habitats très spécifiques sont remplacées par des espèces qui se déplacent vers le pôle. Les arbustes et les arbres ligneux devraient s'étendre pour couvrir 24 à 52 % de la toundra arctique d'ici 2050. La forêt boréale devrait s'étendre à sa limite nord, tandis qu'elle diminuera à sa limite sud. En général, les espèces seront contraintes de migrer vers des latitudes et des altitudes plus élevées. **Le dégel du pergélisol et la réduction de la couverture neigeuse affecteront l'hydrologie de l'Arctique et contribueront à une augmentation des incendies,** avec des impacts sur la végétation et la faune. Environ 20 % du pergélisol arctique est menacé par un dégel brutal, ce qui entraînerait un affaissement du sol. Bien qu'il soit prévu que le cycle global de l'eau au niveau régional s'intensifie, y compris les précipitations, l'évapotranspira-

tion et le débit des rivières vers l'océan Arctique, la diminution de la couverture neigeuse et du permafrost peuvent entraîner l'assèchement des sols. **Dans l'océan, en raison du réchauffement, la répartition du phytoplancton, des poissons et des mammifères marins s'est déplacée vers le pôle nord** à des vitesses pouvant atteindre plusieurs dizaines de kilomètres par décennie. Les changements ont été plus rapides à la surface de l'océan qu'en profondeur. Ces changements dans la distribution spatiale des espèces sont accompagnés **de modifications dans leurs activités saisonnières**. Avec l'allongement de la saison chaude, dans les régions océaniques, polaires et montagneuses, de nombreuses espèces prolongent leurs activités saisonnières et modifient leur comportement.

EN RÉSUMÉ

La réduction de la cryosphère continentale modifie et continuera à modifier les écosystèmes des zones de haute montagne et de l'Arctique, entraînant des migrations, des changements dans la répartition des espèces et une perte de biodiversité.

LES ÉCOSYSTÈMES MARINS, LES CONSOMMATEURS ET LES PÊCHEURS

Les producteurs primaires, comme le phytoplancton, sont des organismes qui produisent de la matière organique à partir de matière minérale par photosynthèse par exemple. Les consommateurs primaires, comme le zooplancton, se nourrissent des producteurs primaires. La stratification accrue de la couche supérieure de l'océan depuis les années 1970 a modifié l'approvisionnement en nutriments des eaux de surface, affectant la production régionale de phytoplancton, et donc les populations de zooplancton. Toutefois, ces changements sont mal connus, de sorte que leur répartition spatiale est incertaine. Dans l'Arctique, la production primaire nette a augmenté, puisque davantage d'eau est libre de glace. **En outre, les proliférations printanières de phytoplancton et d'algues de glace se produisent plus tôt dans l'année.** Le zooplancton est directement affecté par les changements dans l'abondance et la distribution saisonnière du phytoplancton. De plus, comme le plancton est à la base de nombreuses chaînes alimentaires marines, ces changements se répercutent en cascade sur la chaîne alimentaire, affectant sa structure et sa fonction, et ont finalement des conséquences sur la biodiversité et la pêche. Les modèles climatiques projettent un déclin de la production primaire de 4 à 11 % d'ici à 2090 selon le scénario RCP8.5, comme conséquence du réchauffement et de la stratification.

En outre, l'acidification de l'océan devrait affecter une importante espèce de zooplancton appelée ptéropodes. Ils jouent un rôle essentiel dans les réseaux alimentaires marins, en particulier dans l'Arctique. Leur coquille est faite de carbonate de calcium et elle est donc vulnérable à l'acidification de l'océan. Le réchauffement et le déclin de la production primaire devraient entraîner d'ici 2100 **une diminution de 15 % de la biomasse mondiale de tous les animaux marins** (y compris les poissons) par rapport à leur niveau des années 1990; dans l'Arctique, cette biomasse va toutefois augmenter. **La stratification accrue a réduit la quantité de dioxygène dans l'océan profond**, en inhibant son apport depuis la surface, pourtant essentiel aux organismes marins. La perte de dioxygène océanique à l'échelle mondiale est connue sous le nom de désoxygénation de l'océan. Dans de nombreuses régions, le réchauffement et les changements de la production primaire ont entraîné une diminution de l'abondance des espèces de poissons, de mollusques et de crustacés, ce qui s'est traduit par une réduction des captures. La composition des prises a également changé depuis les années 1970, les eaux peu profondes du monde étant de plus en plus peuplées d'espèces d'eau chaude et les stocks de poissons se déplaçant vers les pôles.

EN RÉSUMÉ

Les effets combinés du réchauffement de l'océan, de la stratification, des vagues de chaleur marines, de la perte de dioxygène et de l'acidification modifient les écosystèmes marins. Des changements dans l'abondance et la distribution des espèces marines (plancton, poissons, mammifères et oiseaux marins) se sont produits en raison du réchauffement de l'océan depuis les années 1950. Cela modifie la structure et le fonctionnement des réseaux alimentaires marins, ainsi que les prises de poissons.

ACTIVITÉ DE CLASSE # ACTIVITÉ

- Représentez une chaîne alimentaire simple afin de faire figurer les relations de consommation dans un écosystème en utilisant les mots suivants: producteurs primaires, producteurs secondaires, énergie solaire, zooplancton, phytoplancton, poissons, consommateurs.
- En utilisant une autre couleur, ajoutez les différents impacts du changement climatique sur la chaîne alimentaire que vous venez de dessiner.



Les changements de la biodiversité

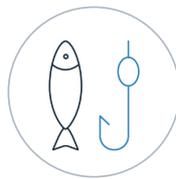
comprennent les changements dans la distribution des espèces, dans l'abondance des espèces et dans l'activité saisonnière.



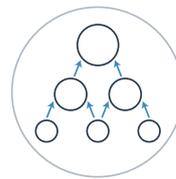
Augmentation des feux



Changement dans la production primaire



Changement dans les prises de poissons



Changement dans la structure des écosystèmes

tels que les changements dans les chaînes alimentaires.



Les écosystèmes existants sont menacés

y compris les récifs coralliens, les rivages rocheux, les forêts de kelp, les prairies sous-marines...

FIGURE 17 Impacts observés et anticipés sur les écosystèmes.

ÉCOSYSTÈMES CÔTIERS

Les écosystèmes côtiers, tels que les zones humides (marais salés, forêts de mangroves, herbiers sous-marins), les récifs coralliens et les rivages rocheux fournissent un grand nombre de services écosystémiques. Ils protègent les côtes contre l'érosion, amortissent les effets de l'élévation du niveau de la mer et fournissent de la nourriture et des habitats aux communautés humaines et à la faune qui en dépendent. En plus d'assurer des fonctions culturelles et spirituelles inestimables pour les populations humaines vivant dans ces régions, ils sont essentiels au tourisme.

En raison de la combinaison de pressions humaines, de l'élévation du niveau de la mer, du réchauffement de l'océan, des vagues de chaleur marine et des événements météorologiques extrêmes, **près de 50 % des zones humides côtières ont disparu au cours du XX^e siècle.** La disparition des mangroves a été observée à grande échelle depuis les années 1960. La perte de toutes ces importantes réserves de carbone conduit à la libération d'environ 0,15 à 5,35 Gt de CO₂ par an. Dans les estuaires, le réchauffement, l'élévation du niveau de la mer et les changements de marées conduisent à une incursion accrue d'eau salée dans les milieux d'eau douce et à une diminution de la teneur en dioxygène.

Les événements de blanchissement des coraux à l'échelle mondiale sont de plus en plus fréquents, provoquant la dégradation des récifs dans le monde entier depuis 1997. Sous l'effet des vagues de chaleur marines, les coraux expulsent les algues qu'ils hébergent et perdent leur couleur: ils deviennent alors blancs.

Dans les tropiques, d'après les projections, presque tous les récifs coralliens subiraient une perte de superficie importante et une extinction locale due au réchauffement ainsi qu'à l'acidification des océans - même si le réchauffement global est limité à 1,5°C. 30 % de la population mondiale de coraux a déjà disparu, en raison de la pollution, de la surpêche, ainsi que du réchauffement.

Une perte de 70 à 90 % des coraux est projetée dans un scénario de réchauffement de 1,5°C et 99 % d'entre eux seraient perdus dans un scénario⁸ de réchauffement de 2,0°C. La composition et la diversité des espèces des communautés récifales restantes seront différentes de celles des récifs actuels.

EN RÉSUMÉ

Une multitude de phénomènes liés au changement climatique, comme l'acidification de l'océan, la perte de dioxygène et la fonte de la banquise, combinés aux pressions locales dues aux activités humaines, affectent les écosystèmes côtiers. Leur biodiversité et les services qu'ils fournissent aux humains sont altérés.

Le déclin de ces espèces devrait être plus marqué dans les tropiques. Les écosystèmes sensibles comme les récifs coralliens, les herbiers sous-marins et les forêts de kelp seront très menacés si le réchauffement climatique dépasse 2°C.

ACTIVITÉ DE CLASSE # ACTIVITÉ

Il y a actuellement peu d'espèces invasives dans l'Arctique, mais on s'attend à ce que d'autres apparaissent avec le changement climatique et l'augmentation des activités humaines.

- À l'aide de cet article (<https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/developpement-durable-cercle-arc-tique-menace-invasion-especes-exotiques-50506/>), citez quelques espèces invasives qui sont présentes dans l'Arctique aujourd'hui en raison du changement climatique et expliquez pourquoi leur nombre devrait augmenter.
- Discutez de l'effet de cette augmentation sur les écosystèmes arctiques.
- Identifier certaines activités et politiques qui ont été adoptées pour améliorer la gestion des invasions.

8 Rapport spécial du GIEC « Global Warming of 1.5°C », <https://www.ipcc.ch/sr15/>

Impacts actuels et futurs sur les communautés humaines

COMMUNAUTÉS DE L'ARCTIQUE ET DE HAUTE MONTAGNE

Les communautés de l'Arctique et de haute montagne sont affectées de plusieurs façons par la réduction de la couverture neigeuse, la perte de la glace des rivières et des lacs, la fonte des glaciers et le dégel du pergélisol.

La réduction de la cryosphère terrestre affecte les ressources en eau ainsi que l'accès et la disponibilité de la nourriture (chasse, pêche et élevage) et les rendements agricoles. Pour les bassins fluviaux alimentés par les glaciers et la neige, l'atteinte de la cryosphère a réduit la quantité et le caractère saisonnier du ruissellement. En outre, les changements dans la saisonnalité de l'apport en eau ont un impact sur les installations hydroélectriques, ce qui affecte à son tour l'approvisionnement en énergie. Tout ceci a des conséquences pour les communautés vivant dans les zones de montagne et en aval de celles-ci.

La fonte de la cryosphère affecte également la santé humaine. Le risque accru de maladies d'origine alimentaire et aquatique, la malnutrition, ainsi que les problèmes de santé mentale font partie des impacts sur la santé, les peuples autochtones étant particulièrement touchés. Dans certaines zones de haute montagne, la qualité de l'eau a déjà été détériorée par des contaminants, en particulier le mercure, libérés par la fonte des glaciers et le dégel du pergélisol.

La fonte du pergélisol dans l'Arctique et dans les régions de haute montagne entraîne l'affaissement des terres et la déstabilisation des terrains en pente, ce qui endommage les bâtiments et les routes. L'affaissement du sol a des répercussions sur les infrastructures qui y sont implantées. La majorité des infrastructures de l'Arctique sont situées dans des régions où ce dégel devrait s'intensifier d'ici le milieu du siècle.

ACTIVITÉ DE CLASSE # ACTIVITÉ

- Couvrez le fond d'un plat avec de la terre. Utilisez-la pour modeler les montagnes et les vallées et mettez toute la construction dans le congélateur: vous aurez créé du permafrost. Construisez une petite ville - quelques maisons et des routes - avec de la pâte à modeler. Le lendemain, sortez le plat du congélateur et placez vos maisons et vos routes dans le paysage que vous avez construit. Laissez-le près d'une fenêtre ou d'un chauffage pendant une journée.
- Décrivez ce qui est arrivé à votre ville. D'après vous, comment le changement climatique affectera les communautés vivant près de l'Arctique ?

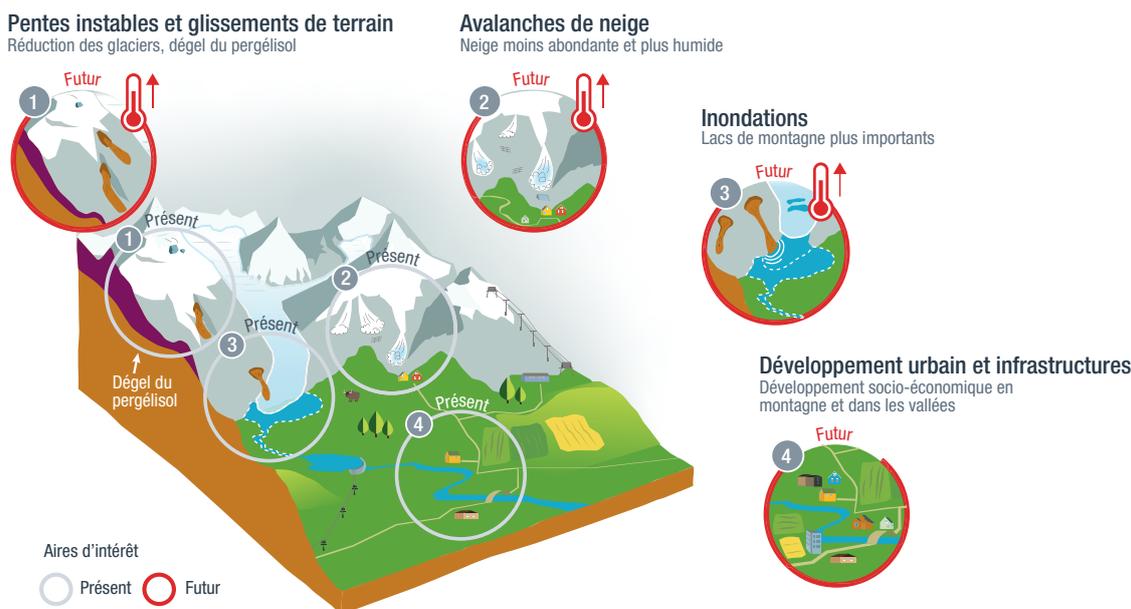


FIGURE 18 Impact du changement climatique sur les risques dans les régions de haute montagne, d'après les projections. Ces changements sont dus à des modifications de la couverture neigeuse, des glaciers et du permafrost, et ils se superposent à ceux observés dans l'exposition et la vulnérabilité des individus, des communautés et des infrastructures.

SROCC, Chapter 2, IPCC 2019 – https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/chapter-2/2-1introduction/ipcc-srocc-ch_2_7/

La réduction de la cryosphère en haute montagne a déjà un impact et continuera d'en avoir un sur le tourisme (ski, tourisme de glacier, randonnée et alpinisme). Les technologies d'enneigement dans les stations de ski deviendront de plus en plus inefficaces à mesure que l'atmosphère se réchauffera.

Les deux dernières décennies ont vu une augmentation de l'activité de transport maritime dans l'Arctique suite à la réduction de la banquise. En 2011, quatre navires ont traversé le passage du nord-est. En 2018, 227 ont emprunté le même itinéraire. La multiplication des activités de transport maritime augmente le risque d'introduction d'espèces invasives et de pollution, si de nouvelles réglementations ne sont pas rapidement mises en place.

Des options d'adaptation sont disponibles, et certaines ont déjà été mises en œuvre. Dans l'Arctique, les congélateurs partagés contribuent à accroître la sécurité alimentaire. Les communautés de cette région ont également adapté le calendrier de leurs activités pour répondre aux changements de saison et aux conditions de déplacement sur la glace, devenues dangereuses.

En haute montagne, les mesures d'adaptation incluent une gestion coordonnée de l'eau à différentes échelles ainsi que la diversification des activités touristiques. Dans toutes les zones, l'adaptation a été facilitée grâce aux connaissances des peuples autochtones et des populations locales.

EN RÉSUMÉ

La réduction à venir de la cryosphère continentale aura un impact sur les ressources en eau et leur utilisation, telles que l'hydroélectricité et l'irrigation dans et en aval des zones de haute montagne, ainsi que sur les moyens de subsistance en Arctique. Les risques accrus d'inondations, d'avalanches, de glissements de terrain et de déstabilisation des sols auront des répercussions sur les infrastructures, le tourisme et la sécurité des communautés humaines.

ACTIVITÉ DE CLASSE # ACTIVITÉ

- Les peuples de l'Arctique ont un très grand nombre de mots pour désigner la neige. Pouvez-vous en nommer 5? Comment pouvez-vous expliquer que de nombreux pays dans le monde n'aient qu'un seul mot? Quelques exemples en cliquant sur ce lien : <https://www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/inuktitut-words-for-snow-and-ice>
- Savez-vous ce qu'est un « hummock »? Qu'est-ce que cela signifie en inuktitut? Réponse: Un « hummock » signifie « une colline »: c'est un monticule de glace qui s'élève au-dessus d'un champ de glace.
- Discutez du lien entre la cryosphère et certaines cultures humaines.





ZONES CÔTIÈRES

Les communautés côtières sont exposées à de multiples risques liés au climat, notamment les cyclones tropicaux, les tempêtes, les inondations, les vagues de chaleur marines, la fonte de la banquise et le dégel du pergélisol. Les risques climatiques peuvent interagir avec d'autres facteurs « non climatiques », comme l'affaissement du sol, la pollution, la dégradation de l'habitat, l'exploitation des récifs et du sable, ou la perte des connaissances ancestrales et locales. Lorsque plusieurs risques climatiques apparaissent simultanément ou successivement, ils peuvent entraîner des impacts amplifiés dans ce que l'on appelle un « événement composé ».

Les tempêtes qui se produisent parallèlement à une élévation du niveau moyen de la mer peuvent causer des pertes humaines, des dommages aux infrastructures et une intrusion saline dans les sols et les eaux souterraines. Dans l'Arctique, la disparition de la banquise expose les communautés côtières à une érosion accrue du littoral, ce qui affecte les infrastructures. Certaines communautés côtières envisagent déjà de se déplacer.

Un large éventail d'options est disponible pour faire face à chaque risque lié au changement climatique, mais le choix de celles qui sont les plus appropriées dépend du contexte local. Dans tous les cas, les systèmes de surveillance et d'alerte précoce peuvent être utilisés pour prendre des mesures visant à réduire les risques. Pour faire face à la hausse du niveau marin, les options d'a-

daptation incluent la protection des côtes et même l'éloignement du littoral. Les obstacles à la mise en œuvre de ces options sont notamment le manque de financement, de connaissances et de capacités.

EN RÉSUMÉ

Les changements dans l'océan affectent les écosystèmes marins, mettant au défi les communautés côtières et les peuples autochtones. L'impact peut être observé dans de nombreux domaines: la sécurité alimentaire en lien avec la pêche, la santé et le bien-être, les cultures et les modes de vie locaux, le tourisme et les loisirs. Diverses solutions sont mises en œuvre dans le monde entier pour réduire les risques côtiers.

LES ÉCOSYSTÈMES MARINS, CÔTIERS ET LA PÊCHE

Une réduction globale de la biomasse de poissons devrait entraîner une diminution de 20 % des captures durables de poissons d'ici 2100 dans le RCP8.5. Ces changements pourraient être 3 à 4 fois moins importants dans le RCP2.6. À l'échelle régionale, la biomasse de poissons augmentera aux hautes latitudes, ce qui permettra l'expansion de la pêche vers les pôles, tandis que la pêche tropicale diminuera. Ces changements dans les stocks de poissons pourraient entraîner des conflits entre les pêcheurs, les autorités et/ou les communautés.

La sécurité des produits de la mer est également en jeu, avec une accumulation accrue de polluants organiques persistants et de mercure dans les plantes et les animaux marins. Les risques sont plus élevés pour les communautés autochtones côtières qui consomment beaucoup de produits de la mer.

Les perturbations des écosystèmes marins entraîneront des pertes culturelles, y compris des connaissances locales et autochtones. Les régimes alimentaires traditionnels et la sécurité alimentaire seront affectés négativement, de même que les activités récréatives.

Chaque centimètre d'élévation du niveau local de la mer augmentera l'érosion, la perte de terres, les inondations, la salinisation et intensifiera l'impact des tempêtes. Le niveau de la mer continuera à s'élever tout au long de ce siècle selon les deux scénarios d'émissions. Si aucune mesure n'est prise, les dommages causés par les inondations côtières annuelles devraient augmenter de deux à trois ordres de grandeur d'ici 2100 par rapport à aujourd'hui. Les îles et les côtes de faible altitude sont les plus menacées, y compris certains deltas urbains,

les nations insulaires tropicales et les communautés côtières de l'Arctique. Certaines nations insulaires pourraient devenir inhabitables, bien que le niveau d'élévation du niveau de la mer auquel cela se produira soit extrêmement difficile

EN RÉSUMÉ

Les changements dans la distribution et l'abondance du poisson dus au changement climatique affecteront les revenus, les moyens de subsistance et la sécurité alimentaire des communautés dépendantes de la pêche. La perte et la dégradation des écosystèmes marins compromettent la contribution de l'océan à l'identité et au bien-être humains. Enfin, les communautés humaines des zones de faible altitude seront de plus en plus menacées par l'élévation du niveau de la mer et les ondes de tempête au cours du siècle à venir.

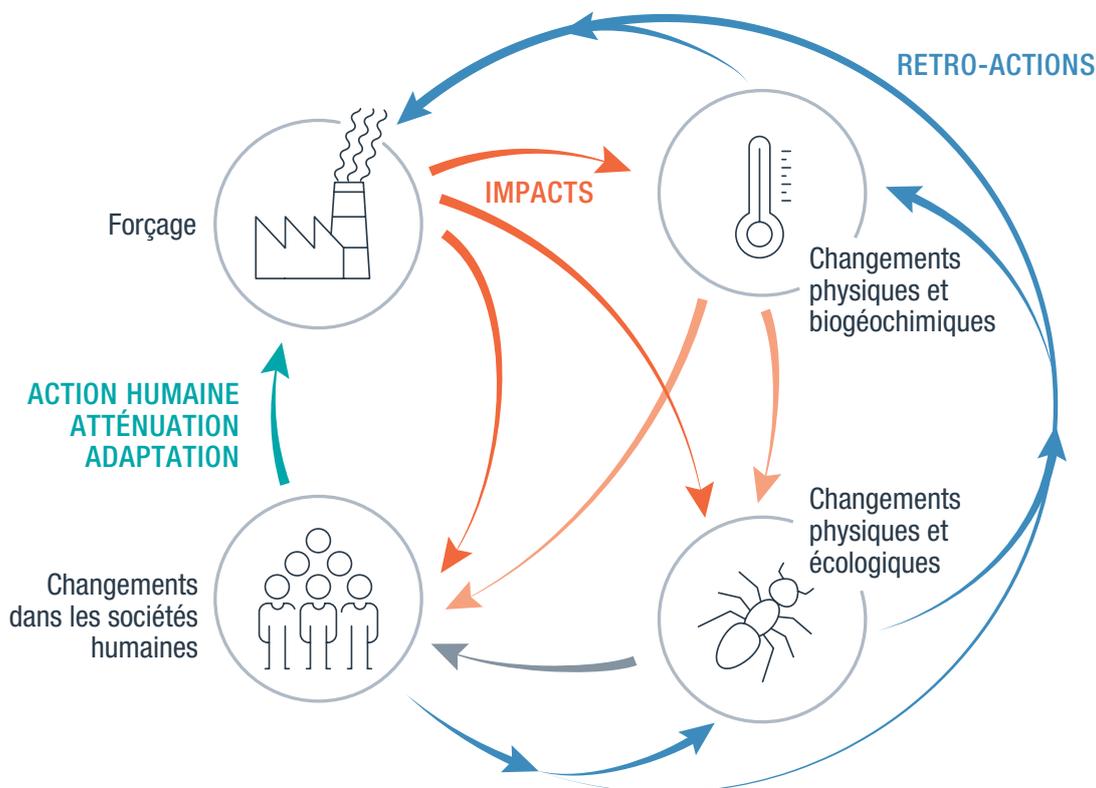


FIGURE 19 Réactions en chaînes. Ci-dessous, un exemple concret :

Hausse des émissions de GES -> réchauffement climatique -> hausse de la température océanique -> diminution dans l'abondance de producteurs primaires -> déplacement vers les pôles des stocks de poissons -> pêches réduites pour les communautés arctiques -> impacts sur la santé et les moyens de subsistance.

Adapté d'une infographie du GIEC, 2019 – https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/chapter-1-framing-and-context-of-the-report/1-3time-scales-thresholds-and-detection-of-ocean-and-cryosphere-change/ipcc-srocc-ch_1_1-e1574938357439/

4. Faire face aux transformations de l'océan et de la cryosphère

Les enjeux

L'adaptation au changement climatique est confrontée à un large éventail de défis. Les interventions humaines peuvent être économiques, technologiques ou institutionnelles. Pour les écosystèmes, un enjeu majeur est lié à la contraction des espaces naturels, mais aussi au fait que le délai de retour à la normale après des perturbations est long, et que ces écosystèmes sont mis sous pression par les activités humaines.

L'un des principaux défis est l'échelle de temps: les impacts du changement climatique s'observent sur des horizons temporels plus longs que ceux sur lesquels les décisions sont généralement prises au sein des gouvernements, des entreprises et ailleurs. Ces impacts traversent les secteurs industriels (par exemple l'eau, l'alimentation, l'énergie) et les frontières, ce qui nécessite des réponses internationales intégrées.

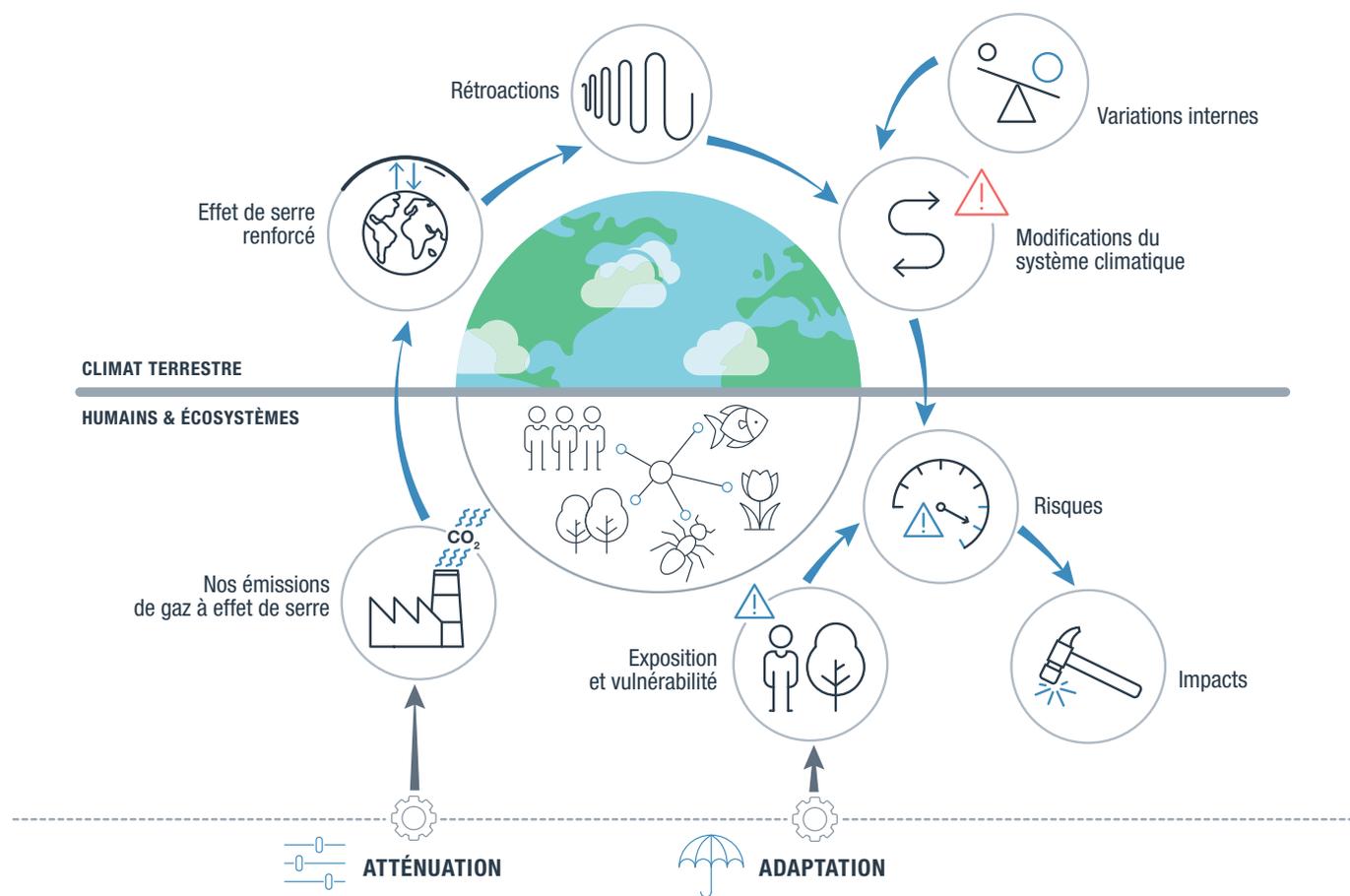


FIGURE 20 Diagramme représentant le devenir des émissions humaines de gaz à effet de serre, leur impact, et les mesures possibles (atténuation et adaptation).

Pour la société humaine et les écosystèmes, **plus le rythme du changement est rapide, plus l'adaptation est difficile**. Les écosystèmes pourront s'adapter plus facilement à des changements plus lents et moins importants. De même, la société humaine pourra s'adapter plus facilement à des niveaux de réchauffement climatique plus faibles.

L'exposition et la sensibilité à ce changement, ainsi que la capacité à y faire face, sont loin d'être uniformes entre les espèces, les écosystèmes, les nations et les communautés. Pour nos sociétés, les personnes les plus exposées et **les plus vulnérables sont aussi souvent celles qui ont la plus faible capacité d'adaptation** : elles deviennent alors encore plus exposées et plus vulnérables. C'est par exemple le cas des communautés pauvres qui vivent dans les zones les plus basses d'une mégalopole côtière.

Même après des efforts importants pour s'adapter, certains risques peuvent encore subsister. Ces risques irréductibles sont connus sous le nom de « limites à l'adaptation ». Les inondations inévitables des zones côtières de faible altitude, qui entraînent le recul des côtes, en sont un exemple.

EN RÉSUMÉ

Les impacts des changements liés au climat sur l'océan et la cryosphère remettent en question les mécanismes actuels qui gouvernent les sociétés humaines et les écosystèmes ainsi que leurs capacités de réaction, les poussant parfois à leurs limites. Les personnes les plus exposées et les plus vulnérables au changement climatique sont souvent celles qui ont la plus faible capacité d'adaptation.



Renforcer la réponse face aux défis climatiques

ADAPTATION

La protection, la restauration, et la réduction des facteurs de stress supplémentaires, tels que la pollution, peuvent aider les écosystèmes à s'adapter.

La mise en place de réseaux de zones protégées peut faciliter la migration des espèces en altitude dans les zones montagneuses et le déplacement des espèces marines vers les pôles. Les espèces peuvent également être accompagnées dans leurs déplacements. Dans certains endroits, des expériences de restauration des écosystèmes sont menées - comme le « jardinage du corail », bien que ces mesures puissent ne pas être efficaces face à un réchauffement futur et à l'élévation

du niveau de la mer. Ces stratégies sont plus efficaces lorsque les communautés locales et leurs connaissances sont prises en compte.

En ce qui concerne la pêche, il est important de reconstituer les stocks surexploités, d'évaluer et d'actualiser régulièrement les mesures de gestion de pêche, afin de réduire les risques. Pour les ressources en eau, une gestion intégrée des différents usages (énergie, agriculture, eau potable, etc.) peut être efficace, notamment en ce qui concerne le développement et l'optimisation du stockage. Dans les deux cas, la coopération transfrontalière peut contribuer à ces efforts.

Les mesures de lutte contre l'élévation du niveau de la mer vont de la **construction de digues, pouvant être coûteuses**, à la restauration des écosystèmes côtiers (comme les mangroves) pour réduire l'énergie des vagues, en passant par l'abandon du littoral par les populations.

À l'échelle mondiale, la protection des côtes peut réduire les risques d'inondation de deux à trois ordres de grandeur au cours du XXI^e siècle, mais des investissements importants seront nécessaires. Plus le niveau de la mer s'élève, plus la protection des côtes sera difficile, principalement en raison de limites financières et sociales plutôt que de limites techniques.

Malgré les grandes incertitudes quant à l'ampleur de l'élévation du niveau de la mer après 2050, de nombreuses décisions qui auront une influence dans un avenir lointain sont à prendre dès maintenant. C'est ce qui explique la nécessité d'une approche itérative, dans laquelle les dernières données scientifiques, les plans d'adaptation actuels et les stratégies mises en œuvre sont périodiquement évalués et modifiés si nécessaire.

Un ralentissement de l'élévation du niveau de la mer, ou toute autre conséquence du changement climatique, offre de plus grandes possibilités d'adaptation, d'où la nécessité de réduire également les émissions de gaz à effet de serre (dont il sera question dans la section suivante) en plus de l'adaptation.

ACTIVITÉ DE CLASSE # ACTIVITÉ

— Imaginez que toute la classe vive dans un village de bord de mer. Chaque élève a un rôle différent dans cette communauté (exemple: le pêcheur, le touriste, un habitant quelconque, le propriétaire de l'épicerie, l'ingénieur civil, le gouverneur de la ville, le propriétaire de la banque, le professeur de surf, la police maritime, le président de l'association de protection des animaux, le propriétaire du bar de la plage, etc.).

En raison de l'élévation du niveau de la mer et d'autres facteurs, la plage locale se réduit d'un mètre chaque année et, pendant les grandes tempêtes, les rues et les bâtiments les plus proches de la plage sont fréquemment inondés.

— Laissez les étudiants discuter des avantages et des inconvénients des multiples solutions possibles pour leur communauté du point de vue du personnage qu'ils incarnent, afin qu'ils comprennent qu'il n'y a pas de réponse simple.

Réponse : les différents acteurs ont des priorités différentes, et aucune solution n'est parfaite : elle favorisera toujours certaines personnes et en désavantagera d'autres. Les options pourraient inclure la relocalisation de toute la communauté plus à l'intérieur des terres, la construction de structures de protection du littoral, le ré-ensablement des plages, la restauration des écosystèmes côtiers locaux, ne rien faire, etc.

Les problèmes peuvent être les suivants : coûts, inégalité des profits, impacts sur le tourisme (modification des paysages, disparition des plages), les moyens de subsistance (perte d'emplois, dommages aux structures), la biodiversité locale, etc.

EN RÉSUMÉ

L'adaptation à l'élévation du niveau de la mer sera un problème mondial pour les communautés côtières. La réduction des facteurs locaux d'exposition et de vulnérabilité, la mise en place de systèmes d'alerte précoce, la construction de bâtiments résistants aux inondations et l'adaptation reposant sur les écosystèmes sont des réponses efficaces pour les décennies à venir qui pourraient, au moins à court terme, limiter la nécessité de mesures plus coûteuses que ne peuvent se permettre les communautés aux ressources limitées.



ATTÉNUATION

Certains types d'écosystèmes côtiers sont des puits de carbone efficaces. Leur restauration peut donc contribuer à réduire le CO₂ de l'atmosphère. Ces puits de carbone comprennent les mangroves, les marais salés et les herbiers sous-marins, et sont connus sous le nom d'écosystèmes de « carbone bleu ». Bien que leur contribution potentielle à la réduction des émissions soit faible à l'échelle mondiale (environ 0,5 % des émissions mondiales actuelles), ils apportent de nombreux bénéfices supplémentaires au niveau local, comme la protection contre les tempêtes, une meilleure qualité de l'eau et présentent un intérêt pour la biodiversité et la pêche.

L'énergie renouvelable issue de l'océan peut également contribuer à l'atténuation du changement climatique, et peut inclure la production d'énergie à l'aide du vent, des marées, des vagues, des gradients de température et de salinité et des biocarburants issus des algues. La demande émergente de sources d'énergie renouvelables devrait générer de nouvelles opportunités économiques.

EN RÉSUMÉ

L'adaptation et l'atténuation fondées sur les écosystèmes peuvent contribuer à renforcer les options de réponse futures aux modifications liées au climat, affectant l'océan et la cryosphère. L'adaptation fondée sur les écosystèmes ne sera efficace que si le réchauffement reste limité, mais elle peut apporter de multiples avantages à court terme aux écosystèmes et aux communautés locales.

ACTIVITÉ DE CLASSE # QUESTION

Le CO₂ est émis lors de la combustion d'énergies fossiles.

- Réfléchissez à une expérience simple pour démontrer que la combustion libère du CO₂.
- Comment pouvons-nous réduire nos émissions de CO₂? Comment pouvons-nous réduire les autres émissions de gaz à effet de serre comme le méthane (CH₄) et protoxyde d'azote (N₂O)?

Mots-clés: production de biogaz, déforestation, engrais, agriculture, énergie renouvelable, économie d'énergie.

METTRE EN OEUVRE UNE RÉPONSE ADAPTÉE

Il sera primordial de mettre en place des réponses appropriées pour faire face aux conséquences du changement climatique. Cela dépend essentiellement de réductions « rapides » et ambitieuses des émissions, ainsi que d'importants efforts d'adaptation. L'adaptation fonctionne mieux lorsqu'une approche intégrée et coopérative est adoptée. En outre, il convient de tenir compte des échéances à court et à long terme, en particulier en ce qui concerne l'élévation du niveau de la mer.

La coopération est nécessaire à différents niveaux et entre les secteurs, ainsi qu'au sein des pays et entre eux, par exemple, par le biais de traités et de conventions. Les réponses communautaires, y compris les approches expérimentales, devraient également être encouragées, les connaissances acquises étant ensuite partagées avec des communautés similaires.

Outre une bonne gestion, il existe d'autres éléments essentiels à une adaptation efficace :

- **L'éducation et la connaissance de la question climatique**, qui peuvent sensibiliser le public, l'inciter à s'engager et à acquérir des compétences ;
- **L'utilisation et le partage des données, des informations et des connaissances**, y compris les connaissances locales et ancestrales ;
- **Le suivi et la prévision** : les systèmes d'alerte précoce, tels que ceux utilisés aujourd'hui pour les événements El Niño / La Niña, les cyclones tropicaux et les vagues de chaleur marines, peuvent être utilisés pour gérer les impacts négatifs ;
- **La prise en compte des vulnérabilités sociales et de l'équité pour construire un avenir juste et équitable.**

Bien entendu, les ressources financières seront essentielles pour que tout cela se réalise.

EN RÉSUMÉ

Pour lutter contre le changement climatique, il est nécessaire de procéder à des transformations rapides dans l'ensemble des nations et des sociétés. Les éléments clés permettant une adaptation efficace incluent la coopération, l'éducation, le suivi et la prévision, le partage de connaissances et la lutte contre les inégalités.

Conclusion

L'océan et la cryosphère jouent un rôle primordial dans le système climatique de notre planète. L'océan absorbe et redistribue le CO₂ ainsi que la chaleur, il nous fournit de la nourriture, des énergies renouvelables et des matières premières, et nous offre des moyens de transport. La cryosphère nous fournit de l'eau douce grâce à l'eau de fonte des glaciers. L'océan et la cryosphère sont également tous deux d'une importance fondamentale pour notre santé et notre bien-être, pour nos loisirs et nos valeurs culturelles.

Les perturbations induites par le changement climatique sur l'océan et la cryosphère ont de fortes répercussions sur les communautés humaines, en particulier celles qui vivent près des côtes, sur de petites îles, dans les zones polaires ou dans les régions de haute montagne. Aujourd'hui, environ 4 millions de personnes vivent en permanence dans la région arctique, dont 10 % sont issues des peuples autochtones; 680 millions de personnes vivent près des côtes et 670 millions dans des régions de haute montagne. Les changements se poursuivront tout au long des décennies et des millénaires, certains se produisant de manière abrupte et d'autres étant irréversibles.

En préservant l'océan et la cryosphère ainsi que leurs écosystèmes, grâce à une atténuation ambitieuse et à une adaptation efficace, nous pouvons également atteindre plusieurs des Objectifs de Développement Durable (ODD) adoptés par les Nations Unies. À l'inverse, si nous attendons avant d'agir, les risques associés au changement climatique augmenteront, tout comme les coûts de l'atténuation et de l'adaptation.

Comme le conclut le résumé du rapport du GIEC à l'intention des décideurs politiques :

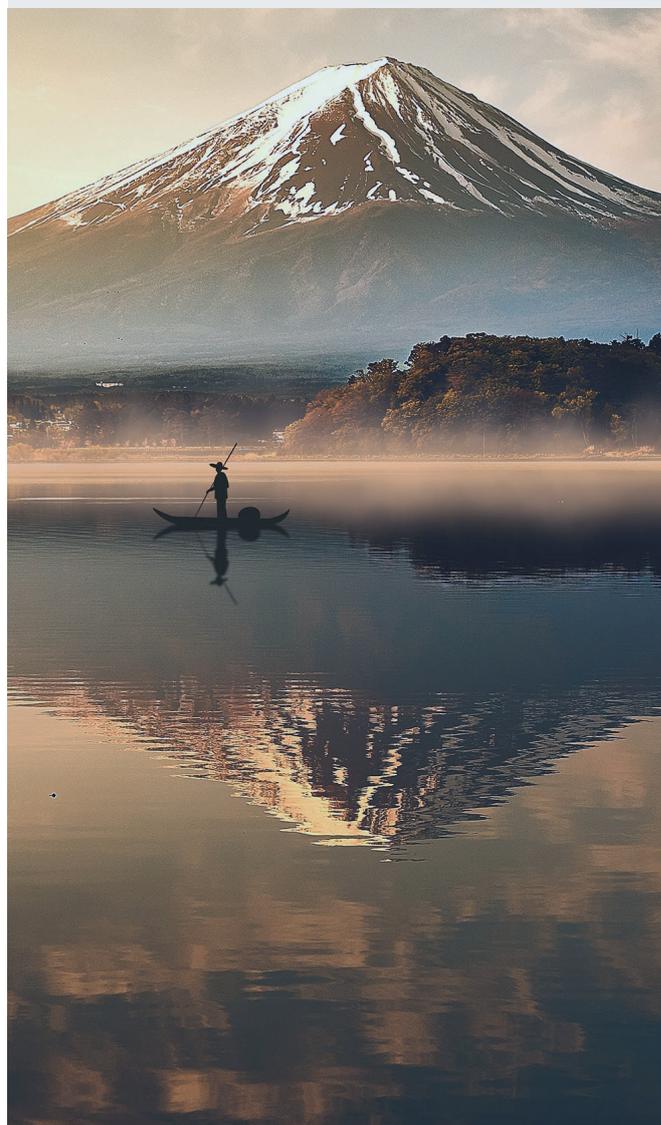
« La réalisation de ce défi dépend d'une importante transformation. Cela souligne l'urgence de donner la priorité à une action opportune, ambitieuse, coordonnée et durable ».

ACTIVITÉ DE CLASSE # ACTIVITÉ

— Savez-vous ce qu'est un haïku ?

Réponse : un haïku est un poème japonais, qui utilise 17 syllabes disposées en trois lignes dans un ordre précis. Sur la première ligne, vous avez 5 syllabes, sur la deuxième ligne 7 et sur la troisième 5. Voici quelques exemples de haïku : <http://climate.miami.edu/your-haiku-to-the-environment/>

— Écrire quelques haïkus sur le changement climatique.



Glossaire

ACIDE CARBONIQUE (H₂CO₃) / Produit de la dissolution du dioxyde de carbone (CO₂) dans l'eau (H₂O) (réaction chimique), il provoque l'acidification de cette dernière, suivant l'équation chimique: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$

ACIDIFICATION DE L'OcéAN / Augmentation de l'acidité de l'eau de mer provoquée par la dissolution du CO₂ atmosphérique dans l'eau de surface de l'océan. La réaction chimique avec l'eau forme de l'acide carbonique et l'eau devient plus acide: $\text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}^+$. Les ions H⁺ sont responsables de l'acidification du milieu. Plus le nombre d'ions H⁺ est important, plus le pH diminue et plus le milieu est acide.

ADAPTATION / L'adaptation est la stratégie visant à réduire la vulnérabilité aux effets du changement climatique actuel ou futur. Dans les sociétés humaines, l'adaptation vise à modérer les dommages aux individus ou aux infrastructures, ou à exploiter les opportunités éventuelles induites par le changement climatique (par ex., la fonte du pergélisol en Arctique augmente la surface de sols disponibles).

ALBEDO / Il s'agit du pouvoir réfléchissant d'un objet ou d'une surface. La glace et la neige fraîche ont par exemple un fort albédo, entre 40 et 80 %, ce qui signifie qu'elles réfléchissent entre 40 et 80 % du rayonnement solaire. À l'inverse, l'océan est bien plus sombre et possède un albédo inférieur à 10 %.

ATTÉNUATION / Intervention humaine visant à réduire le réchauffement climatique en diminuant la quantité de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. Deux approches sont possibles et complémentaires: réduire les émissions ou augmenter la recapture de ces gaz.

BANQUISE / Eau de mer gelée qui flotte à la surface de l'océan.

CALOTTE GLACIAIRE / Couche de glace pérenne très étendue et épaisse reposant sur un continent.

CAPTURE DU CO₂ / Désigne tous les processus qui contribuent à extraire du CO₂ de l'atmosphère. Cela peut par exemple se produire lors de sa dissolution dans l'océan (phénomène physique) ou lorsque les plantes l'incorporent dans leurs tissus lors de la photosynthèse, auquel cas il sera ensuite stocké dans le sol (phénomène biologique).

CARBONE BLEU / Extraction du CO₂ atmosphérique par les écosystèmes côtiers, tels que les mangroves, les marais salés, les herbiers sous-marins ou les algues. La croissance des

plantes aquatiques consomme du CO₂ qui est ensuite enfoui sous forme de matière organique dans le sol. Ce sont ces écosystèmes qui sont susceptibles de libérer le plus de CO₂ dans l'atmosphère s'ils sont endommagés.

CHANGEMENT CLIMATIQUE / Le changement climatique désigne différents phénomènes globaux. Citons par exemple la modification des températures ou des précipitations, les phénomènes météorologiques extrêmes, la hausse du niveau marin et l'acidification des océans. Le terme est couramment utilisé pour décrire la hausse de la température moyenne globale provoquée par l'activité humaine actuelle, initiée dans les années 1850. On parle également de « réchauffement climatique ».

CLIMAT / Ensemble des conditions météorologiques (températures, précipitations, humidité, vent, pression atmosphérique, etc.) observables dans une région donnée sur une période prolongée (mois, années, décennies, siècles ou plus).

CIRCULATION THERMOHALINE / Courants marins de profondeur et de surface générés par les différences de salinité et de température des différentes couches d'eau. Les eaux plus froides et plus salées s'enfoncent vers les profondeurs de l'océan tandis que les eaux chaudes et moins salées remontent en surface. Ce phénomène, qualifié de « tapis roulant », transporte de la chaleur à travers le globe.

COURANTS MARINS / Circulation d'eau traversant les océans. Les courants chauds et froids permettent de redistribuer la chaleur et les nutriments autour du globe.

CRYOSPHERE / Toute la glace et les surfaces neigeuses sur les continents et sur l'eau: banquise, glaciers, calottes glaciaires, neige saisonnière, pergélisol, lacs et rivières.

DÉVELOPPEMENT DURABLE / Développement qui satisfait aux besoins présents de la société sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire leurs propres besoins.

DILATATION THERMIQUE / L'augmentation du volume d'une matière résultant de la hausse de sa température. Le réchauffement climatique entraîne la dilatation thermique de l'eau de mer: de ce fait, l'océan, en se réchauffant, se dilate et occupe plus de place, élevant le niveau marin.

DIOXYDE DE CARBONE (CO₂) / Gaz émis lorsqu'une matière contenant du carbone est brûlée, par exemple lors de la combustion des ressources fossiles. Les organismes vivants en produisent aussi par leur respiration. Le CO₂ contribue à l'effet de serre et à l'acidification de l'océan.

ÉCOSYSTÈME / Un écosystème désigne à la fois la totalité des êtres vivants dans un environnement défini et les caractéristiques de ce milieu. Au sein d'un écosystème, les espèces vivantes et leur environnement dépendent mutuellement l'un de l'autre.

ÉCOSYSTÈMES CÔTIERS / Les écosystèmes côtiers se trouvent à l'interface entre mer et continent. Dans cette zone, le mélange d'eau douce et d'eau de mer crée un écosystème unique doté de sa propre biodiversité. On peut notamment citer les marais salés, les mangroves, les zones humides côtières, les estuaires et les baies.

EFFET DE SERRE / Les rayons du Soleil traversent l'atmosphère et réchauffent la surface de la Terre, provoquant alors l'émission, vers l'espace, d'un rayonnement infrarouge. Une partie de ce rayonnement infrarouge est absorbée dans l'atmosphère par les gaz à effet de serre — principalement la vapeur d'eau (H₂O), le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O) et l'ozone (O₃) — et réémise vers la surface de la Terre, qui se réchauffe encore plus. Cet effet est appelé « effet de serre ». Plus la quantité de ces gaz est élevée dans l'atmosphère, plus l'effet de serre est important: c'est ce qui explique la hausse de températures constatée depuis un siècle et demi.

ÉMISSIONS ANTHROPIQUES / Émissions de gaz à effet de serre dues aux activités humaines. Parmi ces activités, on peut citer la déforestation, la combustion d'énergies fossiles, ainsi que les processus industriels ou l'agriculture.

ÉROSION CÔTIÈRE / L'érosion côtière est un phénomène naturel au cours duquel des sédiments ou des roches sont retirés des côtes sous l'effet des vagues, des courants, des vents et des marées, conduisant à une régression du littoral. Cette érosion peut être accentuée par le changement climatique, notamment en raison de la hausse du niveau marin et de l'augmentation des précipitations, ainsi que par les activités humaines.

ESPÈCE INVASIVE / Une espèce est invasive lorsqu'elle s'implante dans une région dont elle n'est pas originaire et que son développement provoque des dégâts sur l'environnement ou la santé humaine.

GAZ À EFFET DE SERRE / Les gaz à effet de serre sont à l'origine de l'effet de serre du fait de leur capacité à absorber le rayonnement infrarouge. Les principaux sont la vapeur d'eau (H₂O), le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O) et l'ozone (O₃).

GLACE CONTINENTALE / Toute glace recouvrant les zones continentales: glaciers, calottes glaciaires. Ces glaces se forment par l'accumulation et le tassement de la neige à long terme.

GLACIER / Grande masse de glace continentale qui s'écoule lentement vers l'aval.

HAUSSE DU NIVEAU MARIN / Désigne l'augmentation du niveau de surface de l'océan, partout dans le monde. Il s'agit d'une valeur moyenne, déterminée par comparaison avec le niveau de l'ère préindustrielle.

INERTIE THERMIQUE / L'inertie thermique désigne la vitesse à laquelle un matériau (solide, liquide ou gazeux) se réchauffe ou se refroidit pour atteindre la température du milieu environnant. Plus ce réchauffement/refroidissement est lent, plus l'inertie thermique est élevée. Par exemple, l'atmosphère se réchauffe plus vite que l'océan, l'inertie thermique de ce dernier est donc plus élevée.

JUSTICE CLIMATIQUE / Ce terme est utilisé pour intégrer la dimension sociopolitique des défis que pose le changement climatique, au lieu de se contenter de les aborder d'un point de vue environnemental. Il tient compte des responsabilités, des moyens et du niveau de vulnérabilité en incluant la notion de justice (en particulier, la justice sociale et environnementale).

MÉTÉO / La météorologie est une science qui a pour objet l'étude des phénomènes atmosphériques, comme, par exemple, la prévision du temps. Par extension, on appelle parfois « météo » le temps qu'il fait, celui-ci étant décrit par plusieurs variables (température, précipitations, nébulosité, vent, etc.).

MARÉE DE TEMPÊTE / Hausse locale du niveau marin due aux vents et aux changements de la pression atmosphérique dus à une tempête.

OBJECTIFS DU DÉVELOPPEMENT DURABLE (ODD) / Les Objectifs de Développement Durable sont la trame générale permettant d'atteindre un avenir meilleur et plus durable pour tous. Ils concernent les grands défis mondiaux auxquels nous sommes confrontés, notamment ceux liés à la pauvreté, aux inégalités, au climat, à la dégradation de l'environnement, à la prospérité, à la paix et à la justice. L'ONU (Organisation des Nations Unies), fondée en 1945 et comprenant 193 États membres, propose des mesures pour résoudre les problèmes auxquels est confrontée l'humanité: elle a ainsi défini dix-sept ODD.

PERGÉLISOL / Sols, roches ou sédiments gelés en permanence, sur une période d'au moins deux années consécutives.

PH / Le pH correspond à la mesure de l'acidité et de l'alcalinité d'une solution, sur une échelle de 0 à 14 où le 7 représente un pH neutre. Une valeur plus faible indique que la solution est plus acide, tandis qu'une valeur plus élevée indique que la solution est plus basique (alcaline).

PHÉNOMÈNES MÉTÉOROLOGIQUES EXTRÊMES / Événements météorologiques rares ou de très forte amplitude affectant généralement l'espèce humaine et les écosystèmes, par exemple les tornades, les tempêtes, les glissements de terrain et les vagues de chaleur marine.

PRODUCTION PRIMAIRE / La production primaire est le processus par lequel un producteur primaire (une cellule ou un organisme végétal) produit sa propre matière organique à partir de matière minérale. Par exemple, les organismes vivants photosynthétiques n'utilisent que de l'eau, des minéraux, du CO₂ et de l'énergie lumineuse pour se développer.

PUITS DE CARBONE / Désigne un réservoir naturel qui a accumulé, au cours du temps, des molécules riches en carbone. Ces puits de carbone aident à réduire la quantité de CO₂ atmosphérique. Parmi ces puits naturels on peut citer les sols et l'océan, mais aussi l'ensemble des végétaux terrestres et aquatiques et le phytoplancton, qui incorporent le CO₂ atmosphérique dans des molécules carbonées en utilisant l'énergie solaire, par photosynthèse.

RAYONNEMENT INFRAROUGE / Partie invisible de la lumière que nous ressentons sous forme de chaleur. Le rayonnement infrarouge joue un rôle clé dans l'effet de serre.

RÉVOLUTION INDUSTRIELLE / Période historique allant de 1760 aux années 1840. Elle marque la transition des sociétés agricoles aux sociétés industrielles. La révolution industrielle a commencé en Europe et aux États-Unis et a entraîné un développement rapide de la productivité, des technologies et de la science et, par conséquent, un accroissement de la population et des émissions de GES.

SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES / L'ensemble des avantages, matériels et immatériels, qu'un écosystème peut procurer aux êtres humains. À titre d'exemple: la production d'oxygène (à travers la photosynthèse), d'aliments, les sources de matières premières ou d'énergie (centrales hydroélectriques), le rôle dans la régulation du climat, la protection des littoraux (récifs coralliens et mangroves) et les loisirs (tourisme), ou encore les dimensions culturelles et religieuses liées à la nature.

STRATIFICATION / L'eau de mer, dans certaines circonstances, se retrouve divisée en couches présentant différentes propriétés: différences de salinité, d'oxygénation, de densité et/ou de température. Le mélange de ces eaux est alors rendu difficile voire impossible, conduisant à un manque de dioxygène et à un manque de nutriments dans certaines couches, ce qui affecte la vie marine.

SYSTÈME CLIMATIQUE / Le climat est un système dynamique complexe dont l'essentiel de l'énergie vient du Soleil. Il est régulé par différents facteurs interagissant et s'influençant mutuellement: atmosphère, océan, continents et biosphère.

TEMPÉRATURE MARINE / Température moyenne de l'eau sur une profondeur s'étendant de 1 mm à 20 m, selon les calculs utilisés.

TRAJECTOIRES D'ÉMISSION / Les trajectoires d'émissions présentent différentes modélisations des émissions futures de GES liés à l'activité humaine, utilisées pour les scénarios climatiques. Ces trajectoires reflètent différents choix de société. Dans la majorité des outils pédagogiques créés par l'OCE, nous nous concentrons sur les scénarios RCP2.6 et RCP8.5 (Representative Concentrations Pathways), issus des rapports du GIEC.

VAGUE DE CHALEUR / Épisode de forte chaleur anormale, avec des températures élevées le jour et pas/peu de refroidissements la nuit. Elle peut durer plusieurs semaines.

VAGUE DE CHALEUR MARINE / Épisode d'une durée minimale de 5 jours pendant lequel les températures océaniques dépassent le maximum saisonnier d'au moins 2°C.

VARIABILITÉ NATURELLE / Variations du système climatique qui ne sont pas liées à l'activité humaine (par exemple, l'alternance des périodes glaciaires et interglaciaires).

VULNÉRABILITÉ / Sensibilité d'une population lorsqu'elle est exposée aux aléas du changement climatique et à ses conséquences. Par exemple, une région de faible altitude disposant d'importantes ressources et infrastructures protégeant son littoral est moins vulnérable à la hausse du niveau marin qu'une même région sans infrastructures de protection côtière et aux ressources économiques modestes.



DOCUMENTATION SCIENTIFIQUE SUR L'OCÉAN, LA CRYOSPHERE ET LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Rapport spécial du GIEC *The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*

www.ipcc.ch/srocc

NASA – Changement climatique mondial : graphiques et multimédia

<https://climate.nasa.gov/resources/graphics-and-multimedia/>

National Snow and Ice Data Center : Images et données satellitaires montrant les grandes variations de la glace de mer dans l'Arctique et l'Antarctique

https://nsidc.org/data/seaice_index/

Plateforme Océan et climat

www.ocean-climate.org/?page_id=4534

UNESCO – Connaissance de l'océan

<https://oceanliteracy.unesco.org/fr/home/>

RESSOURCES PÉDAGOGIQUES DE L'OCE

CLIM – Vidéos éducatives sur l'océan et la cryosphère dans un climat en évolution

www.youtube.com/channel/UCFWnXg29G9npeWgFEaaa05w

IPCC résumés pour les enseignants

<http://www.oce.global/fr/resources/ipcc-summaries-teachers>

Ressources de développement professionnel pour les enseignants

— L'effet de serre : <http://www.oce.global/fr/resources/formation/comprendre-leffet-de-serre>

— Océan et changement climatique : <http://www.oce.global/fr/resources/formation/ocean-et-changement-climatique>

Le climat entre nos mains - Océan et cryosphère

<http://www.oce.global/fr/resources/activites-de-classe/le-climat-entre-nos-mains-ocean-et-cryosphere>

AUTRES RESSOURCES PÉDAGOGIQUES

Dublin City University, Institute of Education : Trócaire and the Centre for Human Rights and Citizenship Education – « Creating Futures »
les ressources produites dans le cadre de « Education for a Just World Initiative »

www.trocaire.org/getinvolved/education/creating-futures

Éco-écoles – Histoires et actualités sur les projets menés dans les écoles

<https://www.eco-ecole.org/>

La main à la pâte – L’océan, ma planète et moi : une unité d’enseignement pour les classes de l’école primaire et du premier cycle de l’enseignement secondaire

<https://www.fondation-lamap.org/fr/ocean>

NASA Climate Kids

<https://climatekids.nasa.gov>

National Oceanic and Atmospheric Administration – Enseignement sur le climat, fiches d’information, plans de cours, études de cas, etc.

<https://oceanservice.noaa.gov/education/pd/climate/welcome.html>

The Sandwatch Foundation – Un réseau d’enfants, de jeunes et d’adultes travaillant ensemble pour améliorer l’environnement de leur plage et renforcer la résilience au changement climatique

www.sandwatchfoundation.org

TROPICSU – Ressources pour les enseignants du secondaire

<https://tropicsu.org/un-resources/>

SIMULATIONS INTERACTIVES

En-ROADS – Simulation utilisée pour comprendre comment nous pouvons atteindre nos objectifs climatiques (lycée)

<https://www.climateinteractive.org/tools/en-roads/>

University of Colorado – Simulation de l’effet de serre (lycée)

<https://phet.colorado.edu/fr/simulation/greenhouse>

University of Manchester – Construisez votre propre Terre (lycée)

<http://www.buildyourownearth.com>

« Les Parties coopèrent en prenant [...] des mesures pour améliorer l'éducation » affirme l'Accord de Paris, tandis que 113 Académies des sciences recommandent, dans leur récente déclaration sur le changement climatique et l'éducation: « Éduquer les générations présentes et futures aux changements climatiques et leur apprendre à agir avec un esprit critique est un cœur plein d'espoir est essentiel pour l'avenir de l'humanité. L'éducation scientifique doit relever ce défi [...] ».

En réponse à ces appels urgents, les climatologues et éducateurs se sont mobilisés pour créer un Office for Climate Education. Les enseignants, et tout particulièrement ceux des écoles primaires et secondaires, sont les acteurs clés pour mettre en œuvre ces recommandations. L'Office produit à leur intention une variété

de ressources basées sur les pédagogies actives. L'Office accompagne sur la période 2018-2022 la publication par le GIEC des « Rapports d'évaluation » et des « Résumés à l'Intention des Décideurs » par des « Rapports et ressources pour les enseignants », qui mettent l'accent sur les problématiques d'adaptation et d'atténuation. Il porte une attention particulière aux pays en développement.

L'Office for Climate Education travaille en étroite collaboration avec les éducateurs et les experts des sciences du climat comme des sciences sociales. Il s'appuie sur un secrétariat exécutif, basé à Paris, et coordonne l'action d'un vaste réseau de partenaires locaux et régionaux, comptant d'ores et déjà une quarantaine de pays. Les ressources sont conçues globalement, puis adaptées

aux différents contextes locaux et testées dans les classes. L'Office participe également à la diffusion de ressources existantes produites dans le même esprit.

L'Office for Climate Education a débuté son activité en 2018 grâce à des soutiens publics et privés provenant de partenaires français et allemands. Il développe son action grâce aux ressources qu'il mobilise et à ses collaborations, en particulier avec le GIEC et l'IAP, l'assemblée des Académies des sciences du monde entier.

<http://oce.global>
contact@oce.global
Office for Climate Education
Institut Pierre-Simon Laplace,
Case 101
4, place Jussieu
75252 Paris Cedex 05 – France

SOUS L'ÉGIDE DE



Under the auspices of
UNESCO



Créé en 2018 à l'initiative de la fondation La main à la pâte et de la communauté des sciences du climat, l'Office for Climate Education (OCE) vise à promouvoir l'éducation au changement climatique dans le monde et à accompagner les professeurs. Depuis 2020, l'OCE est un centre placé sous l'égide de l'UNESCO.

MEMBRES FONDATEURS



AVEC LE SOUTIEN DE

