LE CLIMAT ENTRE NOS MAINS

OCÉAN ET CRYOSPHERE

Manuel à destination des enseignants du primaire et du secondaire

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

Office for Climate Education

UNDER THE AUSPICES OF UNESCO AND THE FOUNDATION LA MAIN À LA PÂTE

Ce document doit être référencé comme suit : **« Le Climat Entre Nos Mains – Océan et Cryosphère, Manuel à destination des enseignants du primaire et du secondaire »**, Office for Climate Education, Paris, 2019.

Coordination :
Mariana Rocha (OCE, France)
David Wilgenbus (OCE, France)
Mathilde Tricoire (OCE, France)

Auteurs (par ordre alphabétique)
Lydie Lescarmontier (OCE, France)
Nathalie Morata (OCE, France)
Mariana Rocha (OCE, France)
Jenny Schlüpmann (Freie Universität, Berlin, Allemagne)
Mathilde Tricoire (OCE, France)
David Wilgenbus (OCE, France)

L'éclairage scientifique a été rédigé par Eric Guilyardi (Institut Pierre Simon Laplace, France) et Robin Matthews (Unité de support technique du GIEC, Groupe de travail 1, Royaume-Uni).

Mise en page et couverture : Mareva Sacoun
Mise en page version française : Gaël Coadic
Traduction française : Charlotte Graff

La rubrique « Remerciements » (page 202) présente une liste complète des personnes ayant apporté leur concours à la réalisation de ce manuel, par leurs révisions, leurs propositions, leurs tests en classe, etc.

Date de publication
Mars 2020

Information
Pour en savoir plus sur le travail de l'OCE (Office for Climate Education) ou obtenir d'autres exemplaires de ce document (disponible en anglais, français, allemand et espagnol en 2020), adressez-vous à :

Office for Climate Education
Fondation La main à la pâte, 43 rue de Rennes, Paris – France
e-mail: contact@oce.global
website: www.oce.global

La version numérique de cette publication peut être visualisée et téléchargée à l'adresse suivante : www.oce.global

Copyright
Ce manuel a été publié par l'OCE (Office for Climate Education) sous la licence Creative Commons suivante : le titulaire des droits autorise le partage, l'utilisation et l'adaptation de l'œuvre originale à des fins non commerciales.

ÉCLAIRAGE SCIENTIFIQUE

SUPPORT POUR ENSEIGNANTS

ÉCLAIRAGE SCIENTIFIQUE

Introduction

Ce document de référence se fonde sur le Rapport Spécial sur les Océans et la Cryosphère face au Changement Climatique (SROCC), publié en septembre 2019 par le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat (GIEC), un organisme de l'ONU (www.ipcc.ch/report/srocc). Il vise à donner un vaste aperçu des thèmes et concepts fondamentaux étudiés dans les plans de cours qui l'accompagnent. Sauf indication contraire, les informations contenues dans ce résumé proviennent du rapport SROCC.

Les océans et la cryosphère (la glace et la neige présentes sur la Terre) s'étendent du sommet des montagnes jusqu'au fond des océans en passant par les tropiques chauds et humides et les pôles froids et secs. Ces domaines étaient jadis considérés comme trop vastes et isolés pour subir les effets de l'activité humaine.
Aujourd'hui, nous sommes témoins de changements rapides dans les océans et la cryosphère. Qui sont les responsables ? Il est indéniable que l'activité humaine et les facteurs qui y sont associés, responsables d'émissions de gaz à effet de serre, mettent en péril les êtres humains et les écosystèmes.

Ce document offre un aperçu de ces changements en traitant six sujets clés :

1. Les mécanismes du changement climatique (principe et évolution actuelle)
2. L'importance des océans et de la cryosphère pour l'espèce humaine
3. Le changement rapide du climat sous l'effet de l'activité humaine
4. L'évolution des océans et de la cryosphère en réponse à ce changement climatique
5. Les conséquences pour l'espèce humaine
6. Les actions envisageables pour atténuer ses effets et nous y adapter

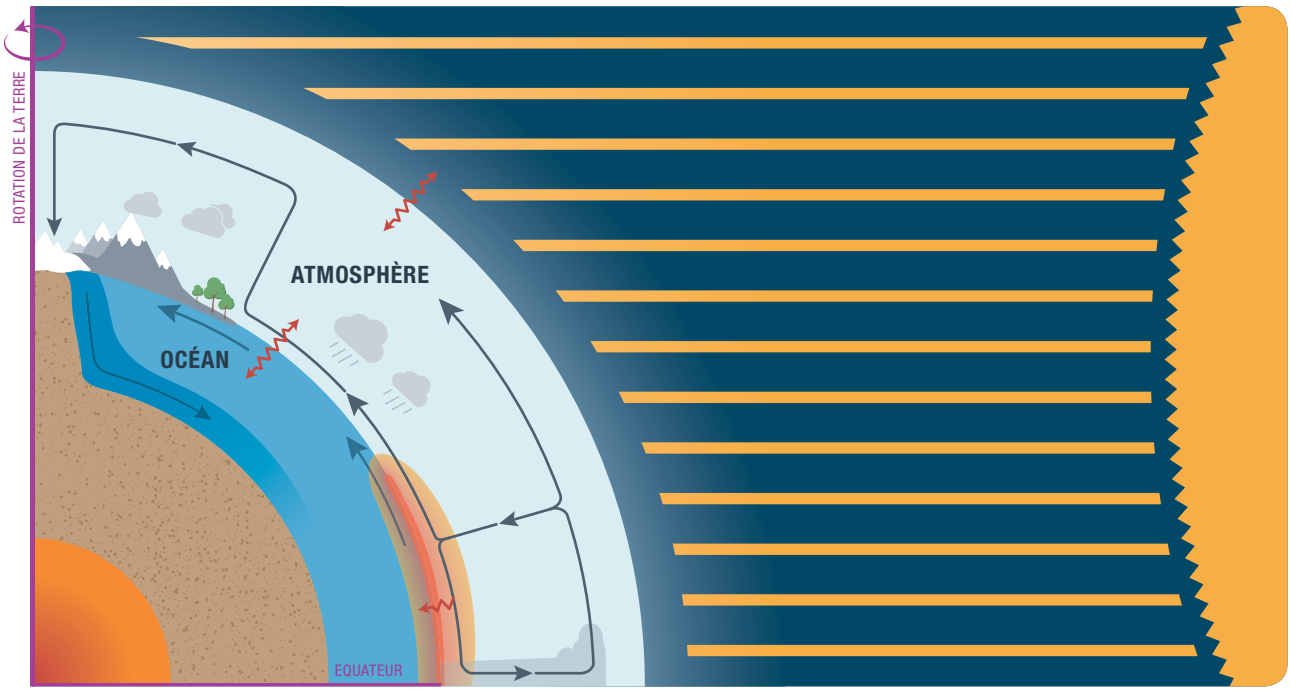
Diamond Beach, Islande.

Les mécanismes du changement climatique

LE CLIMAT ET SES VARIATIONS

Le climat se définit comme la moyenne des conditions météorologiques (précipitations, température, couverture nuageuse, etc.) calculée sur des mois, des années, des décennies, des siècles et plus encore. Au niveau des tropiques, le climat habituel est chaud et humide (on parle de climat tropical), bien que les conditions météorologiques puissent varier d'un jour à l'autre autour de cet « état moyen ». Au-delà des variables géographiques qui expliquent les différents climats sur Terre, le système climatique mondial est un ensemble dynamique, dont les composantes (énergie, eau, carbone et autres) font l'objet d'un échange permanent entre l'atmosphère, l'océan, la cryosphère, la surface terrestre et la biosphère.

L'énergie provenant du Soleil est le principal moteur du système climatique. Du fait de la nature sphérique de notre planète, les rayons du Soleil distribuent inéquitablement l'énergie sur Terre. En effet, les tropiques en reçoivent davantage que les pôles (image ci-dessous). Pour maintenir le climat stable, l'atmosphère et les océans transportent cette énergie supplémentaire des tropiques vers les pôles et jouent le rôle de régulateurs du climat.



Le système climatique reçoit de l'énergie provenant du soleil. Les rayons du soleil distribuent inéquitablement l'énergie sur Terre

Bien que tous deux contribuent à ce transport d'énergie, les mécanismes d'action de l'atmosphère et des océans divergent largement :

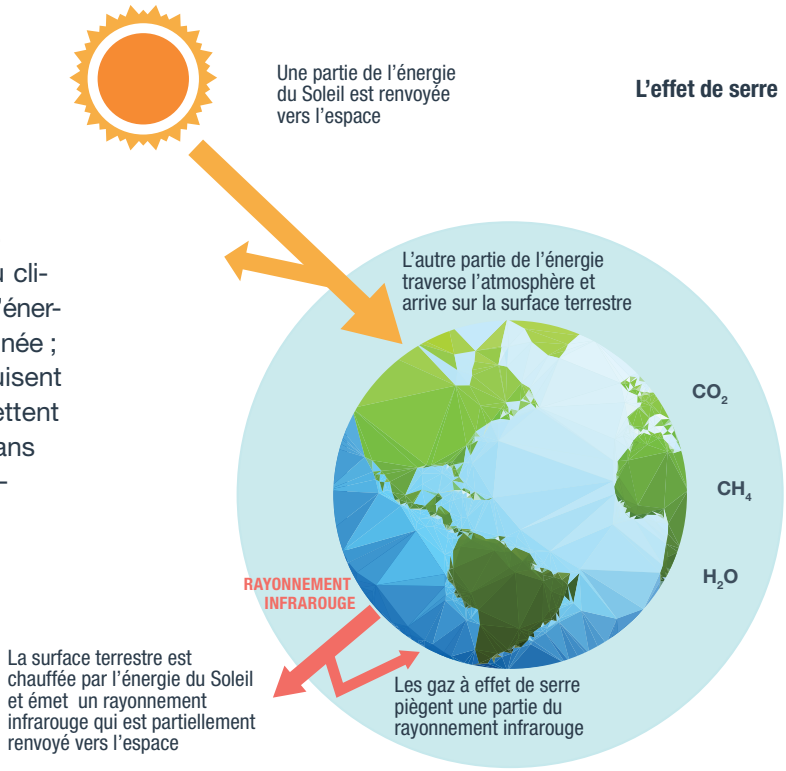
- Les courants lents mais puissants des océans et l'inertie thermique de l'eau, qui ne libère pas la chaleur facilement, assurent le transport d'énergie dans les tropiques ;
- L'atmosphère relâche plus facilement de la chaleur mais ses courants, les vents, sont plus rapides et particulièrement efficaces pour ce qui est du transport d'énergie des tropiques vers les pôles. L'énergie solaire stockée dans l'atmosphère retourne finalement vers l'espace grâce à l'émission d'un rayonnement infrarouge, ce qui permet de garantir un équilibre à l'échelle de la planète entre l'énergie entrante (issue du Soleil) et l'énergie réémise. Le rayonnement infrarouge correspond au rayonnement émis par un corps chaud (ici la surface de la Terre, réchauffée par le Soleil).

Pour détecter les modifications du climat et en déterminer les causes, les scientifiques doivent tout d'abord comprendre les mécanismes qui l'influencent. **Le climat évolue sous l'effet de facteurs externes mais également internes.**

LES FACTEURS EXTERNES

Il existe trois sources principales de variation du climat d'origine externe :

- **les variations de la quantité d'énergie reçue du Soleil,** liées aux taches solaires ou aux changements de l'orbite de la Terre ; par exemple, les saisons que nous connaissons sont des variations du climat dues à des variations de la quantité d'énergie reçue à un endroit donné pendant l'année ;
- **les éruptions volcaniques** qui se produisent sur Terre. Les éruptions massives émettent des aérosols (de petites particules) dans les couches supérieures de l'atmosphère. Tel un parapluie, ces particules bloquent les rayons du soleil et refroidissent la planète pendant quelques années au maximum ;
- **les émissions de gaz à effet de serre** (GES).



Les gaz à effet de serre sont des gaz présents dans l'atmosphère, dont la caractéristique est d'être presque entièrement transparents à la lumière du soleil visible, mais pas au rayonnement infrarouge émis par la surface de la Terre. Ces gaz (eau, vapeur, dioxyde de carbone, méthane, oxydes d'azote, ...) **capturent l'énergie infrarouge et en renvoient une partie vers la surface, réchauffant ainsi les couches inférieures de l'atmosphère et la surface de la Terre.** Ce phénomène est qualifié d'effet de serre. Il s'agit d'un phénomène naturel, essentiel à la vie sur Terre. Sans celui-ci, la température moyenne mondiale serait d'environ -18 °C au lieu de +15 °C. L'activité humaine, en produisant pour l'essentiel du dioxyde de carbone, du méthane et des oxydes d'azote, augmente les quantités de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Ces gaz sont les principaux responsables du changement climatique anthropique, c'est-à-dire dû à l'activité humaine. Du fait de leur origine, on les qualifie de facteurs externes.

LES FACTEURS INTERNES

Le climat connaît aussi des variations internes qui relèvent de mécanismes qui sont propres au fonctionnement du système climatique. **Ces variations impliquent des échanges d'énergie entre les océans, l'atmosphère et la cryosphère.** Le phénomène El Niño est la source de variations internes la plus active d'une année à l'autre (voir encadré page 6). Il se déroule dans le Pacifique tropical mais affecte presque toute la planète. Les modifications des courants océaniques peuvent aussi entraîner des changements du climat régional au fil des décennies.

Par exemple, le refroidissement de l'Océan Atlantique Nord dans les années 1970 et 1980 a provoqué de graves sécheresses dans le Sahel (au sud du désert du Sahara).

LE RÔLE SPÉCIFIQUE DE L'OCÉAN

L'océan joue un rôle central dans le système climatique. Il peut stocker une quantité très importante de chaleur. Les deux à trois premiers mètres de l'océan contiennent autant d'énergie thermique qu'il y en a dans toute l'atmosphère. C'est ce qui explique la forte influence de l'océan sur le système climatique au fil des saisons, voire des siècles, puisqu'il régule la chaleur de la planète, générant ainsi des variations internes lentes du climat.

Les courants et la circulation océaniques jouent un rôle essentiel : ils régulent le climat et préservent la vie sous-marine en transportant chaleur, carbone, oxygène et nutriments à travers l'océan.

L'océan stocke également une très grande quantité de carbone. À l'heure actuelle, il emmagasine environ 38 000 gigatonnes (Gt) de carbone (1 gigatonne = 1 000 000 000 tonnes), soit 16 fois plus que l'ensemble des végétaux sur terre et des sous-sols terrestres, et près de 60 fois plus que l'atmosphère. L'océan échange de grandes quantités de carbone

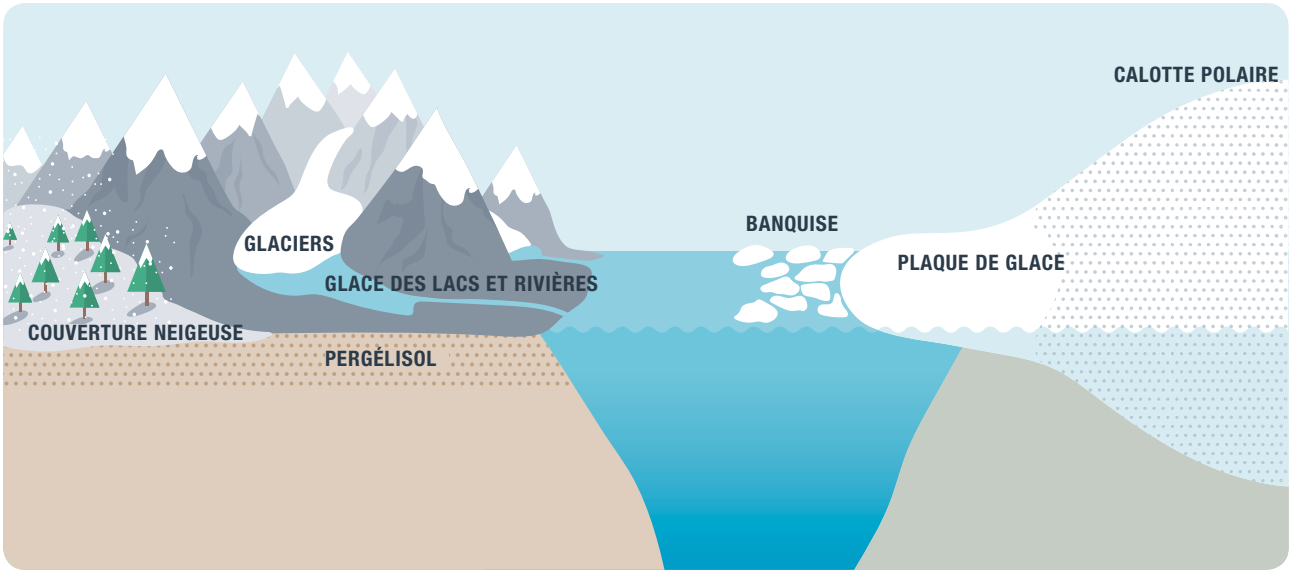
avec le reste du système climatique : environ 100 Gt de carbone sont brassées chaque année au niveau de l'interface air-mer. Dans l'océan, la répartition du carbone est contrôlée par deux « pompes » à carbone qui le transfèrent depuis la surface vers le fond de l'océan. La pompe physique correspond à l'absorption par l'eau froide du dioxyde de carbone (CO_2) présent dans l'atmosphère, entraîné ensuite en profondeur. La deuxième pompe implique un processus biologique : les espèces marines photosynthétiques, telles que le phytoplancton, absorbent le CO_2, comme sur le continent. Une partie de la matière organique ainsi créée se dépose au fond de l'océan et soustrait alors du CO_2 de l'atmosphère.

LE RÔLE SPÉCIFIQUE DE LA CRYOSPHÈRE

La cryosphère se compose de glace et de neige qui se présentent sous différentes formes :

- dans l'océan : **la banquise**, correspondant à de la glace. Elle est composée d'eau de mer glacée ;
- sur les continents : les **glaciers** sur les terres émergées, les deux **calottes glaciaires** (le Groenland et l'Antarctique), le **pergélisol** (sol gelé en permanence), la « **neige saisonnière** », ainsi que les **lacs et fleuves gelés**. Les glaciers et les calottes glaciaires sont issus d'une accumulation graduelle de neige, qui avec le temps se comprime jusqu'à former de la glace, s'écoulant ensuite très lentement en aval. Les calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique atteignent par endroits plusieurs kilomètres d'épaisseur. Une fois la côte et l'océan atteints suite à leur écoulement, les calottes glaciaires forment des plateformes épaisses de glace flottantes rattachées à la terre, que l'on qualifie de plaques de glace.

La cryosphère influence le climat de différentes manières. Premièrement, elle **fait partie intégrante du cycle global de l'eau** et abrite les trois quarts de l'eau douce présente sur Terre. Deuxièmement, du fait de leur **fort pouvoir réfléchissant** (ou « albédo »), la glace et la neige servent de « miroirs » et une grande proportion du rayonnement solaire qu'elles reçoivent est réfléchie vers l'espace. Troisièmement, la formation et la fonte de la banquise aux pôles **contribuent à la circulation océanique** en modifiant la salinité de l'eau de mer. Enfin, **le pergélisol participe de façon majeure au cycle du carbone de la planète.**



Les composantes de la cryosphère. Le « sol gelé » est aussi appelé pergélisol.
Adapté de l'image 4.25 du Rapport du Groupe de travail I du GIEC (IPCC WG1 AR5, 2013)

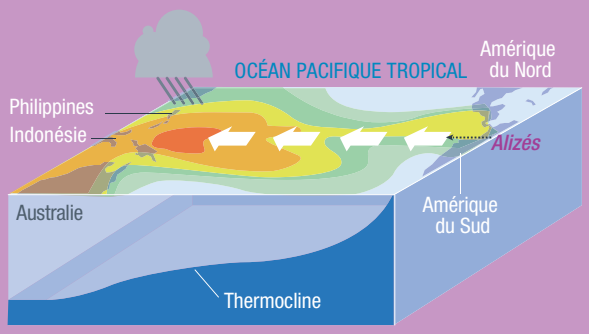
EL NIÑO, « L'ENFANT TERRIBLE DU PACIFIQUE »

Certaines années, un réchauffement anormal se produit dans le Pacifique central et oriental, un événement connu sous le nom d'El Niño. De tels événements se produisent à quelques années d'intervalle. Durant les dernières décennies, plusieurs épisodes ont été observés. À titre d'exemple, on peut citer l'événement majeur de 1997/1998 et plus récemment celui de 2015/2016.

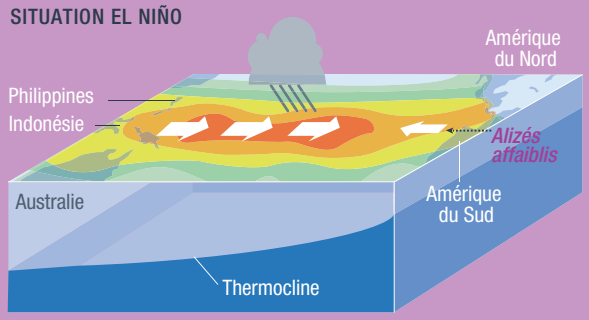
El Niño résulte d'un échange d'énergie anormal entre l'océan et l'atmosphère (cf schémas ci-dessous) : les vents alizés circulant vers l'ouest, qui sont en temps normal responsables d'un stockage des eaux chaudes tropicales autour de l'Indonésie, s'affaiblissent subitement. Par conséquent, les eaux du Pacifique Est se réchauffent, ce qui affaiblit d'autant plus ces alizés et peut même conduire à leur inversion. Le nom El Niño a été inventé par des pêcheurs péruviens qui ont remarqué que ce courant chaud annuel qui apparaissait aux alentours de Noël (d'où son nom El Niño, « l'enfant ») durait parfois toute l'année.

El Niño a des conséquences profondes pour l'espèce humaine et l'environnement à l'échelle mondiale. Étant à l'origine de variations dans les régimes du vent et de la pluie, il est redouté dans de nombreuses régions du Pacifique tropical. Sur les côtes du Pérou et du Chili, la pêche habituellement abondante cesse pendant El Niño puisque les nutriments, transportés par les eaux froides profondes, ne parviennent plus à la surface pour nourrir les poissons. Dans le Pacifique Ouest, les pluies habituellement intenses se déplacent plus à l'est, provoquant des sécheresses dévastatrices en Indonésie, aux Philippines et en Australie. Les moussons d'été, dont la moitié de la population mondiale est tributaire, sont perturbées, particulièrement en Chine, en Inde, en Australie, au Sahel et au Brésil. Ces incidences majeures peuvent dorénavant être anticipées. En effet, grâce aux prévisions « saisonnières », il est possible de prévoir El Niño des mois à l'avance.

SITUATION NORMALE



SITUATION EL NIÑO



L'importance des océans et de la cryosphère pour l'espèce humaine

À la fois vastes et riches en ressources, les océans et la cryosphère jouent un rôle essentiel pour les sociétés humaines. **Ils nous rendent de nombreux services, qu'ils soient matériels et immatériels,** depuis notre alimentation jusqu'à nos loisirs.

L'IMPORTANCE GÉOGRAPHIQUE DES OCÉANS ET DE LA CRYOSPHÈRE

L'océan recouvre près des deux tiers de la surface de la Terre ; elle est ainsi parfois qualifiée de « Planète Bleue ». Si la surface de l'océan peut sembler homogène, sa température, sa salinité, sa couleur et ses écosystèmes ne sont néanmoins pas constants à l'échelle du globe. Les récifs coralliens et les mangroves se développent dans les eaux chaudes et côtières des tropiques, tandis que la banquise et les algues qui l'accompagnent se situent aux pôles. Les herbiers marins se retrouvent quant à eux le long de toutes les côtes, à l'exception de celles des mers polaires[1].

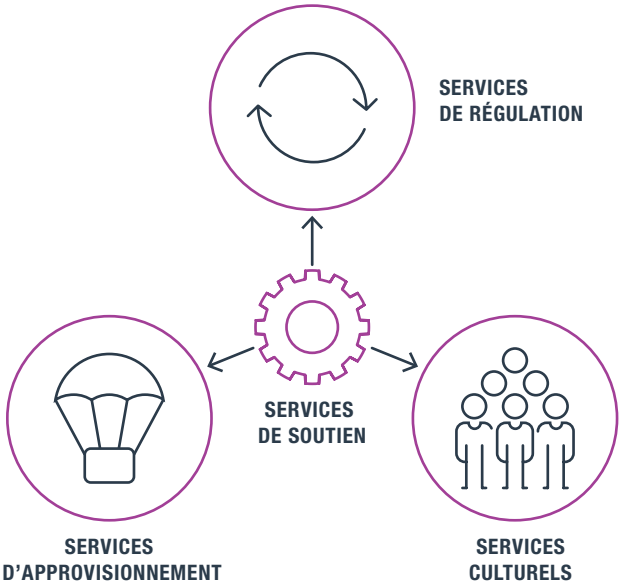
La cryosphère est également vaste ; les immenses calottes glaciaires de l'Antarctique et du Groenland représentent près de 10 % de la surface émergée de la Terre[2]. Il existe également près de 200 000 glaciers à travers le monde[3], notamment ceux situés à haute altitude dans les tropiques (si haut qu'il y fait froid, en dépit des latitudes tropicales). Fait moins connu, près d'un quart des terres de l'hémisphère nord est recouvert par du pergélisol[4]. Certaines composantes de la cryosphère sont soumises à des variations saisonnières. Ainsi, chaque hiver, la neige recouvre près d'un tiers des terres de l'hémisphère nord (« neige saisonnière »), alors que la banquise en Arctique et en Antarctique s'étend chaque hiver et se rétracte à l'été.

Espèces humaine, animales ou végétales, océans et cryosphère, cohabitent. Nombre de mégalopoles à travers le monde, notamment Tokyo, Bangkok et New York se situent sur la côte et en 2010 près de **30 % de la population mondiale vivait à moins de 100 km de l'océan. Environ 10 % de la population mondiale vit dans les régions de haute montagne,** tandis que 4 millions de personnes, notamment des populations indigènes, vivent en Arctique. Contrairement à ce pôle nord, l'Antarctique, protégé par un traité international, peut seulement faire l'objet de visites ponctuelles (de scientifiques, d'explorateurs et de touristes) et n'a pas de résidents permanents.

1 Short et al. (2007). Diversité et répartition mondiale des herbiers marins : un modèle biorégional
2 Chapitre 4 Rapport GIEC WG1 AR5
3 Pfeffer et al. (2014). L'inventaire des glaciers Randolph : un inventaire complet des glaciers
4 Gortnitz, V. (2019). Vanishing Ice: Glaciers, Ice Sheets and Rising Seas (Disparition des glaces : glaciers, calottes glaciaires et hausse du niveau marin)

LES SERVICES RENDUS PAR LES OCÉANS ET LA CRYOSPHÈRE

Les ressources et services que les océans et la cryosphère nous rendent peuvent être répartis en différents **services écosystémiques,** parmi lesquels il est possible de distinguer quatre types principaux : **régulation, approvisionnement, culture** et **soutien.**



LES SERVICES DE RÉGULATION

Nous avons déjà vu comment les océans et la cryosphère **aident à réguler le climat à l'échelle mondiale** en tant qu'acteurs majeurs du cycle du carbone, mais également en modulant le bilan radiatif terrestre. Ces mécanismes font partie des services de régulation, tout comme les fonctions qu'exercent les récifs coralliens et les mangroves qui œuvrent à la protection du littoral.

LES SERVICES D'APPROVISIONNEMENT

Les océans et la cryosphère fournissent également des services d'approvisionnement, notamment en ce qui concerne **l'alimentation, l'eau et l'énergie.** La pêche constitue une ressource alimentaire essentielle à l'échelle mondiale ; le poisson et les crustacés représentent plus de 50 % des protéines animales consommées dans de nombreux pays en voie de développement[5]. L'océan nous fournit aussi de l'énergie renouvelable sous forme d'énergie houlomotrice et marémotrice ainsi que du pétrole, du gaz et des minerais contenus dans les roches du plancher océanique. Les glaciers alimentent les bas-

5 http://www.fao.org/fishery/topic/16603/en

La durabilité des **écosystèmes que constituent les récifs coralliens** est conditionnée par les interactions entre les nombreuses espèces animales et végétales.

sins hydrographiques en eau douce, utilisée ensuite pour l'irrigation et la production hydroélectrique. Près de 800 millions de personnes[6] sont en partie dépendantes de l'eau qui s'écoule des glaciers de l'Himalaya. Le **transport** est un autre type de service d'approvisionnement. L'hiver, les rivières glacées en Arctique constituent un réseau de transport, les routes de glace, même si la majorité des marchandises transportées à travers le monde le sont par voie maritime à travers les océans.

LES SERVICES CULTURELS

Les services culturels forment une troisième catégorie de services écosystémiques. Les océans et la cryosphère sont en effet créateurs d'emplois dans **l'industrie de la pêche et des loisirs** (à travers les sports nautiques, les plages, etc.). En outre, un certain nombre de **traditions et de cultures locales** s'en inspirent, de même que des **croyances religieuses** concernent les glaciers de haute montagne.

LES SERVICES DE SOUTIEN

Enfin, les services de soutien, comme la **production primaire** (par ex. celle assurée par le phytoplancton océanique, à la base de nombreuses chaînes alimentaires marines), le **cycle des nutriments** ou encore la **formation des sols, viennent s'ajouter aux trois types de services précédents.**

BIODIVERSITÉ

Tout comme les services de soutien, la biodiversité, qui désigne la diversité des organismes, qu'ils soient microscopiques ou de grande taille, contribue aux services écosystémiques, notamment à travers les nombreux réseaux existant entre les êtres vivants. Ceux-ci assurent des fonctions fondamentales parmi lesquelles on peut citer la photosynthèse. **Les écosystèmes les plus diversifiés présentent également une meilleure résilience face au changement climatique**[7].

Les océans abritent une riche biodiversité concentrée dans des « creusets », comme les écosystèmes coralliens. Des êtres vivants unicellulaires microscopiques et photosynthétiques qualifiés de phytoplancton forment la base de la plupart des chaînes alimentaires marines et sont consommés par des animaux – souvent microscopiques – appelés zooplancton. À l'extrémité de ces réseaux alimentaires se trouvent les requins et les mammifères marins, tels que les phoques et les baleines, dont certains migrent sur de longues distances à travers l'océan. La diversité des espèces assure le maintien des fonctions écosystémiques. Toutefois, chaque écosystème dispose de ses propres organismes

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

7 Epple and Dunning (2014). Résilience écosystémique face au changement climatique : qu'est-ce que c'est et comment y répondre dans un contexte d'adaptation au changement climatique ? PNUE - WCMC.

spécifiques. Au niveau des récifs, outre le corail, on trouve des algues, des vers, des mollusques, des éponges, des oursins et des poissons. Les forêts de laminaires (de grandes algues formant des rubans) sont un type d'écosystème côtier se développant dans des eaux froides et dont les laminaires constituent une source d'alimentation et un habitat pour une myriade d'organismes. Bien que nos connaissances en matière de biodiversité océanique progressent rapidement avec la découverte de nouvelles espèces chaque année[8], elles demeurent encore limitées. Les biologistes marins estiment que des centaines de milliers d'espèces nous restent inconnues à ce jour.

Le changement rapide du climat sous l'effet de l'activité humaine

L'ACTIVITÉ HUMAINE ÉMET DES GAZ À EFFET DE SERRE RESPONSABLES DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

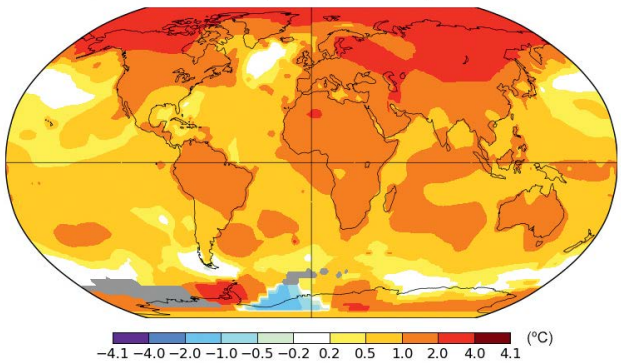
La physique des gaz à effet de serre est bien connue depuis maintenant des décennies : **si l'on augmente la concentration de ces gaz dans l'atmosphère, une plus grande quantité d'énergie est alors stockée dans les basses couches de l'atmosphère, conduisant au réchauffement que l'on connaît.** L'activité humaine modifie les concentrations de GES de deux façons :

- par l'extraction d'anciens combustibles fossiles stockés dans des couches souterraines (charbon, pétrole et gaz) et par leur combustion ($C + O_2 \rightarrow CO_2$) ;
- par la déforestation, qui diminue le stockage naturel de CO_2 qu'offrent les forêts et par les modifications dans les méthodes d'exploitation des terres.

Au cours du dernier million d'années, le niveau de CO_2 dans l'atmosphère a fluctué entre 180 et 280 ppm (parties par million)[9]. Les limites inférieures et supérieures correspondent respectivement aux périodes glaciaires (plus froides) et aux périodes interglaciaires (plus chaudes). La planète se trouve dans une période interglaciaire depuis près de 10 000 ans. En l'espace de 150 ans, la concentration atmosphérique en CO_2 a augmenté de plus de 40 %, avoisinant 410 ppm au cours de l'année 2018[10]!

Cette augmentation fulgurante est pour la majeure partie **directement due à l'utilisation de combustibles fossiles**, qui a débuté à grande échelle avec la révolution industrielle au 19e siècle. Sur la même période, la concentration en méthane a augmenté de 160 % et la concentration en oxydes d'azote de 20 %. Les sources de méthane associées aux activités humaines incluent la digestion des ruminants, la riziculture et les fuites liées à l'exploitation gazière et pétrolière. Les oxydes d'azote sont principalement émis par l'agriculture et l'utilisation d'engrais artificiels et de fumier.

À cause de cette augmentation en GES, la température mondiale de notre planète a augmenté d'environ 1°C, entre l'ère pré-industrielle et 2018[11]. Les scientifiques estiment que nos émissions directes de CO_2, de méthane et les modifications dans l'exploitation des terres (telle que la déforestation) contribuent respectivement à ce réchauffement climatique à hauteur de 70 %, 20 % et 10 %.



Le réchauffement climatique observé en degrés Celsius : variation de la température de surface entre 1950 et 2018 Source : NASA-GISS: https://data.giss.nasa.gov/gistemp/maps/index_v4.html

8 World Register of Marine Species (Base de données qui fournit une liste à jour des noms des organismes marins) : http://www.marinespecies.org/index.php

9 https://climate.nasa.gov/climate_resources/24/graphic-the-relentless-rise-of-carbon-dioxide/

10 https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/

11 Rapport Spécial du GIEC « Réchauffement climatique à 1,5 °C » ; https://www.ipcc.ch/sr15

LES OCÉANS ET LA CRYOSPHÈRE RALENTISSENT LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Aujourd'hui, sur les 40 milliards de tonnes de CO_2 produits chaque année par l'activité humaine, moins de 50 % persistent dans l'atmosphère[12]. Le reste est absorbé en proportions sensiblement équivalentes par la végétation terrestre, dont la croissance est stimulée, et par les océans. Sans ces deux « puits » de carbone, le réchauffement climatique aurait largement dépassé le degré. En plus d'absorber le CO_2 atmosphérique, les océans, grâce à leur énorme capacité thermique, freinent le réchauffement climatique en absorbant et ainsi en **retirant de l'atmosphère plus de 90 % de l'excès de chaleur produit par le réchauffement climatique.** Bien qu'avantageux sous certains aspects, ces deux services que nous rendent les océans ont d'autres conséquences néfastes. Comme l'explique la partie suivante de manière plus exhaustive, les océans paient un lourd tribut : une température et une acidité accrues ainsi qu'une hausse du niveau marin.

LA MODIFICATION DE L'ALBÉDO RENFORCE LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

En Arctique, région recouverte par les glaces durant certaines saisons, l'accélération du réchauffement s'explique par la boucle de rétroaction positive suivante : à mesure que la température augmente, la glace et la neige fondent, réduisant ainsi leur effet « miroir » (réflexion de la lumière du Soleil vers l'espace), augmentant la chaleur absorbée et induisant une variation du degré d'humidité, ce qui accentue le réchauffement de l'océan Arctique et la fonte de la banquise. Cette rétroaction s'opère aussi dans les zones de glaciers et les régions montagneuses recouvertes de neige.

Environ 1 % de l'excès de chaleur résultant du réchauffement climatique provoque une fonte des glaciers et des calottes, extrayant ainsi cette chaleur de l'atmosphère.

LE RÉCHAUFFEMENT N'EST PAS UNIFORME

Comme le montre la répartition du réchauffement climatique à l'échelle mondiale (image à la page précédente), les régions hors des tropiques se réchauffent davantage ; l'Arctique quant à lui se réchauffe deux fois plus vite que la moyenne mondiale. Par rapport à l'océan, les continents disposent d'une capacité thermique moindre et l'énergie y est très difficilement transportée en profondeur, ce qui les réchauffe d'autant plus. Cet effet peut notamment s'observer en été à des latitudes tempérées où les régions côtières, où règne un climat océanique, sont généralement plus fraîches que les régions localisées plus à l'intérieur des terres, sous l'influence d'un climat continental.

L'impact du changement climatique sur l'océan et la cryosphère

Les émissions de gaz à effet de serre générées par les activités humaines amplifient l'effet de serre naturel de la planète. **Le réchauffement de l'océan et de l'atmosphère qui en découle peut s'intensifier ou s'atténuer par le biais de mécanismes opérant au sein du système climatique, appelés rétroactions** (comme c'est le cas pour l'albédo, vu précédemment).

Par exemple, avec l'augmentation des températures mondiales, l'eau des océans et des lacs s'évapore en plus grande quantité dans l'atmosphère. Il s'agit là d'une rétroaction positive qui amplifie le réchauffement, la vapeur d'eau étant l'un des principaux gaz à effet de serre.

12 https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/ & IPCC Special Report "Global warming of 1.5°C"

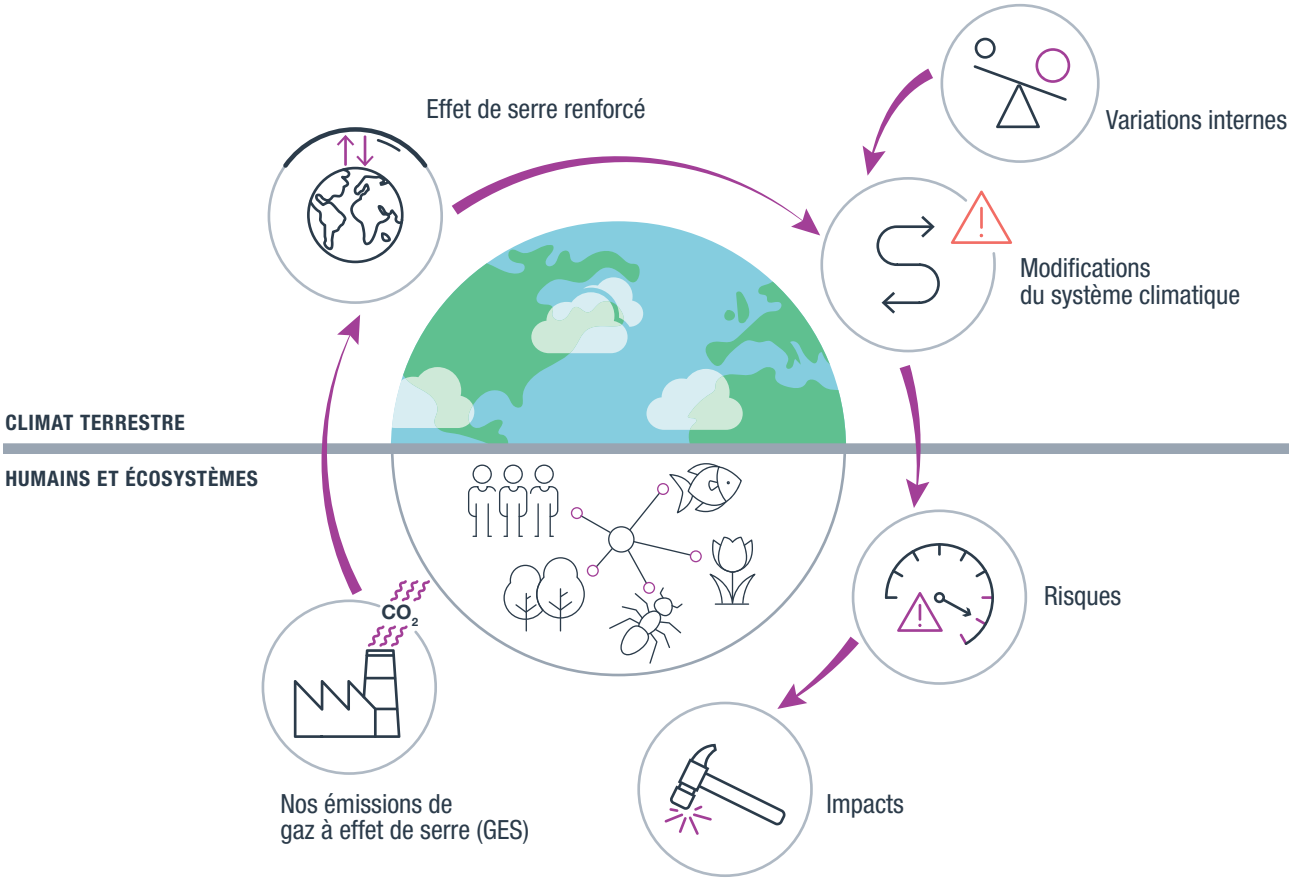


Diagramme représentant le devenir des émissions de gaz à effet de serre et les impacts du changement climatique.

LES CONSÉQUENCES SUR L'OCÉAN ET LA CRYOSPHÈRE

Le diagramme ci-dessus illustre les multiples interactions entre l'activité humaine et le système climatique. La moitié supérieure du schéma (au-dessus de la ligne grise) présente les modifications affectant le climat terrestre, tandis que l'autre moitié illustre les paramètres anthropiques et écosystémiques. Les flèches violettes sur la gauche suivent le parcours des gaz à effet de serre, depuis leur émission (qui peut être atténuée, c'est-à-dire empêchée), jusqu'aux risques et impacts qu'ils engendrent à travers le réchauffement climatique (illustrés à droite). Au centre se trouvent ce que l'on appelle les « aléas climatiques », c'est-à-dire tous les changements physiques et chimiques du système climatique, tels que le réchauffement de l'atmosphère et de l'océan, la fonte des glaciers et des calottes polaires, ou encore la hausse du niveau marin. L'ampleur de ces phénomènes dépend de l'importance du réchauffement climatique, et donc de la quantité de gaz à effet de serre libérés. L'ensemble des mesures prises dans le but de réduire les émissions de gaz à effet de serre s'appelle l'atténuation.

Il est difficile de déterminer avec certitude les conséquences exactes de ces aléas climatiques sur une zone géographique précise, en partie à cause des variations internes du système climatique évoquées précédemment. En effet, une zone géographique donnée pourrait être frappée par des tempêtes devenues extrêmement violentes sous l'effet du changement climatique ou non – il est cependant certain que la nature des tempêtes évoluera sous l'influence du réchauffement de la planète. Il est donc plus judicieux d'adopter une approche fondée sur le risque qui vise à évaluer la probabilité et l'ampleur d'une tempête potentielle. Il est ensuite possible de prendre des mesures pour réduire le niveau de risque (et ainsi les dégâts qu'engendrerait une tempête) grâce à l'adaptation, dont il sera question dans la dernière partie.

Par la suite, nous présenterons les différentes composantes de l'océan et de la cryosphère en **analysant l'impact qu'a déjà le changement climatique sur celles-ci et nous tenterons d'envisager ce qui pourrait se produire à l'avenir.**

LA FONTE DES GLACIERS ET DES CALOTTES POLAIRES

Avec l'augmentation de la température atmosphérique, la surface des glaciers et des calottes glaciaires est de plus en plus exposée à des épisodes de fonte, qui représentent une perte de masse de glace, que le gain de masse par l'accumulation de neige fraîche ne parvient pas toujours à compenser. Globalement, les glaciers et les calottes réagissent lentement aux changements de température, étant donnée leur forte **inertie thermique**. Du fait de cette inertie et des rétroactions mentionnées ci-dessus, les **glaciers et calottes glaciaires continueront à fondre pendant des siècles, voire des millénaires après la fin de l'augmentation des températures mondiales.** À quelques exceptions près, tous les glaciers du monde diminuent en masse et en envergure. Entre 2006 et 2015, la calotte glaciaire du Groenland a perdu 278 Gt/an et celle de l'Antarctique perd l'équivalent de 155 Gt/an de masse. Ces rythmes de fonte équivalent à une hausse du niveau marin de 0,77 et 0,43 mm/an respectivement. Partout dans le monde, la masse des glaciers diminue à la même vitesse que la calotte glaciaire du Groenland.

LA FONTE DU PERGÉLISOL

Le pergélisol correspond à un sol gelé en permanence, fait de terre, de roche ou autre, et qui se maintient à une température égale ou inférieure à 0 °C. **La température du pergélisol augmente en Arctique et dans les régions montagneuses** en réponse au réchauffement de l'atmosphère. Si la température du pergélisol dépasse 0 °C, le sol fond, ce qui a deux conséquences :

- une instabilité du sol, pouvant potentiellement endommager les bâtiments et les routes de l'Arctique, ou entraîner des éboulements dans les régions montagneuses ;
- la décomposition de la matière organique contenue dans le pergélisol, libérant ainsi des gaz à effet de serre (CO_2 et méthane), voire potentiellement des virus et des bactéries.

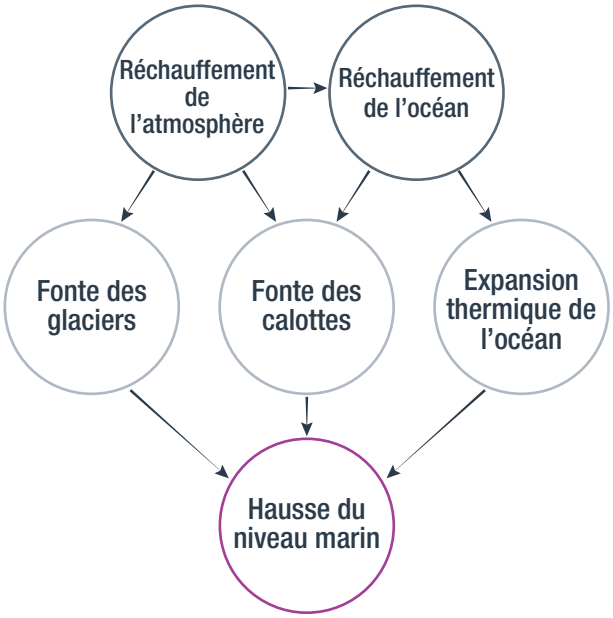
La quantité de gaz à effet de serre libérée lors de la fonte du pergélisol au cours du 21e siècle dépendra du niveau du réchauffement climatique. Selon les estimations, des dizaines voire des centaines de gigatonnes pourraient être émises. À titre de comparaison, l'être humain a déjà rejeté dans l'atmosphère environ 2 200 Gt de dioxyde de carbone depuis la révolution industrielle.

LA HAUSSE DU NIVEAU MARIN

À l'échelle mondiale, le niveau marin moyen a augmenté d'environ 15 cm depuis 1900 et cette hausse s'est accélérée, passant de 1,5 à 3,6 mm/an au cours de cette période. Elle découle de l'augmentation du volume de l'océan. Tel qu'illustré ci-dessous, deux phénomènes peuvent l'expliquer :

- **un apport en eau plus important** dans les océans du fait de la fonte de glaciers continentaux (glaciers de montagne et calotte glaciaire) ;
- **la dilatation thermique de l'eau de mer,** conséquence du réchauffement de l'océan – l'eau, sous l'effet de la chaleur, gagne en volume.

La dilatation thermique explique environ la moitié de la hausse du niveau marin observée depuis les années 1990, l'autre moitié étant due à la fonte des glaciers continentaux, bien que ce deuxième facteur soit aujourd'hui prédominant. **Le niveau marin continuera d'augmenter progressivement pendant des siècles après la fin du réchauffement climatique.** Il devrait augmenter d'encore 20 cm, atteignant ainsi plus d'1 m d'ici la fin du siècle, en fonction de la quantité de gaz à effet de serre émise et de la vitesse de réaction des calottes polaires.



Le réchauffement de l'atmosphère et de l'océan et leur contribution à la hausse du niveau marin. À noter : certains glaciers s'écoulant dans l'océan, il serait donc possible d'ajouter une flèche entre « réchauffement de l'océan» et « fonte des glaciers » .

À l'échelle locale, d'autres facteurs entrent en jeu. Ainsi, des épisodes marins extrêmes, tels que des tempêtes ou des changements du régime des vents

peuvent survenir. Les transformations du relief – affaissement ou redressement – peuvent également modifier le niveau de l'eau par rapport au sol. Ces bouleversements peuvent avoir des conséquences dramatiques : à Jakarta par exemple, l'extraction des eaux souterraines et le tassement des sédiments ont engendré, depuis 1980, un affaissement du sol de plusieurs mètres dans certaines parties de la ville.

LA BANQUISE

Bien qu'elle ne contribue pas à la hausse du niveau marin puisqu'elle baigne déjà dans l'océan, il a été constaté un rapide recul de la banquise estivale en Arctique au cours des dernières décennies[13]. La surface de la banquise recouvrant l'Arctique varie en fonction des saisons : elle est maximale en mars et minimale en septembre. Cependant, **depuis 1980, la couverture de glace du mois de septembre a rétréci d'environ 40 %**[14]. Outre cette diminution, **l'âge et l'épaisseur moyens de la glace connaissent également un déclin.** À l'hiver 1980, environ 30 % de la glace avait au moins cinq années d'ancienneté (ayant donc survécu à plusieurs saisons de fonte des glaces) – alors qu'aujourd'hui cette proportion n'est que de 2 %. En outre, **la banquise de la région centrale de l'Arctique a perdu les ¾ de son épaisseur par rapport à 1975 :** elle atteint aujourd'hui 1,25 cm contre 3,5 cm en 1975. Ce rétrécissement est la conséquence des rétroactions positives susmentionnées qui font intervenir l'albédo de la glace et de l'océan. Contrairement à l'Arctique, **la banquise de l'Antarctique est restée stable au cours des 40 dernières années.**

STRATIFICATION DE L'OCÉAN, VAGUES DE CHALEUR OCÉANIQUES ET RÉDUCTION DE LA TENEUR EN OXYGÈNE

L'augmentation des températures altère la structure physique de l'océan et a des répercussions sur la vie sous-marine. L'océan étant chauffé du haut vers le bas, la surface de l'eau, moins dense, se réchauffe plus rapidement que les couches plus profondes et plus denses. **La différence de densité entre les eaux de surface et les couches plus profondes se renforce** (un processus appelé **stratification**), ce qui rend le brassage de nutriments difficile entre les eaux plus profondes et les eaux de surface, pauvres en nutriments. Ce manque de brassage entraîne une **diminution de l'approvisionnement des eaux profondes en oxygène** provenant de la surface : on parle alors **de désoxygénation.** Les 1 000 premiers mètres de l'océan ont ainsi perdu 0,5 à 3 % de leur oxygène depuis 1970.

Outre ces changements graduels, **on observe un nombre croissant** d'épisodes extrêmes d'augmentation de la température de l'océan, aussi appelés **vagues de chaleur océaniques.** Ces épisodes de réchauffement peuvent également provoquer le **blanchissement massif des coraux, responsable de leur dépérissement.** La vague de chaleur de 2014 à 2017 qui a touché 75 % des récifs en est un bon exemple. Par ailleurs, cette tendance devrait se poursuivre : il est estimé que 75 % des récifs coralliens sont voués à disparaître si les températures mondiales augmentent encore seulement de 0,5 °C et si les facteurs de stress locaux d'origine anthropique et nuisibles au corail ne sont pas contenus.

LE RÉCHAUFFEMENT DE L'OCÉAN

En plus de contribuer à l'augmentation de la fréquence des vagues de chaleur océaniques, **le réchauffement de l'eau de mer réduit également l'efficacité de l'absorption physique du CO_2 par l'océan,** ce qui pourrait amoindrir la portée de son action, pourtant essentielle dans le ralentissement du réchauffement climatique.

L'ACIDIFICATION DE L'OCÉAN

L'absorption du CO_2 anthropique par l'eau de mer provoque une augmentation de l'acidité de l'océan, phénomène qualifié d'acidification. Il s'agit de « l'autre problème » avec le CO_2. Lors de sa dissolution dans l'eau de mer, le CO_2 produit de l'acide carbonique qui, à la suite de réactions chimiques, libère différents ions. Ces réactions entraînent une augmentation de la concentration en ions hydrogène, à l'origine de l'acidification, et une diminution de la concentration des ions carbonate. Ces derniers sont des composants clés dans la fabrication des coquilles des mollusques et des squelettes des coraux, qui sont composés de carbonate de calcium. À l'échelle mondiale, le pH moyen des océans a diminué d'environ 0,1 unité depuis la révolution industrielle pour atteindre aujourd'hui 8,05. Or, plus une solution est acide, plus son pH est faible[15].

13 https://nsidc.org/arcticseaicenews/charctic-interactive-sea-ice-graph/

14 http://nsidc.org/arcticseaicenews/2017/10/arctic-sea-ice-2017-tapping-the-brakes-in-september/

15 SPM WG1 AR5 : https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/

Notons que la limite acidité/alcalinité établie à 7 s'applique difficilement à l'eau de mer puisque **toute réduction du pH peut avoir un impact sur la calcification de certains organismes marins au cours de leur développement.** Ainsi, une baisse de pH peut avoir des répercussions même si celui-ci n'est pas inférieur à 7.

LA CIRCULATION OCÉANIQUE

La circulation océanique est entraînée à la fois par les vents, qui génèrent des courants de surface, et par les différences de densité, à l'origine de la circulation thermohaline. Les courants chauds de surface, tels que le Gulf Stream ou le Kuroshio, influent sur le climat, en adoucissant le climat des côtes Ouest des continents aux latitudes moyennes (en Europe occidentale ou sur la côte Ouest de l'Amérique du Nord), par rapport à celui des côtes Est.

La circulation thermohaline, aussi appelée circulation méridienne de retournement, forme une boucle : dans l'Atlantique, les eaux de surface chaudes se déplacent vers le nord, traversant l'équateur, avant de refroidir et de plonger au fond de l'océan, à des latitudes élevées. De retour vers le sud dans les profondeurs, ces eaux profondes traversent à nouveau l'équateur pour affluer vers l'Océan Austral le long de l'Antarctique, avant de remonter à la surface, des siècles plus tard, pour à nouveau rejoindre les courants de surface de l'Atlantique.
La puissance de cette circulation contribue à réguler le climat à l'échelle internationale et a des incidences sur le climat européen, puisqu'elle achemine la chaleur vers le nord de l'Atlantique. On s'attend à ce que la portion atlantique de cette circulation s'affaiblisse nettement au 21e siècle, à hauteur de 10 à 30 %, sous l'effet du changement climatique, sans toutefois disparaître complètement. Cela engendrera une montée du niveau marin le long de la côte Est de l'Amérique du Nord et entraînera davantage de tempêtes de neige en Europe. Pour beaucoup d'autres régions, les effets du réchauffement climatique sur la circulation océanique ne sont pas encore connus.

MIGRATION DES ESPÈCES

À cause du réchauffement climatique, les espèces terrestres et marines migrent vers d'autres zones géographiques. Elles se dirigent vers des latitudes plus élevées, afin de rester dans leur fourchette optimale de température. La fonte des glaciers, ainsi que la fonte des neiges et du pergélisol dans les régions montagneuses créent à la fois un nouvel habitat pour certaines espèces tout en détruisant l'habitat d'espèces aujourd'hui inféodées à ces écosystèmes. En Arctique, la forêt boréale devrait s'étendre vers le nord, dans la toundra dépourvue d'arbres. De nombreuses espèces marines, du phytoplancton aux mammifères marins, migrent vers les pôles, à raison de 5 km par an en moyenne. Avec le recul de la calotte glaciaire Arctique, on s'attend à observer davantage de déplacements de poissons passant par l'Arctique afin de circuler entre les océans Pacifique et Atlantique. En Antarctique, il est particulièrement difficile de connaître précisément les impacts biologiques.

Les conséquences pour l'espèce humaine

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE COMPORTE DES RISQUES POUR L'ÊTRE HUMAIN ET LES ÉCOSYSTÈMES

Le changement climatique, en modifiant l'océan et la cryosphère, augmente les risques pour l'être humain et les écosystèmes. Ainsi, il a notamment des incidences sur les ressources, l'emploi, les moyens de subsistance, les cultures et la santé. Les êtres humains et les écosystèmes sont alors exposés à de nombreuses menaces, notamment à des tempêtes plus violentes, à des vagues de chaleur océaniques, ou encore au recul de la banquise et à la fonte du pergélisol.

- **Sous l'effet de l'augmentation du niveau marin à travers le monde, de plus en plus de zones sont exposées aux inondations** – que ce soit du fait de violentes marées ou d'épisodes climatiques extrêmes, tels les tempêtes. Les hausses soudaines et importantes du niveau marin observées actuellement, qui constituent des évènements rares dans l'histoire de la planète – telles que les crues centennales – deviendront de plus en plus fréquentes au cours du siècle. Plusieurs zones de basse altitude, comme le Bangladesh ou les petites îles, sont particulièrement exposées. D'ici 2050, de nombreuses mégapoles de basse altitude et petites îles seront frappées chaque an-

née par ce que l'on appelle aujourd'hui les crues centennales. En l'absence d'efforts d'adaptation, la fréquence de ces inondations augmentera, ce qui pourrait générer des infiltrations d'eau de mer dans les eaux souterraines et les zones marécageuses, détériorant ainsi la qualité de l'eau et entraînant potentiellement des problèmes de santé et une destruction des récoltes. **Certains États des Îles du Pacifique et certaines communautés de l'Arctique envisagent déjà la possibilité de devoir un jour déplacer** et relocaliser leurs habitants.

- **La diminution de la surface de la cryosphère a un impact majoritairement négatif sur les habitants des régions Arctiques et de haute montagne,** particulièrement sur l'approvisionnement en eau douce, l'énergie hydraulique, les infrastructures, le transport, l'approvisionnement alimentaire, les secteurs du tourisme et des loisirs, la santé et le bien-être des populations, ainsi que sur la culture et les valeurs sociales. Ces conséquences et bénéfices ne touchent pas de manière équitable toutes les populations. Avec la fonte des glaciers, le débit des fleuves augmente dans un premier temps, jusqu'à ce qu'il atteigne sa valeur maximale pour finalement s'atténuer. Le caractère saisonnier des débits est alors perturbé. Dans certaines régions, la fonte des glaciers entraîne déjà une baisse du rendement des récoltes – c'est notamment le cas dans les Andes tropicales – et ce, de manière plus prononcée en présence d'autres facteurs de stress.

- À mesure que le climat change, **les écosystèmes et les paysages subissent des changements complexes** qui bouleversent les **services écosystémiques.** En Arctique, le recul de la banquise augmentera probablement la quantité de lumière atteignant la surface océanique, favorisant ainsi la croissance des populations de phytoplancton. À l'échelle mondiale, le réchauffement de l'océan conduira les poissons à migrer vers les pôles, ce qui réduira la biodiversité des espèces dans les tropiques et augmentera leur nombre aux latitudes moyennes et élevées. Parallèlement à cela, les ressources halieutiques mondiales, déjà mises à mal par la surpêche dans certaines régions, pourraient s'appauvrir de manière généralisée.

- Au-delà des conséquences négatives, il existe également des opportunités. Par exemple, la fonte de la banquise Arctique ouvre de nouvelles voies de transport maritime ; ainsi, durant l'été 2016, un bateau de croisière, le « Crystal Serenity »[16], a traversé le passage du Nord-Ouest. Ceci permet également l'accès aux ressources minérales. Toutefois, ces activités ne sont pas sans danger pour l'environnement.

La communauté insulaire inuite Iñupiaq habite le village de Shishmaref, en Alaska. Malgré les quelques constructions les protégeant de l'érosion du littoral, ils ont voté pour la relocalisation de leur village sur le continent.

16 Source: Gortnitz, V. (2019). Vanishing Ice: Glaciers, Ice Sheets and Rising Seas (Disparition des glaces : glaciers, calottes glaciaires et hausse du niveau marin)

LES CONSÉQUENCES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE COMPLIQUENT LA RÉALISATION DES OBJECTIFS DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ADOPTÉS PAR LES NATIONS UNIES

Les Nations Unies ont adopté une série de 17 objectifs de développement durable visant notamment à garantir la sécurité alimentaire et l'éducation et à améliorer l'accès à l'eau potable et aux moyens de subsistance à l'échelle mondiale.
Plusieurs problématiques du Programme de développement durable sont étroitement liées au changement climatique. Par exemple, la réduction des prises de poisson provoquée par le changement climatique aura des répercussions sur les revenus, les moyens de subsistance et la sécurité alimentaire de communautés vivant de la pêche. Dans les tropiques, 500 millions de personnes souffriraient gravement si les écosystèmes coralliens dont ils dépendent venaient à être endommagés. Les perturbations de l'océan et de la cryosphère peuvent avoir des répercussions sur l'identité culturelle et le bien-être de certaines populations. Par exemple, les glaciers et calottes glaciaires peuvent avoir une profonde signification culturelle et religieuse, que leur disparition pourrait ébranler.

Les conséquences et les opportunités que produit le changement climatique ne seront pas nécessairement équitablement réparties. Ainsi, les populations les plus précaires vivent souvent dans des zones de basse altitude, et sont donc plus exposés à la hausse du niveau marin. La bonne nouvelle est **qu'en s'attaquant au problème du changement climatique, nous soutenons également le développement durable,** à condition de partager de manière juste et équitable le fardeau des mesures à prendre, ainsi que les pertes et les gains découlant des conséquences climatiques.

La dernière partie de cet éclairage se penche sur les moyens de combattre le changement climatique – à la fois en amont (les émissions) et en aval (les conséquences climatiques).

Les actions envisageables pour atténuer les effets du changement climatique et nous y adapter

Pour réduire les risques et les effets du changement climatique durant les prochaines décennies, il existe deux façons d'agir :

- **limiter le réchauffement climatique** en luttant contre les gaz à effet de serre. Cet objectif est atteignable en réduisant nos émissions atmosphériques ou en recourant à des méthodes qui extraient activement le dioxyde de carbone de l'atmosphère, ce que l'on peut faire en plantant des arbres par exemple. Ces modes d'action font tous deux partie de ce que l'on appelle **l'atténuation ;**
- **faire face aux conséquences du changement climatique,** soit en réduisant l'exposition des personnes, des animaux sauvages et des biens aux différents risques mentionnés, soit en renforçant leurs défenses de façon préventive. C'est ce que l'on appelle **l'adaptation.**

Les deux méthodes ne sont pas mutuellement exclusives. **L'atténuation comme l'adaptation sont nécessaires pour faire face au changement climatique.** D'ailleurs, ces deux méthodes devraient être intégrées conjointement lorsque des mesures sont prises. Par exemple, lors de la conception d'un établissement scolaire, nous pourrions prévoir un bâtiment neutre en carbone, aussi bien durant la phase de construction que pendant son utilisation (atténuation), tout en s'assurant qu'il pourra aussi supporter les conditions climatiques futures (adaptation). De la même manière, pour s'adapter à la montée du niveau des eaux sous les tropiques, il est possible de planter des mangroves, qui ont l'avantage d'amortir l'énergie houlomotrice et de réduire l'érosion du littoral, en éliminant également une part du CO_2 atmosphérique, qui se retrouve alors stocké dans les sols de mangrove, riches en carbone. La préservation des récifs coralliens peut également améliorer la protection des populations insulaires contre l'impact des vagues provoquées par les cyclones, tout en assurant un approvisionnement alimentaire et des ressources économiques durables.

ATTÉNUATION

Le défi que représente **la réduction des émissions de gaz à effet de serre d'origine humaine est im-**

mense. Une réduction rapide des émissions est nécessaire. Or, la population mondiale, la demande en énergie et la consommation augmentent. En parallèle, comme le prévoient les objectifs de développement durable de l'ONU, nous devons également relever d'autres grands défis planétaires : améliorer l'accès à la nourriture, à l'eau, à l'emploi et aux soins pour les personnes qui en ont le plus besoin tout en réduisant les inégalités.
Il existe de nombreuses raisons d'être optimiste. Avec la prise de conscience publique et politique de l'urgence d'agir, la baisse rapide du coût des énergies renouvelables, mais également la signature historique en 2015 de l'Accord de Paris sur le climat, tous les éléments permettant d'accompagner une réduction rapide des émissions sont désormais réunis. Les exemples de réussites ne manquent pas. Au Royaume-Uni, grâce à la diminution de l'utilisation du charbon, les émissions de gaz à effet de serre ont retrouvé leur niveau de 1890[17]. En Allemagne, la part d'électricité issue des énergies renouvelables a bondi, passant de 6 % environ en 2000 à 38 % en 2018[18]. En mars 2018, la production d'électricité renouvelable au Portugal représentait 103,6 % de la consommation électrique du pays[19]. Néanmoins, étant donné que le réchauffement climatique dépend des émissions mondiales, l'action de quelques pays ne suffira pas. En outre, il n'appartient pas qu'aux gouvernements, aux entreprises et aux législateurs de réduire les émissions, même si leur rôle est essentiel. Comme nous le verrons ci-dessous, les organisations locales et les individus ont aussi un rôle à jouer.

L'ACCORD DE PARIS

L'objectif de l'Accord de Paris des Nations Unies[20] est de maintenir le réchauffement climatique sous les 2 °C, tout en cherchant à ne pas dépasser les 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels. Afin d'empêcher que le réchauffement ne dépasse 1,5 °C, une réduction de 40 à 60 % des émissions mondiales de CO_2 est nécessaire au cours de la décennie à venir, **avec pour objectif final d'atteindre le seuil (réel) de zéro émission d'ici 2050[21]** (pour obtenir plus de détails, se reporter au résumé à destination des enseignants basé sur le rapport spécial du GIEC « Réchauffement à 1,5 °C »[22]). Il s'agit d'un défi de taille et tous les niveaux de la société (gouvernements, entreprises, organisations locales et individus) ont un rôle à jouer dans la réduction de ces émissions.

L'Accord de Paris ne définit pas des objectifs de réduction des émissions pour chaque pays. Au lieu de cela, les pays fixent leurs propres objectifs dans le cadre d'un processus itératif au sein duquel ils rapportent périodiquement leurs émissions et les mesures d'atténuation prises jusqu'à ce jour. Les données sont ensuite compilées pour évaluer les progrès accomplis à l'échelle mondiale vers la réalisation des objectifs de l'Accord de Paris. Les individus, les populations et les entreprises peuvent contribuer à ce processus en démontrant qu'ils soutiennent l'action renforcée des gouvernements, notamment à travers la mise en œuvre de mesures telles que la taxe carbone. Pour contribuer à atteindre les objectifs de cet accord à l'échelle de l'individu ou du groupe, nous pouvons calculer notre propre empreinte carbone, la partager puis planifier et prendre des mesures afin de réduire les différentes émissions qui y contribuent et nous pouvons ensuite recalculer notre empreinte carbone pour évaluer notre réussite. Conformément à l'Accord de Paris, les pays signataires peuvent décider quelles mesures prendre en fonction de leur propre situation et de leurs moyens.

EMPREINTE CARBONE

L'empreinte carbone est généralement définie comme la quantité totale de gaz à effet de serre émise par une source. Le calcul de l'empreinte carbone peut s'appliquer à des entités diverses, telles que les individus, les pays, les activités ou les produits – par exemple, la quantité totale d'émissions résultant de la fabrication, du transport et de l'utilisation d'un t-shirt. Afin de comptabiliser l'émission de différents gaz à effet de serre autres que le CO_2, ils sont exprimés en termes d'« équivalents CO_2 » (eq CO_2), c.-à-d. la quantité équivalente en émissions de CO_2.

Calculer son empreinte carbone aidera l'individu ou le groupe auquel il appartient à identifier parmi ses activités celles qui produisent le plus d'émissions et, par conséquent, celles qui sont à cibler en priorité. Plutôt que d'essayer d'obtenir une estimation précise de tout ce qui contribue à cette empreinte, la clé consiste à évaluer de façon approximative leur

17 Cela ne reflète pas totalement la réalité car une partie des émissions du Royaume-Uni a été « externalisée » outre-mer.
18 Agence fédérale de l'environnement Section V 1.5 (2019) : Séries chronologiques pour le développement des sources d'énergie renouvelables en Allemagne 1990 - 2018
19 https://www.apren.pt/en/march-100-renewable--first-month-of-xxi-century-fully-supplied-by-renewable-electricity-sources/
20 https://unfccc.int/fr/process-and-meetings/the-paris-agreement/l-accord-de-paris
21 Rapport spécial du GIEC « Réchauffement planétaire de 1,5 °C » ; https://www.ipcc.ch/sr15
22 Rapport spécial du GIEC « Réchauffement planétaire de 1,5 °C » ; https://www.ipcc.ch/sr15

importance relative, afin de pouvoir déterminer les principales sources d'émission et donc celles à traiter en premier lieu. Il faut toutefois garder à l'esprit que la portée des actions d'individus ou de groupes locaux restera limitée sans, entre autres, un appui législatif.

RÉDUIRE SON EMPREINTE CARBONE

Voici quelques pistes pour réduire votre empreinte carbone :

- **Diminuer votre consommation** d'énergie et de matières en visant les trois objectifs suivants : réduire, réutiliser et recycler. Réduire votre consommation de produits et de services peut permettre une maîtrise de votre consommation énergétique et donc une réduction de vos émissions de GES. Il est par exemple possible d'envisager d'étendre ses habits à l'air libre pour les faire sécher au lieu de les mettre au sèche-linge ou encore d'utiliser moins de transports gourmands en carbone ou d'opter pour le covoiturage. Il est également judicieux de privilégier des modèles plus efficaces sur le plan énergétique au moment de remplacer ses appareils électriques (par ex, une machine à laver).
- **Privilégier des équipements ou véhicules qui fonctionnent grâce à des énergies à faibles émissions de carbone** (par ex., acheter de l'électricité verte ou une voiture électrique). En cas de remplacement d'un appareil ou d'un véhicule fonctionnant grâce à des énergies fossiles, vérifier si ce choix est convenable, compte tenu des émissions liées à la production du nouvel équipement et à la mise au rebut de l'ancien.
- **Éviter le gaspillage alimentaire** : 1/3 de la nourriture est gaspillé à l'échelle planétaire[23]. Si vous n'êtes pas végétarien, envisagez de diminuer votre consommation de viande. Le mouton et le bœuf possèdent l'empreinte carbone la plus élevée. Réduisez la vôtre en évitant d'en manger ou en les substituant.
- **Éviter les activités hautement émettrices** ou les remplacer par des alternatives moins émettrices. Par exemple, éviter les trajets « longue distance » ou, si vous devez voyager et si cela vous est possible, privilégiez le train plutôt que l'avion. Pour aller à l'école ou au travail, optez pour le vélo, la marche ou les transports publics plutôt que de prendre la voiture.
- Pour les émissions que vous ne pouvez éviter, envisagez **d'acheter des « crédits carbone » de source fiable pour les compenser.** Rappelez-vous qu'une partie considérable du CO_2 que nous émettons sera toujours présent dans l'atmosphère dans 100 ans. Par conséquent, seuls les schémas visant à ne pas rejeter de CO_2 dans l'atmosphère à long terme auront un effet compensatoire réel.

LES MEILLEURES PRATIQUES EN MATIÈRE D'ATTÉNUATION

Si réduire les émissions peut paraître simple au premier abord, la situation est en fait bien plus complexe.

→ **Prendre en considération la totalité des émissions**

Pour avoir une meilleure estimation des émissions de CO_2 associées à un produit que nous achetons ou à nos activités, nous **devons tenir compte de toutes les émissions impliquées.** Prenons à titre d'exemple l'achat d'un t-shirt en coton. Il est nécessaire de répertorier toutes les émissions générées tout au long du cycle de vie du produit – du « berceau » (fabrication) à la « tombe » (élimination). Ceci inclut les émissions résultant de la culture du coton, de la confection du t-shirt et du transport du vêtement vers notre magasin local. Nous pourrions même aller plus loin en tenant compte du CO_2 produit en lavant et séchant le vêtement pendant sa durée d'utilisation. Il est possible qu'une grande partie de ces émissions soit générée dans des pays étrangers. Lorsque les pays quantifient leur empreinte carbone, ils ne tiennent peut-être pas compte de ces « émissions externalisées » et peuvent donc paraître plus « verts » qu'ils ne le sont en réalité, d'autant plus que certaines émissions, comme celles du transport international, ne sont actuellement attribuées à aucun pays.

→ **Estimer les réductions d'émissions**

Au moment d'élaborer un plan d'atténuation, il est évident qu'il faut éviter d'exagérer par inadvertance nos émissions ! Pour être le plus précis possible, **nous pouvons d'abord estimer les réductions d'émissions escomptées.** En fonction du contexte local, il est possible que les actions dont on estime qu'elles sont à même de réduire nos émissions aient un effet minime, ou même négatif. Il est donc important de calculer l'empreinte carbone à l'aide de données spécifiques à votre pays et/ou contexte. Pour les méthodes d'atténuation basées sur la nature, comme la conservation et le renforcement des puits de carbone naturels tels que les forêts et les mangroves, il importe d'étudier comment et sur quelle échelle temporelle le changement climatique pourrait les affecter à l'avenir.

→ **Tenir compte des conséquences environnementales**

L'empreinte carbone ne mesure qu'une des manières dont nous influençons l'environnement, à

23 Rapport spécial du GIEC sur le changement climatique et les terres émergées : https://www.ipcc.ch/report/srccl/

travers l'estimation de nos émissions de gaz à effet de serre. **D'autres aspects doivent être pris en considération lorsque l'on envisage de réduire son empreinte carbone.** Reprenons l'exemple du t-shirt en coton. Pour cultiver le coton, il est possible qu'une quantité importante d'eau issue d'une source non durable ait été utilisée. Nous pourrions également nous demander si les producteurs de coton ont reçu un salaire juste pour leur récolte et si des pesticides nuisant à la biodiversité ont été utilisés. Malheureusement, il est souvent difficile de déterminer si les biens que nous consommons ont été produits de manière équitable, éthique et durable. Certaines informations utiles figurent malgré tout sur l'emballage. Par exemple, le pays de provenance du produit, les matières utilisées (huile de palme, etc.) et la certification par un label de commerce équitable digne de confiance peuvent être mentionnés. Dans tous les cas, il est important de garder un esprit critique et de réfléchir à tous les aspects d'une solution envisagée susceptible d'entraîner parfois des répercussions négatives imprévues.

JUSTICE CLIMATIQUE

Tandis que l'Accord de Paris ne précise pas comment répartir les réductions d'émissions entre les pays, **l'éthique veut que ce partage soit équitable.** Une des approches consiste à attribuer des réductions sur la base des pays qui ont émis le plus au total et ont donc contribué le plus au réchauffement climatique. L'inconvénient est que cette méthode ne tient pas compte de la capacité financière des pays à réduire leurs émissions. Les émissions globales de certains pays en voie de développement densément peuplés, bien que faibles par personne, peuvent malgré tout dépasser celles de pays développés qui comptent moins d'habitants. Un autre aspect qui entre en ligne de compte dans la justice climatique est l'importance des répercussions climatiques subies. D'une manière générale, les populations des pays en voie de développement aux ressources limitées et qui ont le moins contribué aux émissions vont endurer les effets les plus aigus du changement climatique.

ADAPTATION

L'impact du changement climatique sur une région ne dépend pas uniquement de l'importance des bouleversements climatiques qui l'affectent mais également de l'exposition et de la vulnérabilité de sa population, de ses écosystèmes et de son infrastructure à ces modifications. S'adapter au changement climatique implique de prendre des mesures pour réduire **l'exposition**, c'est-à-dire la proximité avec la menace, et la **vulnérabilité** face au danger. L'exposition et la vulnérabilité sont souvent liées à la pauvreté. Par exemple, les populations pauvres, ayant des ressources limitées et ce faisant, une capacité limitée à faire face à ces changements, vivent également dans les régions les plus exposées.

RÉDUIRE L'EXPOSITION ET LA VULNÉRABILITÉ

En fonction des répercussions attendues du changement climatique dans une région donnée, différentes mesures peuvent être prises pour réduire l'exposition et/ou la vulnérabilité. Par exemple, l'exposition à la montée du niveau marin et aux tempêtes peut être réduite par le déplacement des biens, le renforcement de la protection – grâce aux digues, aux récifs coralliens et à la préservation de la mangrove – ou par l'adaptation aux inondations périodiques (par ex. en surélevant les immeubles). Les exploitations agricoles peuvent être rendues moins vulnérables aux inondations grâce à la culture de plantes tolérantes au sel. À l'échelle individuelle, nous pouvons prendre des mesures pour réduire notre exposition et notre vulnérabilité face aux évènements climatiques extrêmes. Durant les canicules, il est recommandé de rester à l'ombre ou de rafraîchir les espaces intérieurs – réduisant ainsi notre exposition – et de boire de grandes quantités d'eau – réduisant notre vulnérabilité. Malheureusement, dans certains cas, notre capacité d'action sera limitée. Avec la hausse du niveau marin, certaines terres pourraient un jour devenir inhabitables, forçant ainsi leurs populations à migrer.

EDUCATION

L'éducation est un élément-clé de l'adaptation et elle peut prendre des formes variées : chercher à mieux comprendre son environnement local, transmettre ses connaissances sur le changement climatique à ses amis et sa famille, ou encore suivre une formation vers une carrière susceptible de contribuer à l'élaboration ou à la mise en place de solutions d'adaptation sont des moyens de participer à cette éducation.

ADOPTER UNE APPROCHE ITÉRATIVE

Pour planifier et mettre en œuvre des mesures d'adaptation, il est nécessaire d'avoir une bonne maîtrise de tous les risques qu'implique le changement climatique à l'échelle locale. **Étant donné le caractère imprévisible des incidences multiples du changement climatique sur une région précise, l'adaptation est nécessairement un processus itératif qui implique une réévaluation continue de l'efficacité des stratégies et de leur adéquation avec l'avancée du savoir scientifique.** Engager un grand nombre de personnes et d'institutions dans

les efforts d'adaptation peut aider à faire en sorte que toutes les dimensions impliquées soient prises en compte et que la charge associée à leur mise en œuvre ainsi que la répartition des répercussions positives et négatives soient équitables.

FAIRE FACE À D'AUTRES PROBLÈMES ENVIRONNEMENTAUX

En vue de mettre en œuvre des mesures d'adaptation, il peut être judicieux **d'identifier et d'atténuer les problèmes environnementaux existants qui pourraient aggraver les effets du changement climatique si aucune mesure n'est prise.** Par exemple, les affaissements de terrain provoqués par l'espèce humaine accentuent la montée du niveau marin dans certaines villes côtières. Des mesures visant à ralentir le taux de subsidence en réduisant, par exemple, l'utilisation des eaux souterraines sont envisageables. La pollution (hormis les gaz à effet de serre) fournit de nombreuses autres pistes d'action. Par exemple, la construction et l'agriculture sont susceptibles d'accroître les dépôts de nutriments et de sédiments et de réduire la luminosité dans les récifs coralliens, les rendant plus vulnérables au changement climatique. Les matières plastiques déversées qui s'accumulent dans les océans ainsi que la surpêche sont autant d'exemples pertinents de pollution. En ce qui concerne la cryosphère, les dépôts de particules de suie résultant de la combustion incomplète de carburants fossiles sur la neige accélèrent la fonte induite par le réchauffement. Réduire ces émissions pourrait donc contribuer au ralentissement de cette fonte.

GÉRER SOIGNEUSEMENT LES OPPORTUNITÉS

L'adaptation ne consiste pas uniquement à gérer les effets négatifs du changement climatique mais également à **identifier les effets positifs qui pourraient en résulter.** Le cas échéant et en évitant de générer de nouvelles émissions, ces conséquences positives pourraient être mises à profit, à condition qu'elles fassent l'objet d'une gestion mesurée et prudente.

Conclusion

Nous avons étudié le rôle fondamental joué par les océans et la cryosphère dans le système climatique et les sociétés humaines. Nous avons vu avec quelle rapidité le fonctionnement des océans et de la cryosphère est modifié entre autres par le changement climatique et comment cela affecte les êtres humains et les écosystèmes. Pour finir, nous avons envisagé les mesures possibles pour faire face au changement climatique, à la fois en agissant à la racine du réchauffement par l'atténuation et en traitant les risques et effets de celui-ci par l'adaptation. Lespropositions d'activités ou de séquences qui suivent explorent plus en détails les concepts présentés ici. Elles amènent également les élèves à réfléchir au rôle qu'ils peuvent jouer, aux côtés des populations locales et des nations, pour relever le grand défi du 21e siècle qu'est le changement climatique.

GLOSSAIRE

ABSORPTION DU CO_2
Ensemble des processus contribuant à l'élimination du CO_2 de l'atmosphère. Le CO_2 peut être absorbé par le biais de processus biologiques, tels que la photosynthèse (sur terre et à la surface des océans), ou de processus d'ordre physique tels que la dissolution du carbone dans l'eau.

ACIDE CARBONIQUE (H_2CO_3)
Produit de la dissolution du dioxyde de carbone dans l'eau, il provoque l'acidification de cette dernière.

ACIDIFICATION DES OCÉANS
Augmentation de l'acidité de l'eau de mer provoquée par la dissolution du CO_2 atmosphérique dans l'eau de surface des océans. La réaction chimique avec l'eau forme de l'acide carbonique et l'eau devient plus acide.

ADAPTATION
L'adaptation est la stratégie visant à réduire la vulnérabilité aux effets du changement climatique actuel ou futur. Dans les systèmes humains, l'adaptation vise à modérer les dommages ou à exploiter les potentielles opportunités. Dans les systèmes naturels, l'intervention humaine peut faciliter l'adaptation au climat et à ses effets.

ALBÉDO
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 atténuer le réchauffement climatique en réduisant les émissions de GES ou en améliorant les puits de GES.

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

BOUCLE DE RÉTROACTION
Une boucle de rétroaction peut être assimilée à un cercle vicieux ou vertueux dans lequel certains éléments exacerbent ou atténuent une ou plusieurs causes du réchauffement climatique.

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

CANICULE
Période de temps anormalement chaude avec des températures diurnes élevées et un refroidissement nocturne très limité. Une canicule peut durer plusieurs semaines.

CHANGEMENT CLIMATIQUE
Le changement climatique désigne différents phénomènes planétaires. 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 mondiale provoquée par l'activité humaine actuelle, initiée dans les années 1850. On parle également de « réchauffement climatique ».

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 la chaleur à travers le globe.

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).

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

CRYOSPHÈRE
Toute la glace et les surfaces neigeuses sur Terre et dans l'eau : glaciers, calottes glaciaires, neige saisonnière, pergélisol et lacs et rivières gelés.

DÉVELOPPEMENT DURABLE
Se dit d'un développement qui satisfait aux besoins présents sans compromettre la capacité des générations futures de satisfaire à leurs propres besoins.

DILATATION THERMIQUE
L'augmentation du volume d'une matière résultant de la hausse de 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.

DIOXYDE DE CARBONE (CO_2)
Gaz émis au moment de la combustion du carbone, notamment présent dans les carburants fossiles. Les organismes vivants en produisent aussi par leur respiration. Le CO_2 contribue à l'effet de serre et à l'acidification des océans.

ÉCOSYSTÈMES
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 entretiennent une relation fonctionnelle d'interdépendance.

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 d'une structure et d'une diversité propres. 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 piégée dans l'atmosphère par les gaz à effet de serre (principalement la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, le méthane, les oxyde d'azote et l'ozone) et renvoyée à la surface de la terre, qui se réchauffe encore plus. Cet effet est appelé « effet de serre ».

ÉGALITÉ DES CHANCES
Situation où les mêmes opportunités s'offrent à tous (éducation, santé, droits, etc.).

ÉMISSIONS ANTHROPIQUES
Gaz à effet de serre émis par les activités humaines.

EMPREINTE CARBONE
L'empreinte carbone se définit comme la quantité totale de gaz à effet de serre produite directement ou indirectement par l'activité humaine. Elle se mesure en équivalent-carbone (eq-CO_2). On peut calculer l'empreinte carbone d'un individu, d'un évènement particulier ou d'une organisation.

ÉROSION CÔTIÈRE
L'érosion côtière est un phénomène naturel qui peut être aggravé par l'activité humaine. Il se produit sous l'effet des vagues, des courants, des vents et des marées qui emportent ou transportent dans leur sillon roches ou sédiments le long des côtes. La déperdition de sédiments sur les plages entraîne sur le long terme l'érosion des plages et le recul des côtes. L'érosion côtière peut être exacerbée par le changement climatique, notamment en raison de la hausse du niveau marin et de l'augmentation des précipitations.

EXPOSITION
Désigne la mesure dans laquelle une population est vulnérable à un aléa climatique en raison de sa situation géographique par exemple. En effet, les terres de faible altitude sont plus exposées à la hausse du niveau marin que les régions montagneuses.

GAZ À EFFET DE SERRE (GES)
Les gaz à effets de serre sont à l'origine de l'effet de serre. Les principaux sont la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, le méthane, l'oxyde d'azote et l'ozone.

GLACES CONTINENTALES
Toute la glace recouvrant les zones terrestres. Les glaces continentales se forment par l'accumulation et le tassement de la neige à long terme.

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

HAUSSE DU NIVEAU MARIN
En raison du changement climatique, le niveau moyen de la mer a augmenté d'environ 15 cm entre 1900 et 2018. Cette hausse se poursuit actuellement à un rythme compris entre 3 et 4 mm/an. Le niveau marin devrait encore augmenter de 20 cm à plus d'1 m d'ici la fin du siècle, en fonction des quantités de gaz à effet de serre que nous émettrons.

INERTIE THERMIQUE
Résistance d'une matière à subir une variation de température. Plus l'inertie thermique d'un corps est élevée, plus il met de temps à changer de température.

JUSTICE CLIMATIQUE
Ce terme est utilisé pour légitimer la dimension socio-politique des défis que posent le changement climatique, au lieu de se contenter de les aborder au travers du prisme environnemental. Il tient compte du décalage entre les responsables du changement climatique et les populations les plus vulnérables, en intégrant la notion de justice (en particulier, la justice sociale et environnementale).

MÉTÉO
L'état de l'atmosphère à un moment et à un endroit donnés. Pour la déterminer, plusieurs variables sont prises en considération (température, précipitations, nébulosité, vent, etc.).

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

PHÉNOMÈNES MÉTÉOROLOGIQUES EXTRÊMES
Évènements inhabituels ayant des conséquences négatives sur l'espèce humaine et les écosystèmes, par exemple les tornades, les tempêtes, les glissements de terrain ou les épisodes de sécheresse et de canicule.

PRODUCTION PRIMAIRE
La production primaire est le processus par lequel un producteur primaire (une cellule ou un organisme) produit sa propre matière organique à partir de matière minérale. Par exemple, les organismes vivants photosynthétiques n'utilisent que de l'eau, du CO_2 et de la lumière pour se développer.

PUITS DE CHALEUR
Dans un contexte de changement climatique, un puits de chaleur est un élément – une forêt ou un océan par exemple – qui absorbe la chaleur d'un élément plus chaud, tel que l'atmosphère. Par ce mécanisme, l'élément plus chaud se refroidit. Les océans représentent le principal puits de chaleur et ont jusqu'à présent absorbé plus de 90 % de l'excès de chaleur occasionné par le réchauffement climatique.

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.

RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE
(Voir la définition du changement climatique)

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.

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

SYSTÈME COMPLEXE
Système (à l'instar du système climatique) régulé par différents facteurs qui interagissent et s'influencent mutuellement : atmosphère, océans, continents et biosphère par exemple.

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 à 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 aux ressources économiques modestes.

Le climat entre nos mains est une collection de ressources pédagogiques à destination des établissements du primaire et du secondaire, écrite par l'Office for Climate Education et ses partenaires.

Ce premier volume, ***Océan et Cryosphère***, propose des séances clés en main afin de permettre aux élèves de comprendre le changement climatique ainsi que le fonctionnement des océans et de la cryosphère, à la fois d'un point de vue scientifique et social, et aux échelles locale et globale. En développant leur raisonnement, cela pourra les conduire vers l'action, en proposant des mesures d'atténuation ou d'adaptation, dans leurs écoles ou leurs communautés.

Comme le GIEC l'a déclaré :

- → **L'océan et la cryosphère nous fournissent des ressources.**
- → **Ils sont sous pression.**
- → **Les changements qu'ils subissent affectent notre vie.**
- → **Il est temps de passer à l'action, maintenant.**

Cette ressource :

- → Cible les élèves de la fin de l'école primaire jusqu'à la fin du collège (de 9 à 15 ans) ;
- → Inclut un éclairage scientifique et pédagogique, des séances, des activités, des fiches ainsi que des ressources externes (vidéos et animations) ;
- → Est interdisciplinaire, avec des séances couvrant des disciplines telles que les sciences naturelles, les sciences sociales, les arts plastiques et l'éducation physique et sportive ;
- → Promeut les pédagogies actives : démarche d'investigation, jeu de rôle, débat, démarche de projet.

Office for Climate Education

UNDER THE AUSPICES OF UNESCO
AND THE FOUNDATION LA MAIN À LA PÂTE

SOUS L'ÉGIDE DE

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

Under the auspices of UNESCO

FONDATION La main à la pâte
POUR L'ÉDUCATION À LA SCIENCE

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

Météo France · IRD Institut de Recherche pour le Développement France · Météo et Climat Société météorologique de France · Sorbonne Université

AVEC LE SOUTIEN DE

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change · IPSL · PIK Potsdam Institute for Climate Impact Research · iap Science Health Policy the interacademy partnership · Investir l'avenir · Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse · Ministère de la Transition écologique et solidaire · ADEME Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie · Siemens Stiftung · Fondation Luciole Institut de France · Fondation Prince Albert II de Monaco

9 782491 585037