

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



LE CLIMAT ENTRE NOS MAINS

Océan et Cryosphère

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).

Conception graphique : Mareva Sacoun

Mise en page version française : Gaël Coadic

Traduction française : Charlotte Graff

La rubrique « Remerciements » (page 200) 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
site internet : www.oce.global/fr

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

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.



L'IMPORTANCE DE L'ÉDUCATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Atténuer les effets du changement climatique et s'adapter à d'inévitables bouleversements nécessite une action collective urgente. La complexité des questions qui y sont associées représente un véritable enjeu pédagogique. Ainsi, l'éducation joue un rôle clé car elle permet d'apporter les connaissances et les compétences nécessaires aux jeunes générations pour en saisir les enjeux, garder espoir, agir et se préparer à vivre dans un monde en transformation. Créé en 2018, l'Office for Climate Education (OCE) a pour but de renforcer la coopération internationale entre les organismes

scientifiques, les ONG et les institutions éducatives. Son principal objectif est de faire en sorte que les générations présentes et futures soient informées sur le changement climatique. Les enseignants jouent un rôle clé dans la pédagogie autour du climat; il est essentiel de leur apporter le soutien dont ils ont besoin pour inscrire le changement climatique dans leurs enseignements. L'OCE a développé une série de ressources pédagogiques et de modules de développement professionnel pour les accompagner à travers une pédagogie active.

CONTENU DU PROJET PÉDAGOGIQUE

En 2019, le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) des Nations Unies a publié un Rapport spécial¹ soulignant l'importance de l'océan et de la cryosphère (la glace et la neige présentes sur Terre) pour l'espèce humaine et les fortes perturbations qu'ils subissent à cause du changement climatique. Les quatre messages essentiels de ce rapport sont les suivants :

- Nous dépendons de l'océan et de la cryosphère.
- L'océan et la cryosphère sont menacés.
- Leurs modifications ont des répercussions sur tous les aspects de nos vies.
- Il est urgent d'agir.

Ce manuel de l'OCE à destination des enseignants a été conçu et rédigé par l'équipe de l'OCE et ses partenaires scientifiques et pédagogiques. Le but de ce manuel est d'accompagner les enseignants dans la mise en œuvre d'une série d'activités pédagogiques sur le changement climatique, ainsi que sur l'océan et la cryosphère.

Ce manuel :

- est adapté aux élèves de fin de primaire jusqu'au début du secondaire (âgés de 9 à 15 ans);
- comprend des éclairages scientifiques et pédagogiques, des plans de cours, des activités, des fiches et des liens vers des ressources externes (des vidéos et des animations multimédia);
- est interdisciplinaire, avec des séances dans différentes matières, des SVT aux sciences sociales et arts visuels en passant par l'éducation physique;
- fait appel à la pédagogie active utilisant la démarche d'investigation, le jeu de rôles, le débat et la pédagogie de projet.

Les séances sont divisées en deux parties.

PARTIE 1 COMPRENDRE

Cette partie est composée de cinq séquences constituées de séances principales et de séances facultatives, visant à accompagner l'élève dans l'apprentissage des conséquences du changement climatique induit par l'activité humaine. Les séances soulignent également l'importance de l'océan et de la cryosphère dans la régulation du climat, ainsi que celle des ressources et des services essentiels qu'ils rendent à l'espèce humaine. Elles présentent aussi les dangers du changement climatique qui menacent ces services. Enfin, elles sont l'occasion pour les élèves de prendre conscience de l'urgence d'agir.

PARTIE 2 AGIR

Cette partie présente trois projets détaillés que les élèves/établissements scolaires peuvent mettre en œuvre, leur permettant ainsi de prendre des mesures concrètes pour atténuer les effets du changement climatique. Elle contient également des idées de projets ultérieurs, ainsi que des détails concernant des concepts et méthodologies à envisager pour chaque projet.

La série de séances de ce manuel est conçue pour permettre aux enseignants de choisir celles qui seront les plus adaptées à leur contexte et à leurs besoins particuliers. Nous recommandons toutefois de veiller à garder un équilibre entre les deux parties principales: les élèves auront du mal à prendre des mesures efficaces et réfléchies sans une bonne compréhension des enjeux; à l'inverse, comprendre sans agir serait insuffisant, étant donné le besoin urgent d'adopter des mesures d'adaptation et d'atténuation.

Nous espérons que ce manuel inspirera les enseignants et les accompagnera dans la mise en place de programmes pédagogiques créatifs et efficaces en classe.

¹ www.ipcc.ch/report/srocc

TABLE DES MATIÈRES

Support pour enseignants

7 ÉCLAIRAGE SCIENTIFIQUE

Introduction; Les mécanismes du changement climatique; L'importance de l'océan et de la cryosphère pour les humains; Le changement rapide du climat sous l'effet de l'activité humaine; L'impact du changement climatique sur l'océan et la cryosphère; Les conséquences pour nos sociétés; Comment agir pour atténuer les effets du changement climatique et nous y adapter; Conclusion

27 ÉCLAIRAGE PÉDAGOGIQUE

Différentes conceptions de l'éducation au changement climatique; Comment utiliser ces ressources pédagogiques?; Choisir le contenu d'une séance; Enseigner le changement climatique par des pédagogies actives: démarche d'investigation et pédagogie de projet

Séances

35 PARTIE I - COMPRENDRE

Séquence A—Qu'est-ce que le changement climatique ?	38
Séance A1—Climat vs météo; Séance A2—La réalité du changement climatique	
Séquence B—Quelle est l'origine du changement climatique ?	56
Séance B1—L'effet de serre : une analogie; Séance B2—L'effet de serre : un jeu de rôle ; Séance B3—L'activité humaine et les gaz à effet de serre	
Séquence C—Quelles répercussions le changement climatique a-t-il sur l'océan et la cryosphère ?	73
Séance C1—Fonte de la cryosphère et hausse du niveau marin; Séance C2—Dilatation thermique de l'océan et hausse du niveau marin; Séance C3—La blancheur de la cryosphère et son albédo; Séance C4—Acidification de l'océan; Séance C5—Les courants marins régulent le climat (pour les élèves avancés); Séance C6—L'inertie thermique de l'océan et la régulation du climat (pour les élèves avancés)	
Séquence D—Pourquoi l'océan et la cryosphère sont-ils, pour nous, une ressource vitale ?	105
Séance D1—Pourquoi a-t-on besoin de l'océan et de la cryosphère ?; Séance D2—Réseaux trophiques et écosystèmes; Séance D3—Activité humaine, océan et cryosphère	
Séquence E—Que peut-on faire ?	139
Séance E1—Calculer notre empreinte carbone; Séance E2—Justice climatique (pour les élèves avancés); Séance E3—Justice climatique ; Séance E4—Mesures d'adaptation et d'atténuation	

161 PARTIE II - AGIR

Projet d'adaptation—Rendre les plages plus résiliences au changement climatique	164
Projet d'atténuation—Mettre en place un pédibus	176
Projet de sensibilisation—Science en scène	183
À faire soi-même—Idées de projets	188

Pour aller plus loin

192 CONTENUS MULTIMÉDIA ADDITIONNELS

196 BIBLIOGRAPHIE

198 GLOSSAIRE

200 REMERCIEMENTS

201 CRÉDITS



ÉCLAIRAGE SCIENTIFIQUE
SUPPORT POUR ENSEIGNANTS

ÉCLAIRAGE SCIENTIFIQUE

Introduction

Ce document de référence se fonde sur le Rapport Spécial sur l'Océan 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 le contexte scientifique 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.

L'océan et la cryosphère (la glace et la neige présentes sur la Terre) s'étendent du sommet des montagnes jusqu'au fond de l'océan 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 l'océan et la cryosphère liés à l'activité humaine. Les émissions de gaz à effet de serre et autres pollutions ont en effet un impact majeur sur les 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 de l'océan et de la cryosphère pour les humains
3. Le changement rapide du climat sous l'effet de l'activité humaine
4. L'impact du changement climatique sur l'océan et la cryosphère
5. Les conséquences pour nos sociétés
6. Comment agir pour atténuer les effets du changement climatique et nous y adapter



Diamond Beach, Islande.

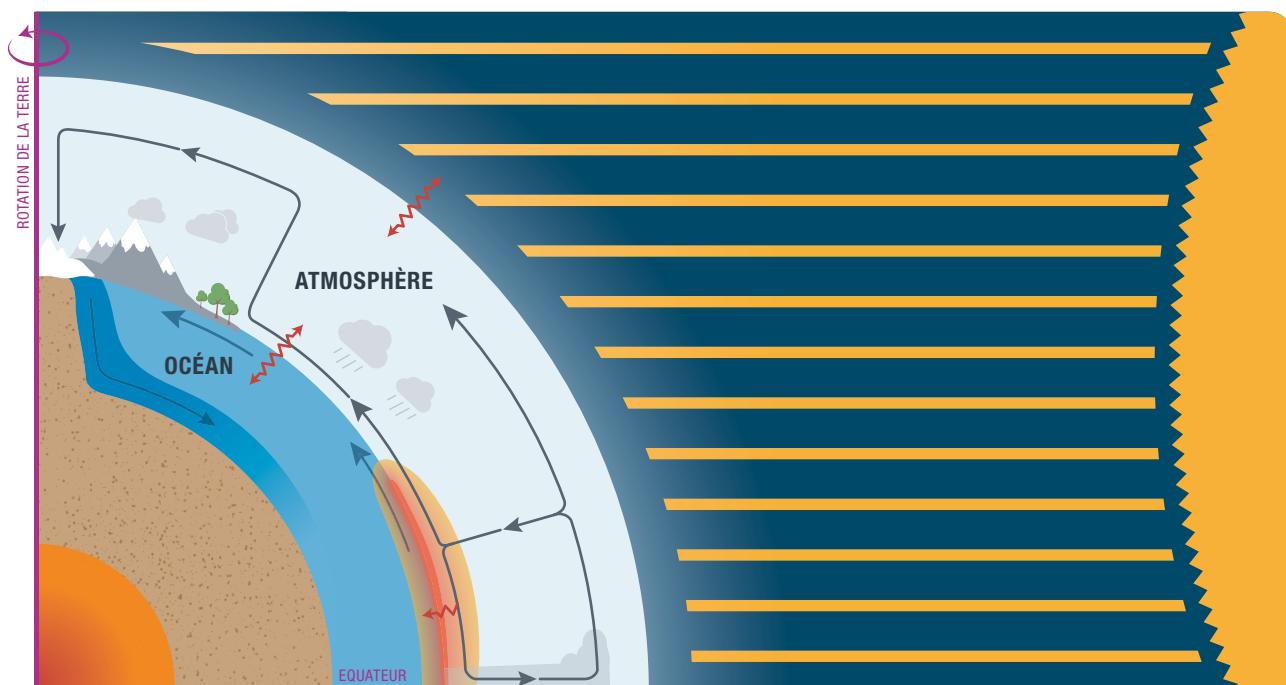
Les mécanismes du changement climatique

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 ou plus longtemps. Dans les 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 de la situation géographique qui explique les différents climats sur Terre, le système climatique mondial est un ensemble dynamique de composantes (atmosphère, océan, surfaces conti-

nentales, cryosphère, biosphère...) dont l'évolution est régie par des lois physiques, chimiques ou biologiques et qui échangent entre elles de nombreux flux : énergie, eau, carbone, etc.

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 inégalement 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 l'océan 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 de l'océan diffèrent largement :

- Les courants lents mais puissants de l'océan et l'inertie thermique de l'eau, qui ne libère pas sa chaleur facilement, assurent le transport d'énergie dans les tropiques ;
- L'atmosphère relâche plus facilement de la chaleur mais ses 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 à travers l'émission du rayonnement infrarouge, ce qui permet de ga-

rantir 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

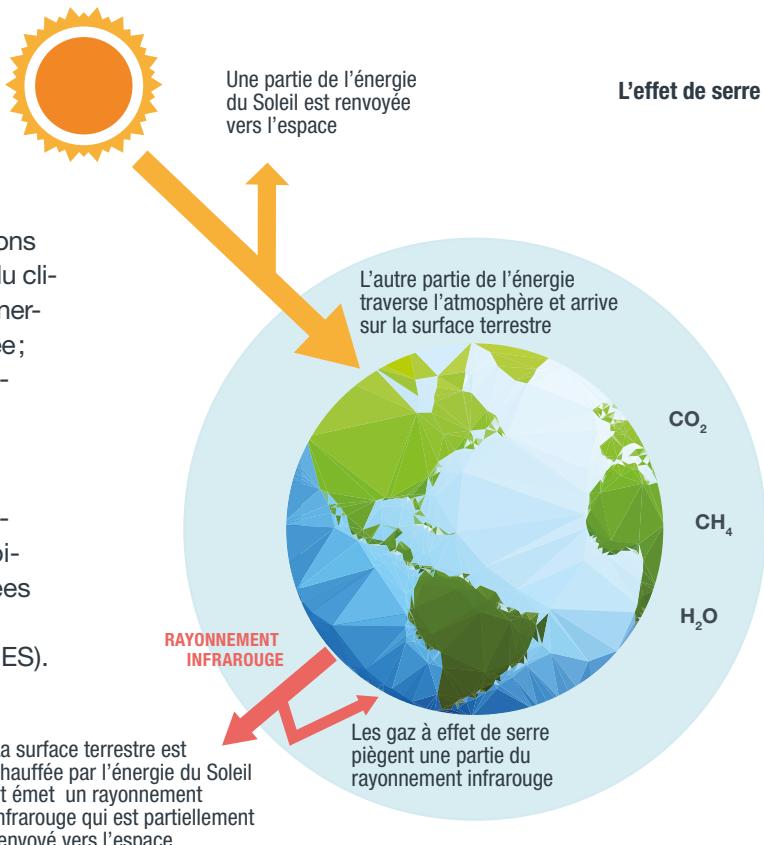
Il existe trois sources principales de variation du climat d'origine externe :

- **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 la quantité 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 l'océan, 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 12). 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 nourrissent 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 que le stockage du sol et des végétaux terrestres, et près de 60 fois plus que l'atmosphère. L'océan échange de grandes quantités de carbone avec le reste du système cli-

matique : environ 100 Gt de carbone sont échangées chaque année au niveau de l'interface air-mer. Dans l'océan, la répartition du carbone est contrôlée par deux « pompes » de 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 plantes marines, comme le plancton, absorbent du CO_2 par photosynthèse, comme la respiration des plantes sur les continents. Une partie de la matière organique ainsi créée se dépose au fond de l'océan et soustrait ainsi du CO_2 de l'atmosphère.

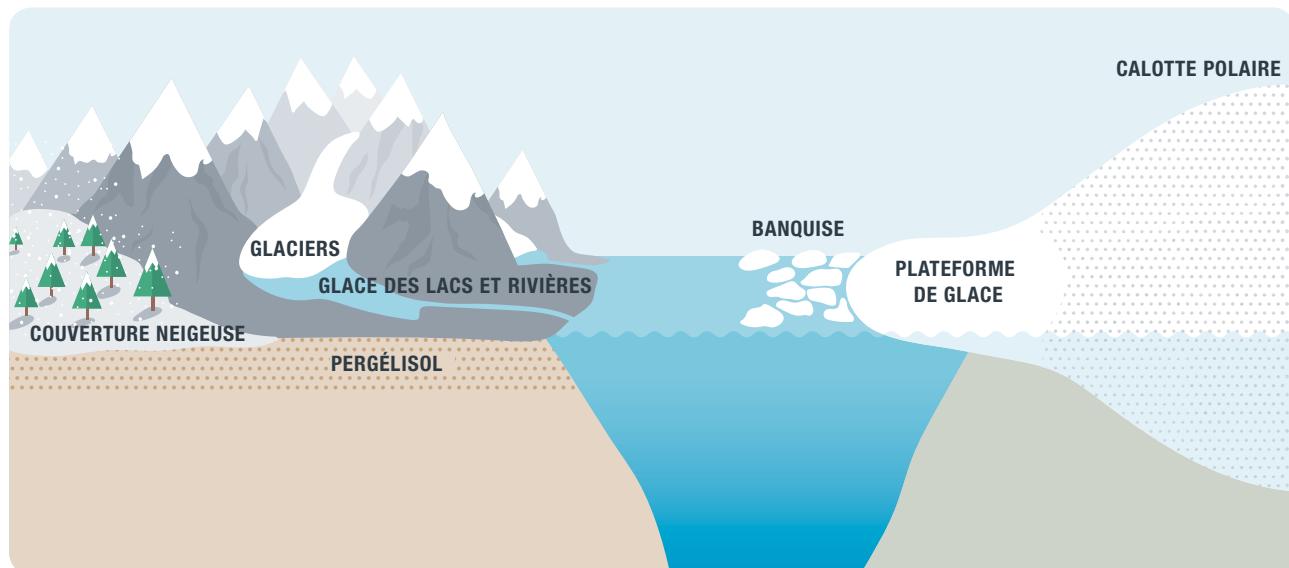
LE RÔLE SPÉCIFIQUE DE LA CRYOSPHERE

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 plateforme 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 »

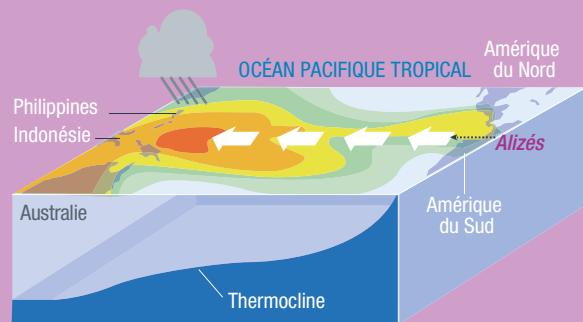
Certaines années, un réchauffement anormal se produit dans le Pacifique central et oriental, un événement connu sous le nom d'El Niño. De tels événements se produisent à quelques années d'intervalle. Durant les dernières décennies, plusieurs épisodes ont été observés. À titre d'exemple, on peut citer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

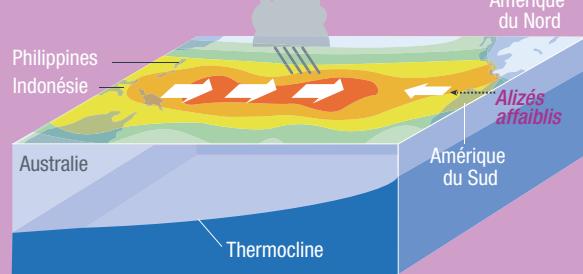
El Niño a des conséquences majeures pour les humains et l'environnement à l'échelle mondiale. Étant à l'origine de variations dans les régimes du vent et de la pluie, il est redouté dans de nombreuses régions du Pacifique tropical. Sur les côtes du Pérou et du Chili, la pêche habituellement abondante 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 de l'océan et de la cryosphère pour les humains

À la fois vastes et riches en ressources, l'océan 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 DE L'OCÉAN ET DE LA CRYOSPHERE

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 polaires¹.

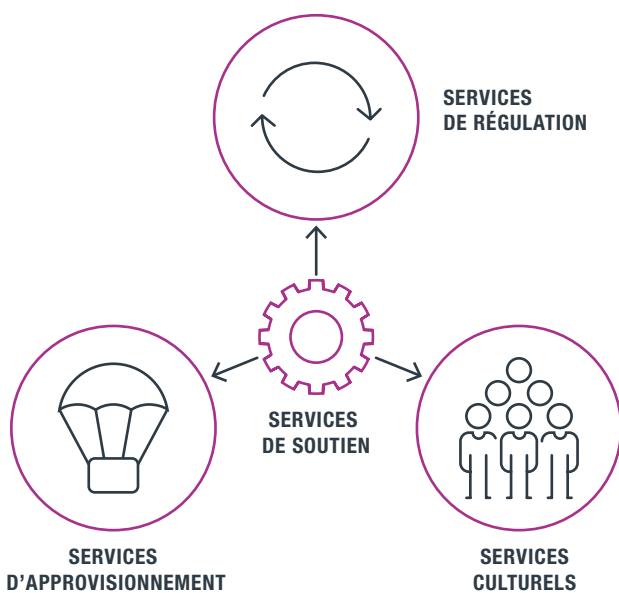
La cryosphère est également vaste ; les immenses calottes glaciaires de l'Antarctique et du Groenland représentent près de 10% de la surface émergée de la Terre². Il existe également près de 200 000 glaciers à travers le monde³, notamment ceux situés à haute altitude dans les tropiques (si haut qu'il 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 pergélisol⁴. 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.

LES SERVICES RENDUS PAR L'OCÉAN ET LA CRYOSPHERE

Les ressources et services que l'océan 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 l'océan et la cryosphère **aident à réguler le climat à l'échelle mondiale** en participant à l'équilibre énergétique de la planète et en tant qu'acteurs majeurs du cycle du carbone. Ces mécanismes font partie des services de régulation, tout comme les fonctions qu'exercent les récifs coralliens et les mangroves qui contribuent à la protection du littoral.

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 Gornitz, (2019). Vanishing ice : glaciers, ice sheets and rising seas (Disparition des glaces : glaciers, calottes glaciaires et hausse du niveau marin)



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

LES SERVICES D'APPROVISIONNEMENT

L'océan 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 développement⁵. L'océan nous fournit aussi de l'énergie renouvelable sous forme d'énergie houlomotrice et marémotrice ainsi que du pétrole, du gaz et des minéraux contenus dans les roches du plancher océanique. Les glaciers alimentent les bassins hydrographiques en eau douce, utilisée ensuite pour l'irrigation et la production hydroélectrique. Près de 800 millions de personnes⁶ 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 fournissent des moyens de transport, et la majorité des marchandises transportées à travers le monde le sont par voie maritime.

LES SERVICES CULTURELS

Les services culturels forment une troisième catégorie de services écosystémiques. L'océan et la cryosphère sont en effet créateurs d'emplois dans **l'industrie de la pêche et des loisirs** (à travers les

sports nautiques, l'industrie balnéaire, etc.). En outre, un certain nombre de **traditions et de cultures locales** s'en inspirent, de même que des **croyances religieuses**, à propos, par exemple des 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 plus 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.

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

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.

L'océan abrite une riche biodiversité concentrée dans des « niches », comme les écosystèmes coralliens. Des êtres vivants unicellulaires microscopiques et photosynthétiques appelés phytoplanton forment la base de la plupart des chaînes alimentaires marines et sont consommés par des animaux – souvent microscopiques – appelés zooplancton. À l'extrême de ces chaînes 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 spé-

cifiques. 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 année⁸, 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 retenue dans les basses couches de l'atmosphère, conduisant au réchauffement que l'on observe.** L'activité humaine modifie les concentrations de GES de deux façons :

- par l'extraction de combustibles fossiles stockés dans des couches souterraines (charbon, pétrole et gaz) et 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 d'usage des sols.

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%, atteignant 410 ppm au cours de l'année 2018¹⁰ !

Cette augmentation extrêmement rapide 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.

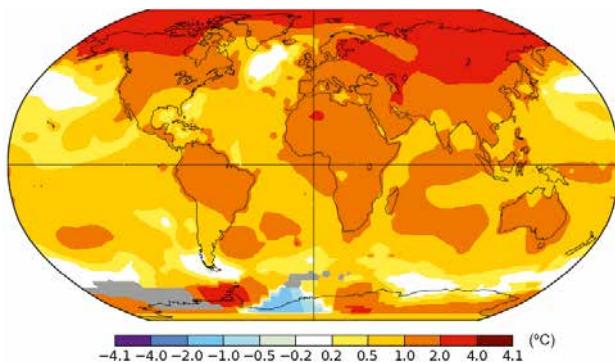
À cause de cette augmentation en GES, la température mondiale de notre planète a augmenté d'environ 1°C, entre l'ère pré-industrielle et 2018¹¹. Les scientifiques estiment que nos émissions directes de CO_2 , de méthane et les modifications dans l'usage des sols (telles que la déforestation) contribuent respectivement à ce réchauffement climatique à hauteur de 70%, 20% et 10%.

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>



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

L'OCÉAN ET LA CRYOSPHERE RALENTISSENT LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Aujourd’hui, sur les 40 milliards de tonnes de CO₂ produits chaque année par l’activité humaine, moins de 50% restent dans l’atmosphère¹². Le reste est absorbé en proportions sensiblement équivalentes par la végétation terrestre, dont la croissance est stimulée, et par l’océan. Sans ces deux «puits» de carbone, le réchauffement climatique aurait largement dépassé 1°C. En plus de retirer une partie du CO₂ d’origine anthropique présent dans l’atmosphère, l’océan ralentit le réchauffement d’une autre façon. Son énorme capacité calorifique lui permet en effet de stocker plus de 90% de la chaleur additionnelle générée par le réchauffement du climat. Le bénéfice de ces services de l’océan a aussi un coût. Comme l’explique la partie suivante plus en détail, l’océan paie un lourd tribut: une température et une acidité qui augmentent 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, ce qui accentue le réchauffement de l’océan Arctique et la fonte de la banquise. Cette rétroaction a aussi lieu dans les zones de glaciers et les régions montagneuses enneigées.

Environ 1% de l’excès de chaleur résultant du réchauffement climatique se traduit par 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 stockée 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 globales, l’eau de l’océan 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/> & Rapport Spécial du GIEC « Réchauffement climatique à 1,5°C »: <https://www.ipcc.ch/sr15>

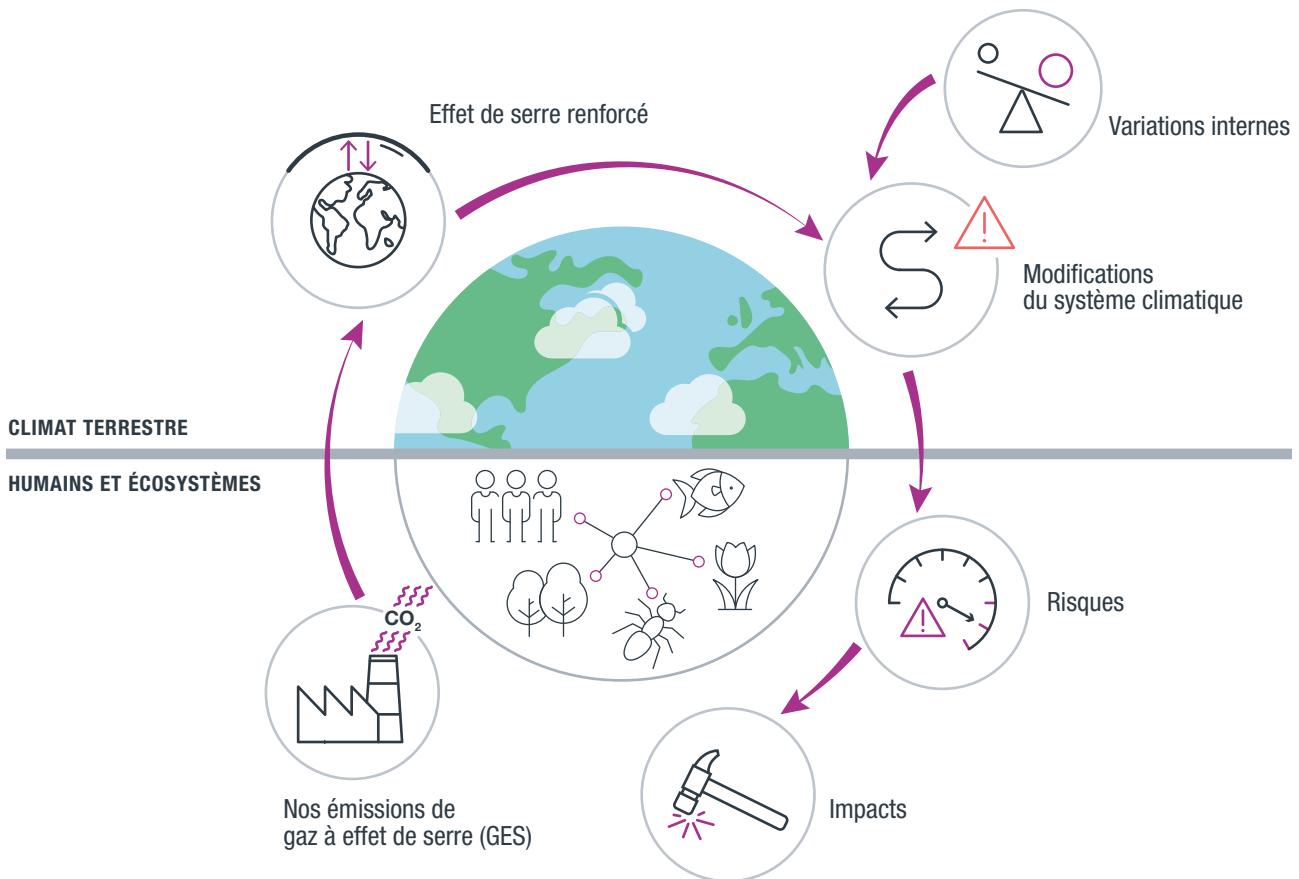


Diagramme représentant le rôle des émissions de gaz à effet de serre dans les impacts du changement climatique.

LES CONSÉQUENCES SUR L'OCÉAN ET LA CRYOSPHERE

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. Une alternative est d'adopter une approche basée sur l'analyse du risque qui vise à évaluer la probabilité et les conséquences 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 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 planétaires**. À quelques exceptions près, tous les glaciers du monde diminuent en masse et en superficie. 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. Ces rythmes de fonte équivalent à une hausse du niveau marin de 0,77 et 0,43 mm/an respectivement. Partout sur la planète, 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 reste 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.

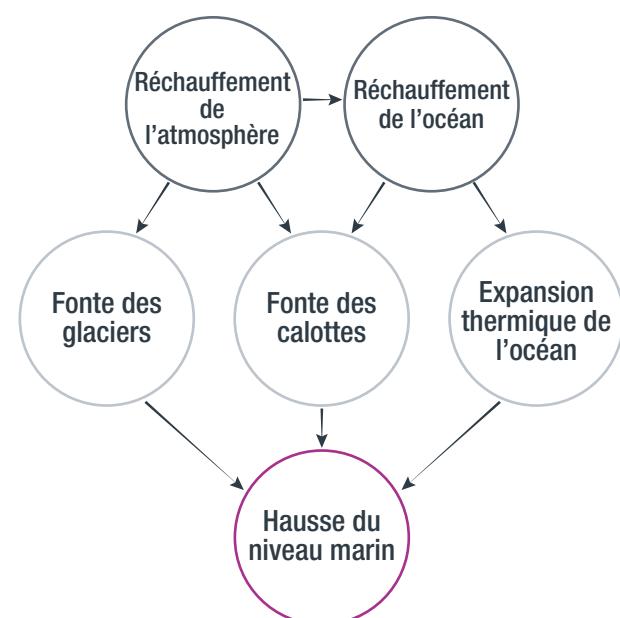
La quantité de gaz à effet de serre libérée lors de la fonte du pergélisol au cours du 21^e siècle dépendra du niveau du réchauffement climatique. Selon les estimations, des dizaines voire des centaines de gigatonnes pourraient être émises. À titre de comparaison, l'être humain a déjà rejeté dans l'atmosphère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

LA HAUSSE DU NIVEAU MARIN

Globalement, 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 l'expliquent :

- **un apport en eau plus important** dans l'océan 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 augmentera encore de 20 cm à plus d'un mètre suivant 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. Il y a d'abord des épisodes de niveau de la mer ex-

trêmes, par exemple dus aux surcotes liées aux tempêtes ou à des changements de régime des vents. Des changement liés au sol – enfoncement ou élévation – peuvent aussi modifier le niveau de la mer localement. Ces changements peuvent avoir des impacts majeurs : à Jakarta par exemple, le pompage 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 décennies¹³. 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. Lors de l'hiver 1980, environ 30% de la glace avait au moins cinq années d'ancienneté (ayant donc survécu à plusieurs saisons de fonte) – 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 3/4 de son épaisseur par rapport à 1975 : elle atteint aujourd'hui 1,25 cm contre 3,5 cm en 1975. Cette diminution 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 MARINES 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 depuis le haut, 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 mélange de nutriments plus difficile entre les eaux plus profondes et les eaux de

surface, pauvres en nutriments. Cette réduction du mélange entraîne une diminution de l'apport d'oxygène vers les eaux profondes et en provenance de la surface : on parle alors de désoxygénéation. 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 d'augmentation extrême de la température de l'océan, aussi appelés vagues de chaleur marines. Ces épisodes de réchauffement peuvent également provoquer le blanchissement massif des coraux, voire leur mort.

L'épisode de chaleur de 2014 à 2017 qui a touché 75% des récifs en est un exemple marquant. Cette tendance devrait se poursuivre : il est estimé que 75% des récifs coralliens pourraient disparaître si les températures planétaires augmentent encore seulement de 0,5°C et si les autres 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 marines, le réchauffement de l'eau de mer réduit également l'efficacité de l'absorption physique du CO₂ par l'océan, ce qui pourrait amoindrir son rôle d'amortisseur du réchauffement climatique.

L'ACIDIFICATION DE L'OCÉAN

L'absorption du CO₂ anthropique par l'eau de mer provoque une augmentation de l'acidité de l'océan, phénomène qualifié d'acidification. Lors de sa dissolution dans l'eau de mer, le CO₂ 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 planétaire, le pH moyen de l'océan a diminué d'environ 0,1 unité depuis la révolution industrielle pour atteindre aujourd'hui 8,05 (plus une solution est acide, plus son pH est faible)¹⁵. Notons que la limite acidité/alcalinité établie à 7

13 <https://nsidc.org/arcticseainews/charctic-interactive-sea-ice-graph/>

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

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

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 de l'eau, à l'origine de la circulation thermohaline. Les courants chauds de surface, tels que le Gulf Stream ou le Kuroshio adoucissent 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 mérienne 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 se mélanger vers le fond de l'océan, à des latitudes élevées. Retournant vers le sud en profondeur, ces eaux profondes traversent à nouveau l'équateur pour rejoindre l'Océan Austral autour de l'Antarctique, avant de remonter à la surface, des siècles plus tard, pour à nouveau rejoindre les courants de surface de l'Atlantique.

L'intensité de cette circulation contribue à la régulation du climat global. La chaleur transportée vers

le nord dans l'Atlantique influence ainsi le climat en l'Europe. Sous l'effet du changement climatique, un affaiblissement de la branche Atlantique de cette circulation de 10 à 30% est attendu, 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 hivernales en Europe. Pour de nombreuses 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 gamme de température optimale. La fonte des glaciers, ainsi que la fonte de la neige 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 adaptées 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 mesurer les changements biologiques.

Les conséquences pour nos sociétés

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE GÉNÈRE DES RISQUES POUR LES HUMAINS ET LES ÉCOSYSTÈMES

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

- Sous l'effet de l'augmentation globale du niveau marin, de plus en plus de zones sont exposées aux inondations** – qu'elles soient liées

à des fortes marées ou des surcotes liées aux tempêtes. Les extrêmes de niveau de la mer, qui sont pour l'instant rares (par exemple les inondations centennales), deviendront de plus en plus fréquentes au 21^e siècle. De nombreuses zones proches du niveau de la mer, comme le Bangladesh ou les îles basses, sont particulièrement exposées. D'ici 2050, de nombreuses mégapoles côtières et îles basses subiront chaque année 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 l'étendue de la cryosphère a un impact principalement 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 la quantité de lumière atteignant la surface océanique, favorisant ainsi la croissance du phytoplancton. À l'échelle globale, 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.
- À côté 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 un accès à des 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 Gornitz, (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 DES NATIONS UNIES

Les Nations Unies ont adopté une série de 17 objectifs du 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 de ce 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 impacts 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 impacts climatiques).

Comment agir pour atténuer les effets du changement climatique et nous y adapter

Pour réduire les risques et les impacts du changement climatique durant les prochaines décennies, il y a deux types d'action :

- **limiter le réchauffement climatique** en agissant sur les gaz à effet de serre. Cet objectif est atteignable en réduisant nos émissions atmosphériques ou en recourant à des méthodes qui extraient 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 liés au climat qui change, soit en réduisant leur vulnérabilité. 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 pré-

voir 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 des vagues et de réduire l'érosion du littoral, en éliminant également une part du CO₂ atmosphérique, qui se retrouve alors stocké dans la vase sous les mangroves, riche en carbone. La préservation des récifs coralliens peut également améliorer la protection des populations insulaires contre l'impact des vagues associées aux 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 immense. Une réduction rapide des émissions est nécessaire alors que la population mondiale, la demande en énergie et la consommation augmentent.

En même temps, comme l'enjoignent 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 de garder un espoir. Avec la prise de conscience publique et politique de la nécessité d'agir vite, 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 1890¹⁷. En Allemagne, la part d'électricité issue des énergies renouvelables a bondi, passant de 6% environ en 2000 à 38% en 2018¹⁸. En mars 2018, la production d'électricité renouvelable au Portugal représentait 103,6% de la consommation électrique du pays¹⁹. 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 signé dans le cadre des Nations Unies²⁰ 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 CO₂ est nécessaire au cours de la décennie à venir, **avec pour objectif final d'atteindre le seuil (réel) de zéro émissions (nettes) d'ici 2050**²¹ (pour 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 une action toujours plus ambitieuse des gouvernements, notamment à travers la mise en œuvre de mesures telles qu'une taxe carbone. Pour contribuer à atteindre les objectifs de cet accord au niveau individuel ou d'un 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 puis recalculer notre empreinte carbone pour évaluer notre réussite. Comme pour les pays au sein de l'Accord de Paris, chacun peut décider de ses actions en fonction de son contexte et de ses 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 CO₂, ils sont exprimés en termes d'« équivalents CO₂ » (eq-CO₂), c'est-à-dire la quantité équivalente en émissions de CO₂.

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 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.

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>

RÉDUIRE SON EMPREINTE CARBONE

Voici quelques pistes pour réduire son empreinte carbone :

- **Diminuer sa 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 exemple, une machine à laver).
- **Privilégier des équipements ou véhicules qui fonctionnent grâce à des énergies à faibles émissions de carbone** (par exemple, 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 rentable en terme d'émissions, compte tenu des émissions liées à la production du nouvel équipement et à la mise au rebut de l'ancien.
- **Éviter le gaspillage alimentaire** : $\frac{1}{3}$ de la nourriture est gaspillé à l'échelle planétaire²³. 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 importante du CO₂ que nous émettons sera toujours présent dans l'atmosphère dans 100 ans. Par conséquent, seuls les procédés et pratiques visant à ne pas rejeter de CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 de toutes les conséquences environnementales

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

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

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 nuisibles 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 impacts climatiques subis. En général, les populations des pays en voie de développement qui ont des ressources limitées et qui ont le moins contribué aux émissions vont subir les impacts les plus forts du changement climatique.

ADAPTATION

L'impact du changement climatique sur une région ne dépend pas uniquement de l'intensité 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 changements. 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 chan-

gements, 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 constructions). 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 événements 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.

ÉDUCATION

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 liés au changement climatique à l'échelle locale. **Étant donné le caractère incertain 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 une diversité 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

Afin de mettre en œuvre des mesures d'adaptation, il peut être judicieux **d'identifier et d'atténuer des problèmes environnementaux existants qui pourraient s'aggraver du fait du changement climatique si aucune mesure n'est prise.** Par exemple, les affaissements de terrain provoqués par l'action des humains accentuent la montée du niveau de la mer 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 lumière reçue par les récifs coralliens, les rendant plus vulnérables au

changement climatique. Les matières plastiques déversées qui s'accumulent dans l'océan ainsi que la surpêche sont d'autres exemples de pollution. En ce qui concerne la cryosphère, les dépôts de particules de suie sur la neige, résultant de la combustion incomplète de carburants fossiles, 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 exploré le rôle fondamental joué par l'océan et la cryosphère dans le système climatique et les sociétés humaines. Nous avons vu avec quelle rapidité le fonctionnement de l'océan et de la cryosphère est modifié par le changement climatique, parmi d'autres facteurs, et comment cela affecte les humains et les écosystèmes. Enfin, nous avons envisagé les mesures possibles pour faire face au changement climatique, à la fois en agissant sur l'origine du réchauffement par l'atténuation et en traitant les

risques et effets de celui-ci par l'adaptation. Les propositions d'activités ou de séquences qui suivent exploitent plus en avant 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 21^e siècle qu'est le changement climatique.



ÉCLAIRAGE PÉDAGOGIQUE
SUPPORT POUR ENSEIGNANTS

ÉCLAIRAGE PÉDAGOGIQUE

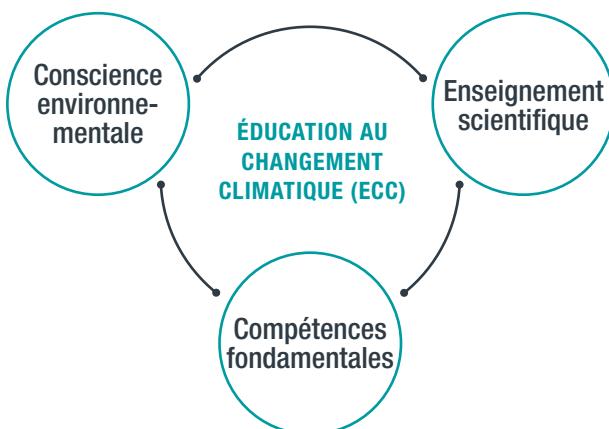
Différentes conceptions de l'éducation au changement climatique

L'approche générale de ce manuel d'enseignement repose sur le principe suivant: aider les élèves à développer une conscience environnementale, une compréhension de certaines notions scientifiques et des compétences sociales. Ces connaissances et ces compétences sont indispensables pour permettre aux élèves de comprendre les causes et les conséquences du changement climatique. Si les élèves adoptent un comportement plus durable parce que leurs valeurs et leurs motivations ont été changées, alors ils auront en main les outils nécessaires à la mise en place de mesures d'adaptation et d'atténuation face au changement climatique.

Une éducation au changement climatique efficace devrait aborder trois grands domaines, à savoir¹:

- **la conscience environnementale** (connaissance des conséquences de l'activité humaine);
- **l'enseignement scientifique** (compréhension scientifique des phénomènes en jeu et des processus associés);
- **l'apprentissage des compétences psychosociales fondamentales** (esprit critique, pensée créative, capacité à prendre des décisions et à résoudre des problèmes, conscience de soi et empathie, persévérance et capacité à gérer son stress et ses émotions, etc.).

Nous devons veiller à l'équilibre entre ces trois pôles dans l'éducation des jeunes générations. Ce juste équilibre ne passera pas nécessairement par la mise en place d'un programme traitant ces trois pôles avec le même poids (voir image de gauche). Chaque programme devra donc déterminer le meilleur équilibre entre ces trois axes en tenant compte des caractéristiques, du contexte et des besoins locaux des élèves concernés. Il est par conséquent essentiel que les enseignants posent un regard critique sur les séquences pédagogiques proposées, malgré leur nature « clé en main ».



¹ Inspiré des travaux de Rocha, (2019). Un regard sur l'éducation au développement durable à travers le prisme de l'évaluation. Mémoire de fin d'études.

Comment utiliser ces ressources pédagogiques ?

Ce manuel d'enseignement propose des lignes directrices détaillées pour permettre à des élèves âgés de 10 à 15 ans de se familiariser avec l'océan et la cryosphère et d'étudier leur relation avec le changement climatique. La structure de chaque séance permet aux enseignants d'aider leurs élèves à se livrer à différentes enquêtes et activités tout au long de ce manuel.

Pour chaque séance, la durée approximative et le contenu sont précisés : vous trouverez une liste des ressources nécessaires, des questions pour lancer la discussion, des suggestions de méthodes pour les expériences ou les enquêtes à mener par les élèves. Les éventuelles difficultés sont également mentionnées ainsi que les procédés pour tirer des conclusions efficaces de ces séances.

Toutes les suggestions et conclusions que vous trouverez dans ce plan de cours sont fournies à titre d'exemples. Bien qu'elles soient issues de séances menées en classe et qu'elles soient exactes sur le plan scientifique, nous vous encourageons vivement à suivre les protocoles expérimentaux, ainsi que les idées et conclusions émises par vos propres élèves, dès l'instant où ils fournissent des réponses cor-

rectes aux questions posées. Toutes les séances incluses dans ce manuel ont été validées par des scientifiques et pédagogues et ont été testées auprès d'un grand nombre de classes dans des pays et des contextes d'enseignement variés.

Les séances peuvent et doivent être adaptées pour répondre aux besoins individuels des classes / établissements scolaires. L'ordre des séances peut donc être changé en fonction des besoins. Nous encourageons les enseignants à adapter le cours en fonction de leur projet et du temps qu'ils ont à leur disposition.

Il est ainsi possible de procéder à ces modifications dans différentes optiques :

- afin d'exploiter au mieux l'intérêt et les questions des élèves soulevées lors d'échange d'opinions, d'informations locales, etc. ;
- afin de prendre en considération les difficultés de mise en œuvre locale de certaines séances, du fait d'un manque de matériel ou de blocages psychologiques chez les élèves ;
- afin de répartir les notions de certaines séances entre différents niveaux scolaires.

Choisir le contenu d'une séance

«Le climat entre nos mains – Océan et Cryosphère» se présente en deux parties : «Comprendre» et «Agir». Bien que distinctes, ces deux parties sont aussi importantes l'une que l'autre.

PARTIE 1 : COMPRENDRE

Dans cette partie, les séances sont organisées en quatre séquences consécutives, suivant un déroulement cohérent (voir détails déroulé du projet).

Ces séquences sont les suivantes :

- les principes du changement climatique ;
- les causes de ce changement ;
- les effets de ce changement sur l'océan et la cryosphère ;
- l'importance de l'océan et de la cryosphère pour nous ;
- la compréhension de l'empreinte carbone et de la nécessité de mettre en œuvre des solutions d'adaptation et d'atténuation.

Chaque partie de ce plan de cours est composée de séances principales et de séances facultatives.

PARTIE 2 : AGIR

Cette partie ne constitue pas un plan de cours. L'objectif ici est d'encourager la classe à mettre en œuvre un projet concret d'adaptation / d'atténuation au changement climatique. Des propositions de projets que les élèves pourraient mener sont fournies.

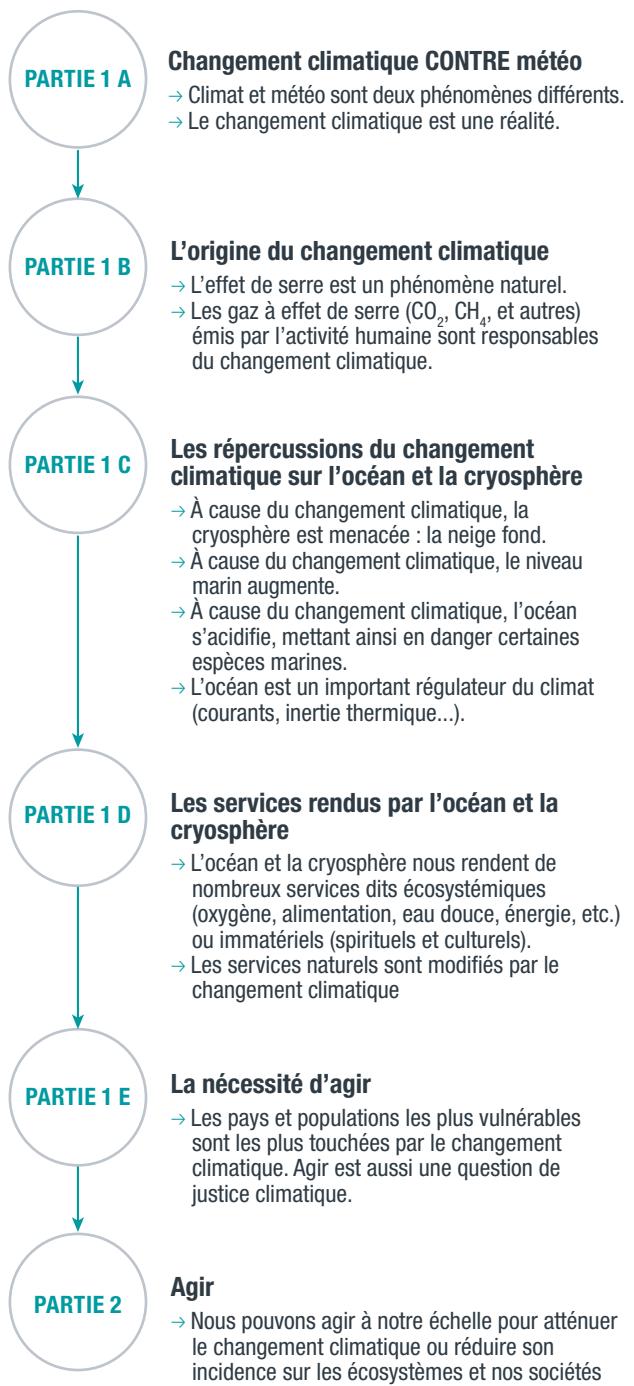
Les exemples de projets présentés dans cette partie diffèrent par leur durée (de quelques heures à quelques mois) et leur nature (adaptation, atténuation, portée/propagation, etc.).

IMPORTANT

Nous conseillons vivement de donner aux élèves l'occasion de faire les activités et recherches de la première partie «Comprendre» avant de se lancer dans un projet d'adaptation / d'atténuation de la partie 2.

DÉROULÉ DU PROJET

Le déroulement ci-dessous présente un aperçu très schématique et résumé du projet.



Enseigner le changement climatique par des pédagogies actives : démarche d'investigation et pédagogie de projet

Ce manuel requiert une participation active des élèves en classe pour aborder les questions liées au changement climatique. Cela peut prendre la forme de mise en place de problématiques, d'expériences, d'observations, d'apprentissage par l'erreur, de débats ou de la mise en œuvre de solutions locales et concrètes.

Cet «apprentissage actif» peut revêtir différentes formes. Les deux approches que nous conseillons vivement dans ce manuel sont la démarche d'investigation et la pédagogie de projet.

Certaines activités visent à développer les connaissances scientifiques des élèves et à encourager leur analyse critique. Elles adoptent une approche basée sur la démarche d'investigation, souvent utilisée dans les disciplines scientifiques (sciences, technologie, ingénierie et mathématiques). D'autres activités se concentrent tout particulièrement sur la mise en œuvre de projets d'adaptation ou d'atténuation concrets : ces projets doivent être menés par les élèves, l'établissement scolaire, voire les communautés locales. Elles adoptent plutôt une approche pédagogique basée sur la gestion de projet.

LA DÉMARCHE D'INVESTIGATION, QU'EST-CE QUE C'EST ?

Même si l'on admet que réduire la démarche d'investigation à un modèle linéaire d'apprentissage est une simplification excessive, cette approche générale passe par trois étapes :

1. **Formulation de problématiques:** le questionnement, lancé par l'enseignant ou les élèves, permet de formuler une ou des hypothèse(s).
2. **Formulation d'hypothèses:** les élèves entament des recherches pour approfondir et tester les hypothèses, pouvant prendre la forme d'expériences, d'enquêtes, d'observations ou d'études documentaires.
3. **Recherches et organisation des connaissances** construites à l'issue de la démarche, qui donnent lieu à davantage de questionnements, de recherches, etc.



Des élèves français cherchant à comprendre comment la dissolution du CO₂ dans l'eau entraîne une acidification.

ÉTAPE 1 : FORMULATION DE PROBLÉMATIQUES

L'objectif ici est de permettre aux élèves de poser des questions sur les différents phénomènes dont ils peuvent être témoins autour d'eux. En s'interrogeant, en procédant à des comparaisons et en mettant en évidence les divergences de point de vue, les élèves formuleront des problèmes qu'ils seront amenés à résoudre. Le rôle de l'enseignant est ici d'orienter les échanges afin que les élèves prennent conscience du problème et qu'ils débattent autour de solutions pour y remédier. L'enseignant posera alors des questions ouvertes pour aider les élèves à développer leurs compétences scientifiques et leur capacité d'analyse critique.

ÉTAPE 2 : FORMULATION D'HYPOTHÈSES

Sur la base de leur expérience et/ou de leurs connaissances, les élèves sont invités à fournir des explications qu'ils estiment plausibles et énoncent ainsi leurs propres théories. Pour accepter ou rejeter les différentes hypothèses, les élèves ont la possibilité de mener diverses expériences précises et/ou de réaliser une recherche documentaire. La phase de recherche est souvent motivée par la nécessité de juger de la crédibilité d'une théorie.

Les élèves peuvent formuler des idées ou des théories (ce qu'ils pensent savoir ou comprendre et qui pourrait expliquer un phénomène donné) individuellement ou en groupe.

ÉTAPE 3: FAIRE DES RECHERCHES ET STRUCTURER SES CONNAISSANCES

À cette étape, les élèves travaillent seuls ou en groupe pour chercher des solutions au problème posé. Cela implique de mettre les théories choisies à l'épreuve et de tester les hypothèses.

S'il n'est pas possible de mener des expériences, d'effectuer une modélisation ou de faire des observations directes, la recherche documentaire ou un entretien avec un expert (que l'enseignant peut incarner) permettra aux élèves de valider ou de réfuter leurs hypothèses.

Les élèves devront parfois faire un va-et-vient entre les étapes de questionnement et de recherche avant de trouver une solution et d'asseoir de nouvelles connaissances. Les discussions en classe entière ou en groupes jouent un rôle déterminant pour structurer les connaissances des élèves. Durant les discussions, le rôle de l'enseignant est de faciliter le dialogue entre les élèves.

C'est important que les élèves effectuent une synthèse des principaux résultats. Nous conseillons aux enseignants de permettre aux élèves de tirer leurs propres conclusions sur la base du travail effectué en classe. La conclusion collective de la classe devra dans l'idéal être consensuelle. Néanmoins, même en cas de consensus, la conclusion n'en est pas valide pour autant. Il est possible de se tromper.

L'une des étapes cruciales de la démarche d'investigation, bien trop souvent omise, est de comparer les connaissances acquises en classe, c'est-à-dire les conclusions collectives, avec les connaissances établies.

Voici des exemples d'apprentissage par démarche d'investigation qui sont mis en œuvre dans ce manuel:

→ **Expérience.** Dans la séance C1, les élèves réalisent une expérience pour vérifier que la fonte de la banquise n'élève pas le niveau marin contrairement à la fonte des glaces terrestres.

→ **Recherche documentaire.** Dans la séance A1, les élèves effectuent une analyse documentaire pour comprendre la différence entre météo et climat et les facteurs qui les influencent.

→ **Jeu de rôle.** dans la séance D2, les élèves font un jeu de rôle pour mieux comprendre le concept

de réseau trophique et découvrir qu'au sein des écosystèmes, tous les organismes interagissent entre eux et dépendent les uns des autres pour survivre.

LA PÉDAGOGIE DE PROJET, QU'EST-CE QUE C'EST ?

La pédagogie de projet est un concept d'apprentissage actif à part entière. Évoquée pour la première fois au début du 20^e siècle par John Dewey qui a également décrit la démarche d'investigation, cette approche a pendant longtemps été cantonnée à l'enseignement primaire avant de gagner progressivement l'enseignement secondaire et supérieur. La pédagogie de projet est devenue une méthode d'enseignement qui aborde un sujet en faisant appel à un apprentissage rigoureux, pertinent et pratique. Les projets sont généralement formulés sous forme de questions ouvertes qui encouragent les élèves à enquêter, faire des recherches ou à élaborer leurs propres solutions. Par exemple, comment réduire notre empreinte carbone à l'école?

La deuxième partie de ce manuel a été conçue de façon à cibler la mise en œuvre d'actions concrètes pour lutter contre le changement climatique. Elle adopte la méthode de la pédagogie de projet en mettant les élèves face à des problèmes concrets.

Les aspects clés de la pédagogie de projet comprennent les éléments suivants :

- Les élèves travaillent sur une tâche complexe, c'est-à-dire un problème à résoudre pour lequel ils mènent une enquête, une question à laquelle ils doivent répondre en faisant des recherches. L'objectif de la pédagogie de projet est de permettre aux élèves de mettre en œuvre de bout en bout un projet composé de tâches diverses pour résoudre un problème spécifique ;
- Ils mènent des enquêtes pratiques ou des recherches documentaires pour identifier différents points de vue sur cette problématique particulière ;
- Suffisamment de temps pour leur permettre de répondre aux problèmes posés et pour parvenir à une mise en œuvre sur le terrain ;
- Avoir bien compris que le projet est géré par les élèves de la classe, en groupes, et pas seulement par l'enseignant ;
- La possible répartition de cette tâche complexe en des tâches plus élémentaires au cours desquelles les élèves peuvent faire preuve d'une plus grande autonomie.



Des élèves en train de planter une mangrove

Le principal atout de la pédagogie de projet est l'apprentissage dans un cadre qui a un sens aux yeux des élèves. En outre, le côté pratique et réel du projet est généralement facteur de motivation. Ils développent alors des compétences transversales telles que la capacité à prendre des décisions ou à planifier. Ils comprennent également que les erreurs et les échecs font partie intégrante du processus d'apprentissage et que la coopération et la mise à profit des compétences de chacun sont les clés de la réussite. Enfin, l'issue du projet servira peut-être d'inspiration à d'autres classes, familles et communautés.

LE RÔLE DE L'ENSEIGNANT DANS LA PÉDAGOGIE DE PROJET

Tout comme dans le cadre de la démarche d'investigation, la pédagogie de projet se concentre sur l'implication active des élèves. Le rôle de l'enseignant est de les aider à définir le projet et des objectifs réalisables. Il recadre l'activité ou la discussion le cas échéant, supervise le débat et peut jouer le rôle d'expert si les élèves le demandent.

COMPÉTENCES SCIENTIFIQUES ET DE RÉDACTION

La communication orale et écrite est une composante centrale de la démarche d'investigation et de la pédagogie de projet. Écrire aide à prendre du recul, à éclaircir et formuler ses pensées de manière à ce qu'elles soient compréhensibles par tous. Les élèves qui adoptent cette approche pour la première fois ont souvent des difficultés à rédiger de façon naturelle. Cette activité demande beaucoup de pratique. En outre, elle ne portera ses fruits que si les élèves en comprennent l'utilité.

Tous les travaux écrits, indépendamment de leur forme – qu'ils s'agisse de dessins, d'images, d'une légende, ou d'un texte descriptif ou explicatif – participent au processus d'apprentissage. Il est important que l'enseignant n'évalue pas le travail d'écriture de l'élève, en corrigéant les fautes par exemple. Il peut toutefois l'aider progressivement à structurer son travail d'écriture.

→ **Lorsque les élèves écrivent pour eux-mêmes.**

Écrire leur permet d'agir (choisir une expérience, prendre des décisions, planifier, anticiper les résultats), de mémoriser (enregistrer les observations, recherches, lectures, se remémorer une activité passée) et de comprendre (organiser, trier, structurer, comparer à d'anciens travaux écrits, reformuler des écrits collectifs).

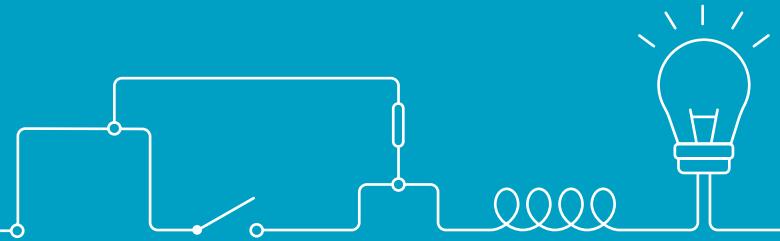
→ **Lorsque les élèves écrivent pour les autres.**

Écrire leur permet de faire part de ce qu'ils ont compris, d'interpeller les autres élèves et d'autres personnes en dehors de la classe (dans d'autres classes, leur famille, etc.), d'expliquer ce qu'ils ont fait et compris, de récapituler, etc.

Les notes à l'écrit peuvent se présenter sous deux formes: travaux individuels et travaux collectifs.

→ **Les travaux individuels** constituent l'espace personnel des élèves dans lequel ils inscrivent leurs premières réponses aux questions posées, décrivent les activités qui leur permettront de répondre aux questions et rédigent leurs prévisions et leurs rapports. Pour l'enseignant, lire les travaux individuels permet de suivre les progrès individuels des élèves.

→ **Les travaux collectifs** sont une synthèse des idées et suggestions des élèves, après discussions, expériences et recherches. Ces travaux sont ensuite validés: ils doivent respecter les règles de grammaire et d'orthographe et parfois employer un vocabulaire spécifique.



COMPRENDRE
MODULE PÉDAGOGIQUE - PARTIE I

COMPRENDRE #SÉANCES

La première partie de ce plan de cours s'intitule « Comprendre ». Comme son nom l'indique, elle vise à apporter aux élèves les **connaissances fondamentales** pour comprendre :

- les **bases scientifiques** et la **réalité** du changement climatique ;
- le changement climatique d'un point de vue **physique** et le rôle des gaz à effet de serre ;
- les interactions entre **l'océan, la cryosphère et le système climatique**, et les effets du changement climatique sur ces systèmes ;
- l'impact des modifications observées sur les écosystèmes océaniques et ceux de la cryosphère ainsi que sur les **populations humaines** qui en dépendent ;
- le rôle de chaque individu/population face au changement climatique et leurs différents degrés d'**exposition** et de vulnérabilité face à ses répercussions ;
- les **mesures** d'atténuation et d'adaptation au changement climatique que nous pouvons mettre en place.

Tous les concepts proposés se fondent sur **des connaissances scientifiques fiables et récentes, adaptées aux niveaux primaire et secondaire**. Les séquences ont été élaborées pour convenir **au niveau de compréhension et à la façon de penser des élèves**, et les séances comprennent un large éventail d'activités : des expériences, des analyses documentaires, des jeux de rôles, des débats, des activités interactives et de courtes vidéos. La progression générale suit une méthode d'enseignement fondée sur la démarche d'investigation. Les questions liées au changement climatique étant intrinsèquement pluridisciplinaires, il en va de même pour les séances proposées, qui rassemblent des matières telles que les sciences naturelles (la physique, la chimie, la biologie et la géologie), les sciences sociales (l'histoire, la géographie, l'économie et la sociologie) et les arts visuels et arts vivants.

Les séances proposées suivent un ordre qui est totalement modulable. **Vous pouvez l'adapter** en fonction des besoins, de l'âge et du parcours de vos élèves.



Certaines séances, les « séances principales », sont considérées comme essentielles pour que les élèves aient un aperçu global et accessible des phénomènes étudiés. **En cas de contraintes de temps, commencez par traiter les séances principales.**

Les « séances facultatives » ont pour objectif d'approfondir les connaissances des élèves sur différentes problématiques, leur permettant d'avoir un meilleur aperçu des répercussions du changement climatique sur l'océan et la cryosphère.

Certaines « séances principales » comprennent également des variantes (souvent dans la dernière partie de la séance, ou dans une fiche en particulier) de sorte qu'elles sont facilement adaptables aux différents niveaux des élèves. Dans les deux cas, **vous êtes, en votre qualité d'enseignant, la personne la plus à même d'adapter le plan de cours à vos élèves.**

SÉQUENCE A – QU'EST-CE QUE LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ?

➊ Séances principales

➋ Séances facultatives

<input checked="" type="radio"/>	A1	Climat VS météo	page 39
<input checked="" type="radio"/>	A2	La réalité du changement climatique	page 45

SÉQUENCE B – QUELLE EST L'ORIGINE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ?

<input checked="" type="radio"/>	B1	L'effet de serre : une analogie	page 57
<input type="radio"/>	B2	L'effet de serre : un jeu de rôle	page 61
<input type="radio"/>	B3	L'activité humaine et les gaz à effet de serre	page 64

SÉQUENCE C – QUELLES RÉPERCUSSIONS LE CHANGEMENT CLIMATIQUE A-T-IL SUR L'OCÉAN ET LA CRYOSPHERE ?

<input checked="" type="radio"/>	C1	Fonte de la cryosphère et hausse du niveau marin	page 74
<input checked="" type="radio"/>	C2	Dilatation thermique de l'océan et hausse du niveau marin	page 83
<input checked="" type="radio"/>	C3	La blancheur de la cryosphère et son albédo	page 89
<input checked="" type="radio"/>	C4	L'acidification de l'océan	page 93
<input type="radio"/>	C5	Les courants marins régulent le climat	page 98
<input type="radio"/>	C6	L'inertie thermique de l'océan et la régulation du climat	page 102

SÉQUENCE D – POURQUOI L'OCÉAN ET LA CRYOSPHERE SONT, POUR NOUS, UNE RESSOURCE VITALE ?

<input checked="" type="radio"/>	D1	Pourquoi a-t-on besoin de l'océan et de la cryosphère ?	page 106
<input checked="" type="radio"/>	D2	Réseaux trophiques et écosystèmes	page 113
<input type="radio"/>	D3	L'activité humaine, l'océan et la cryosphère	page 134

SÉQUENCE E – QUE PEUT-ON FAIRE ?

<input type="radio"/>	E1	Calculer notre empreinte carbone	page 140
<input type="radio"/>	E2	Justice climatique : un débat	page 143
<input checked="" type="radio"/>	E3	Justice climatique : un jeu de rôle	page 147
<input checked="" type="radio"/>	E4	Mesures d'adaptation et d'atténuation	page 155

SÉQUENCE A

QU'EST-CE QUE LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ?

Afin d'enseigner et de comprendre le phénomène du changement climatique, il faut s'intéresser à deux questions essentielles : la différence entre le climat et la météo, et les mécanismes de ce changement climatique. La première est fondamentale pour comprendre à quelles échelles spatiale et temporelle ces systèmes et leurs bouleversements s'étudient, tandis que la deuxième, tout aussi cruciale, permet de démontrer que la réalité de l'origine anthropique du changement climatique.

Les deux séances de cette séquence constituent une base pour toutes les séquences suivantes. Sans ces connaissances préalables, les élèves auront beaucoup plus de difficultés à contextualiser les séances suivantes.

→ **La première séance** permettra aux élèves d'apprendre qu'il existe différentes zones climatiques sur Terre et que le climat et la météo sont deux choses différentes.

→ **La deuxième séance** apporte aux élèves la preuve scientifique claire et indiscutable que le changement climatique est une réalité, tout en développant leur esprit critique face aux différentes sources d'informations. Ces deux séances sont principalement basées sur l'analyse et la recherche documentaire.

LISTE DES SÉANCES

● Séances principales

○ Séances facultatives

●	A1	Climat vs météo Sciences sociales/SVT Les élèves effectuent une analyse documentaire pour comprendre la différence entre météo et climat.	page 39
●	A2	La réalité du changement climatique SVT Les élèves réunissent diverses preuves montrant que le climat a évolué ces dix dernières années : réchauffement climatique, hausse du niveau marin, fonte des glaciers et de la banquise, phénomènes météorologiques extrêmes...	page 45

SÉANCE A1

CLIMAT VS MÉTÉO

DISCIPLINE CONCERNÉE

Sciences sociales/SVT

DURÉE

- ~ Préparation : 5-10 min
- ~ Activité : 1 h

RÉSUMÉ

Les élèves effectuent une analyse documentaire pour comprendre la différence entre météo et climat.

IDÉES À RETENIR

- ~ Le climat se définit comme la moyenne des conditions météorologiques dans une région donnée. Il dépend essentiellement de la latitude, de l'altitude ou de la distance par rapport à l'océan.
- ~ La météo se définit comme l'état de l'atmosphère à un endroit et à un moment donnés. Elle est conditionnée par des facteurs tels que la température et l'humidité.

MOTS-CLÉS

Climat, météo, latitude, altitude, température, humidité

MÉTHODE D'INVESTIGATION

Analyse documentaire

PRÉPARATION 5 - 10 MIN

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

FICHES A1.1, A1.2, A1.3 (une par groupe)

EN AMONT DE LA SÉANCE

Imprimez un exemplaire des FICHES A1.1, A1.2, A1.3 (un par groupe de 3 à 4 élèves), dont quelques exemplaires en couleur, si possible.

Veuillez noter que vous pouvez utiliser la version électronique des documents à projeter en classe. Les versions PDF de toutes les FICHES sont disponibles sur le site de l'Office for Climate Education, OCE. Se référer à la page 192.

CONSEIL À L'ENSEIGNANT

Assurez-vous que les élèves aient les connaissances de base en géographie (latitude, altitude, précipitations,...) afin qu'ils assimilent les notions qui suivent.



INTRODUCTION 5 MIN

- **Cas n°1:** Si vous vivez dans une région du monde présentant un climat saisonnier (été/hiver ou humide/sec): Commencez par demander aux élèves: comment êtes-vous habillé aujourd'hui? Portez-vous un t-shirt ou un pull? Un short, une jupe ou un pantalon? Des sandales ou des baskets? Portiez-vous le même type de vêtements la veille? Qu'en était-il la semaine d'avant, le mois d'avant ou lors de vos dernières vacances? Qu'est-ce qui vous pousse à choisir tel vêtement plutôt qu'un autre?

Ils vous répondront que tout dépend du temps qu'il fait: s'il fait beau, s'il pleut, s'il fait chaud ou froid. Amenez-les à en conclure que deux des variables les plus importantes pour décrire la météo sont la température et l'humidité, et que ces paramètres fluctuent au cours de l'année. Qu'en est-il des différentes régions du monde? Quelles température et humidité pouvons-nous y observer?

- **Cas n°2:** Si vous vivez dans une région où le climat n'est pas saisonnier: la météo est-elle identique toute l'année? Est-elle la même que n'importe où ailleurs dans le monde? D'autres régions ont-elles la même température ou les mêmes précipitations?

DÉROULEMENT 40 MIN

1. Divisez la classe en groupes et donnez à chaque groupe le planisphère et les photos des FICHES A1.1, A1.2, A1.3.
2. Donnez les instructions suivantes: Chaque numéro sur le planisphère correspond à une photo. Observez bien chaque photo et placez-les sur le numéro correspondant. Notez quels éléments des paysages vous ont amenés à tirer cette conclusion.

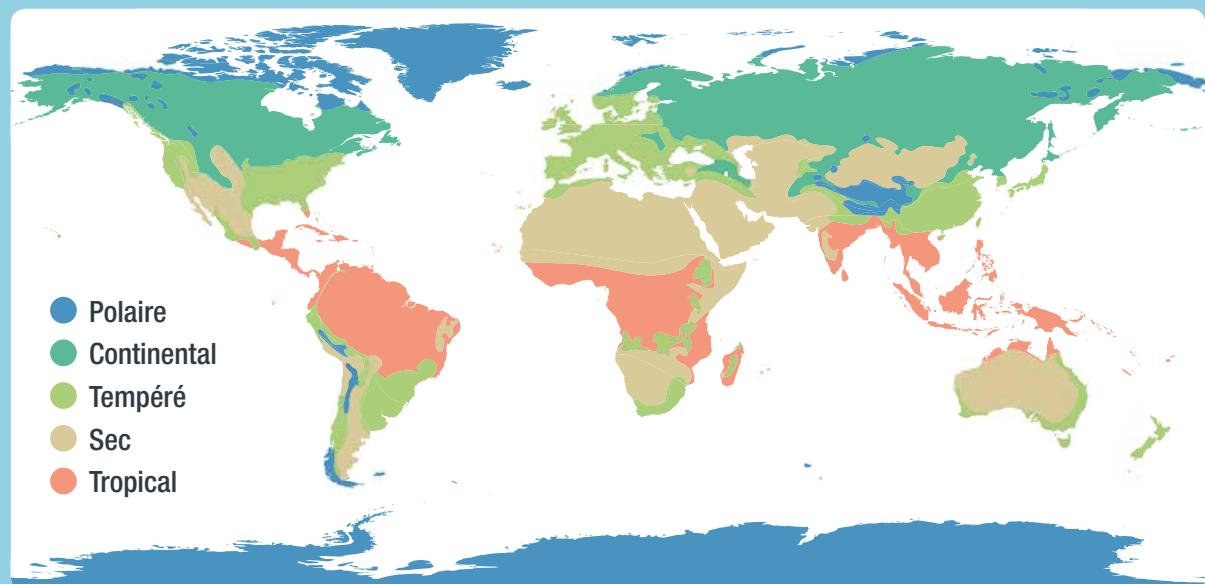
ÉCLAIRAGE SCIENTIFIQUE¹

La météo se définit comme l'état de l'atmosphère à un endroit et à un moment donnés. On peut citer parmi ses nombreuses composantes : le Soleil, la pluie, la couverture nuageuse, le vent, la grêle, la neige, les orages, les canicules, etc. Elle se caractérise par différents paramètres comme la température, l'humidité, les précipitations, la nébulosité, le vent et la pression atmosphérique. La météo peut changer d'un moment à l'autre, d'un jour à l'autre ou, en moyenne, d'une saison à une autre, et ce presque partout dans le monde.

La différence entre le climat et la météo tient à la durée de la période étudiée. Le climat se définit comme la moyenne des conditions atmos-

phériques calculée sur des mois, des années, des décennies, des siècles et plus encore. Il est conditionné par des facteurs géographiques, tels la latitude, l'altitude, la topographie, la proximité avec une grande étendue d'eau, tel un océan ou un lac, et l'emplacement sur un continent (est ou ouest, par exemple), variables d'un endroit à un autre sur Terre (vous pourrez trouver de plus amples détails [pages 8-13](#) de l'Éclairage scientifique général).

Pour décrire le climat d'une région, il existe différents systèmes de classification. L'un des plus connus est la classification de Köppen qui définit cinq types de climats principaux : tropical, sec, tempéré, continental et polaire.



1 Ces éclairages scientifiques sont destinés à l'enseignant

Pour cette activité, les élèves doivent décrire les images et expliquer pourquoi ils pensent qu'elles représentent une région climatique en particulier. Par exemple, pour une photo représentant un désert, les élèves pourront citer les termes suivants : paysage sec, absence de végétation ou présence d'un type de végétation particulière. L'objectif est d'identifier deux des facteurs clés qui influencent le climat : la température et les précipitations, qui dépendent notamment de l'altitude, de la latitude et de la distance par rapport à l'océan.

3. Après environ 15 minutes, demandez à un représentant de chaque groupe de venir au tableau. Demandez-lui de placer deux des photos sur le planisphère et d'expliquer pourquoi le groupe pense que ces paysages devraient être placés sur ce numéro en particulier. Écrivez les raisons principales évoquées par l'élève au tableau.

À la fin de chaque exercice, s'en suit une discussion avec toute la classe. En cas de désaccord, les élèves peuvent consulter les ouvrages adéquats, comme

Solution pour la Fiche A1.1



1. Glacier en déplacement,
Climat polaire, Péninsule
Antarctique



2. Montagne, climat continental, Canada



3. Mangrove, climat tropical,
République Dominicaine



4. Rizière, climat tropical,
Indonésie (Java)



5. Côte méditerranéenne,
climat tempéré, France



6. Forêt de feuillus, climat tempéré, Vermont, États-Unis



7. Banquise, climat polaire,
Svalbard, Norvège



8. Savane, climat tropical,
Tanzanie



9. Pâturages, climat tempéré,
Irlande



10. Forêt tropicale, climat tropical, Thaïlande



11. Petite île, climat tropical,
Tuvalu



12. Désert, climat sec,
Australie

un livre de géographie par exemple, ou vérifier sur internet.

Soulignez les facteurs clés mis en évidence pendant la discussion, tels que **la température, les précipitations, la distance par rapport à l'océan, le vent, la latitude et l'altitude** qui conditionnent le climat.

→ CONSEIL À L'ENSEIGNANT

Si vous avez accès à Internet, vous pouvez vérifier la température actuelle et/ou moyenne de tous les lieux identifiés et la faire deviner aux élèves. Pour cela, les élèves doivent se familiariser avec la latitude, les zones climatiques, les saisons, l'altitude et les horaires de lever du jour/de la nuit.

4. Aidez les élèves à dresser un bilan qui établit un lien entre les différents éléments des photos, la diversité des climats et leur répartition géographique. Insistez sur la diversité des climats sur Terre. Demandez aux élèves : *quel est le climat de notre région ?*

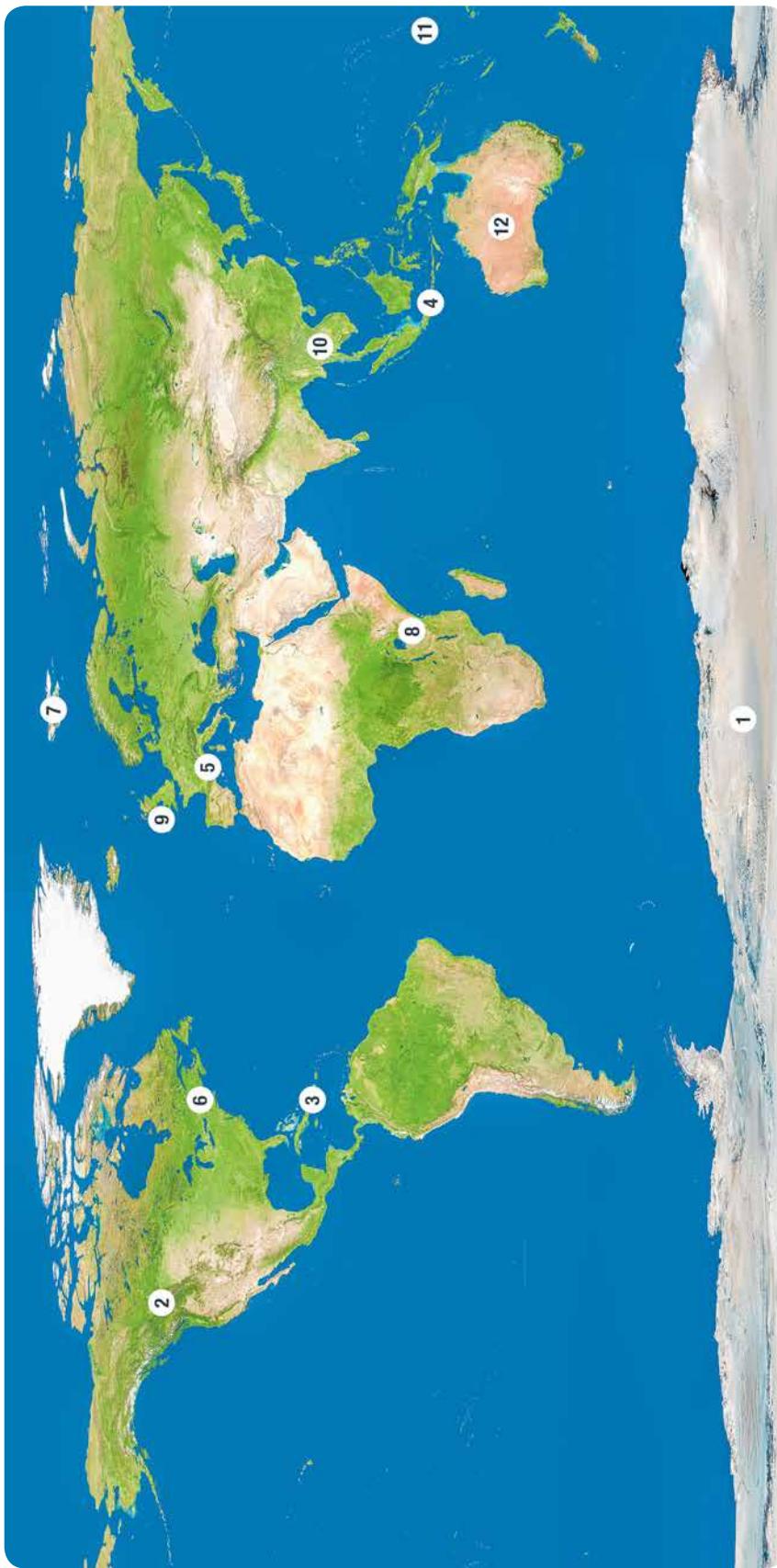
CONCLUSION 15 MIN

Aidez les élèves à préparer une conclusion collective, par exemple : *Le climat est la moyenne des conditions météorologiques dans une région donnée, alors que la météo est l'état de l'atmosphère à un endroit et à un moment précis. Il existe une multitude de climats sur Terre, caractérisés par des courbes de température et d'humidité spécifiques, soumis à la latitude, l'altitude, l'emplacement géographique sur le continent (par ex. à l'est ou à l'ouest) et la distance par rapport à une grande étendue d'eau (par ex. l'océan ou un lac).*

FICHE A1.1



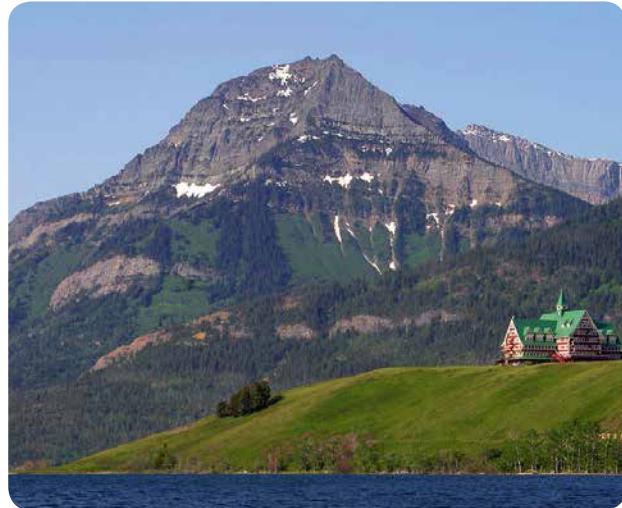
Chaque numéro sur le planisphère correspond à une photo de la FICHE A1.2 ou de la FICHE A1.3.



FICHE A1.2



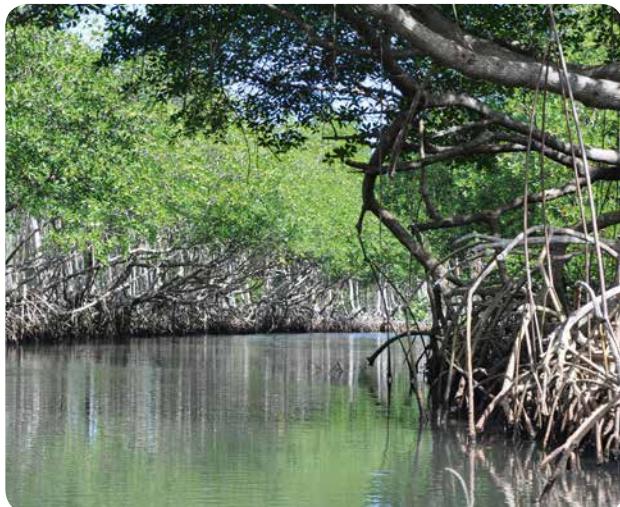
Chaque photo correspond à un numéro sur le planisphère de la FICHE A1.1.



FICHE A1.3



Chaque photo correspond à un numéro sur le planisphère de la FICHE A1.1.



SÉANCE A2

LA RÉALITÉ DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

DISCIPLINE CONCERNÉE

SVT

DURÉE

- ~ Préparation : 5 + 10 min
 - ~ Activité : 1 h

BÉSUSMÉ

Les élèves réunissent diverses preuves montrant que le climat a évolué ces dix dernières années : réchauffement climatique, hausse du niveau marin, fonte des glacières et de la banquise, phénomènes météorologiques extrêmes...

IDEES A RETENIR

- À cause de sa variabilité naturelle, le climat peut évoluer sur une échelle temporelle allant de quelques années à des millions d'années.
 - La température de l'atmosphère et de l'océan augmente.
 - La fréquence et/ou l'intensité des phénomènes naturels extrêmes, comme les canicules, les tempêtes, les inondations et les cyclones tropicaux est modifiée.
 - Toutes les sources d'informations ne sont pas fiables. Il faut toujours vérifier ses sources.

MOTS-CLÉS

Réchauffement climatique, phénomènes météorologiques extrêmes, changement progressif, échelles de temps longues, données scientifiques

MÉTHODE D'INVESTIGATION

Analyse documentaire

PRÉPARATION 15 MIN

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

FICHES A2.1, A2.2, A2.3, A2.4, A2.5, A2.6, A2.7, A2.8 (un exemple de cas pour chaque groupe)

EN AMONT DE LA SÉANCE

1. **À faire à l'issue de la séance précédente:**
demandez aux élèves de réunir des « preuves » qui, selon eux, attestent du changement climatique: opinion d'adultes (parents, grands-parents ou autres membres de leur entourage) qui ont constaté l'évolution du climat depuis leur enfance; entretiens; articles de journaux; publications sur les réseaux sociaux ou autres res-



sources médiatiques qui, selon eux toujours, témoignent du changement climatique.

2. Imprimez des exemplaires des **FICHES A2.1, A2.2, A2.3, A2.4, A2.5, A2.6, A2.7, A2.8**. Vous pouvez imprimer plus d'un exemplaire de chaque fiche par groupe afin de leur fournir les articles et graphiques qui illustrent au mieux les «preuves» qu'ils ont apportées).

→ CONSEIL À L'ENSEIGNANT

Dans le cadre de cette séance, tenez compte de deux éléments qui peuvent faire obstacle à la compréhension des élèves :

- L'échelle temporelle du changement climatique : l'ampleur gigantesque des échelles temporelles utilisées pour parler du changement climatique peut être difficile à appréhender ; pour un jeune élève, 50 ans peut paraître une éternité. Il n'est pas facile de concevoir l'idée de changement sur de telles échelles. En outre, certains changements sont graduels et donc difficilement perceptibles.

→ L'échelle mondiale du changement climatique: même à l'ère de la mondialisation et des réseaux sociaux, les jeunes (et parfois même les moins jeunes) ont tendance à ne percevoir que les événements directement en lien avec leur vie personnelle. Les changements et événements qui se produisent dans d'autres régions du monde sont trop lointains pour être perçus comme réels. Pour commencer, citez des événements qui parlent aux élèves, comme des événements locaux et d'actualité. Vous pourrez ensuite progressivement intégrer des changements plus généraux et à plus long terme. C'est pourquoi commencer par des exemples concrets apportés par les élèves eux-mêmes peut aider.

L'interprétation des graphiques figurant sur certains documents supposera certaines connaissances de base. N'hésitez pas à prendre davantage de temps si les élèves sont confrontés à ce type d'exercice pour la première fois.

INTRODUCTION 5 MIN

Commencez cette séance en demandant aux élèves de présenter brièvement leur « preuve » à la classe. Puis, regroupez les élèves par type de « preuves » apportées : les élèves avec des « preuves » d'une même problématique liée au changement climatique doivent faire partie d'un même groupe.

DÉROULEMENT 40 MIN

1. Parmi les **FICHES** fournies, sélectionnez un ou plusieurs articles/graphiques à distribuer à chaque groupe d'élèves pour illustrer la « preuve » qu'ils ont apportée.

ÉCLAIRAGE SCIENTIFIQUE

Comme l'expliquent les pages 9-13 de l'Éclairage scientifique général, le climat à l'échelle mondiale varie naturellement. Le terme de « **changement climatique** » est dorénavant fréquemment utilisé comme synonyme de changement climatique anthropique ; en d'autres termes, il désigne les perturbations du système climatique dues à l'activité humaine depuis la révolution industrielle (se référer aux pages 15-16 de l'Éclairage scientifique général et à l'Éclairage scientifique de la séance B3 pour en savoir plus sur le changement climatique anthropique). Il se manifeste sous plusieurs formes et à des temporalités différentes : par des **modifications dans la nature même de phénomènes météorologiques isolés, de courte durée**, comme les ouragans, et par des **bouleversements graduels** qui évoluent au fil des décennies, comme la hausse du niveau marin. Ces variations peuvent interagir et se renforcer mutuellement ; ainsi, de graves inondations dues à une tempête seront rendues plus dévastatrices par la hausse du niveau marin à long terme.

Lorsque l'on évoque le changement climatique, on se réfère aussi à l'une de ses répercussions sur notre planète, à savoir le **réchauffement climatique**. On entend par là l'augmentation de la température moyenne à la surface du globe. La vitesse d'augmentation de la température – ou taux de réchauffement – observée depuis la révolution industrielle est une autre variable mesurée, en constante hausse.

Les scientifiques utilisent différents types de **données probantes** pour suivre l'évolution du changement climatique et ses répercussions, dont quelques exemples seront évoqués dans cette séance :

- des preuves visuelles notamment, telles que des images satellites et des photographies aériennes, permettent de constater la fonte de la banquise et la diminution de la surface des glaciers ;

- des données instrumentales issues notamment des marégraphes, qui mesurent le niveau marin local, des altimètres satellitaires, qui mesurent le niveau marin global, ainsi que des thermomètres et des pluviomètres pour la température et les précipitations à l'échelle locale ;
- l'observation du changement de répartition spatiale des espèces animales et végétales qui ont besoin de conditions spécifiques pour s'épanouir. Par exemple, un animal qui préfère des températures plus basses pour survivre se déplacera davantage vers le nord ou dans les montagnes. On peut également citer le cas de nouvelles espèces qui n'arrivaient pas à passer l'hiver dans une région donnée et qui y parviennent désormais (par ex. le moustique tigre en Europe) ;
- le changement des dates de floraison et de récolte ;
- la variation de l'épaisseur des cernes des arbres ;
- les carottes de glace (échantillons de glace) sont utilisées pour évaluer les changements de composition des gaz dans l'atmosphère grâce à l'analyse de la composition des bulles d'air de climats passés stockées dans des couches de glace ;
- les carottes de sédiments sont utilisées pour évaluer les changements du climat par l'observation des différences entre les restes des organismes et pollens stockés dans les couches de sédiments.

Les exemples ci-dessus ne sont que quelques cas illustrant les différents types de données solides que des dizaines de milliers de scientifiques issus du monde entier et de toutes les disciplines utilisent pour observer, mesurer et comprendre le changement climatique et en déduire qu'il s'explique par **l'activité humaine** et en particulier l'émission de CO₂, un gaz à effet de serre (voir séance B1, page 57).

Exemple: un élève a apporté le témoignage de son grand-père se remémorant la ville dans laquelle il vivait étant enfant, où il neigeait chaque année, tandis qu'aujourd'hui, il ne neige plus que dans les montagnes; cet élève devrait faire partie du groupe des « preuves » du réchauffement climatique, auquel vous distribuerez des articles/graphiques montrant l'évolution des températures ou le recul des glaciers.

2. Demandez à chaque groupe d'analyser la « preuve du changement climatique » qu'ils ont apportée à l'école et de décider, grâce aux connaissances nouvellement acquises, si les événements/informations sont liés au changement climatique ou à la météo.
3. Un représentant de chaque groupe communique à la classe l'avis de son groupe et explique les raisons justifiant leur décision. Au tableau, dessinez un tableau à deux colonnes : une dressant une liste des « preuves » et l'autre indiquant si ces preuves sont liées au climat ou à la météo. Les élèves doivent comprendre, en s'appuyant sur les connaissances acquises dans les séances précédentes, que **la météo est un état de l'atmosphère**, à un endroit et à un moment donnés, et que **le climat est un état moyen**. Pour un climat donné, la météo varie quotidiennement, même au cours d'une journée. À l'inverse, la météo sur une seule journée ne décrit pas un climat donné.
4. Donnez maintenant aux élèves des preuves scientifiques du changement climatique dans différentes régions du monde. Distribuez un exemple de preuve du changement climatique des **FICHES A2.1, A2.2, A2.3, A2.4, A2.5, A2.6, A2.7, A2.8** à chaque groupe. **Sélectionnez les exemples qui se rapportent aux preuves écrites au tableau.**

Demandez aux groupes d'analyser les documents :

- *Quel type de dérèglement est représenté (température, niveau marin, etc.) ?*
- *Pourquoi est-il lié au climat et non à la météo (regardez l'échelle temporelle des données) ?*
- *Quelles sont les sources de ces documents (GIEC, NASA, etc.) ? Ces sources sont-elles fiables ?*

5. Après avoir analysé et débattu en groupe autour des documents, un élève par groupe présente les résultats aux autres groupes. Les élèves doivent comprendre que les différents articles/graphiques qu'ils ont analysés proviennent de diverses sources d'information.

CONCLUSION 15 MIN

Pour conclure, expliquez aux élèves que des preuves scientifiques témoignent de façon formelle du changement climatique mondial, dont les impacts diffèrent d'une région à l'autre (hausse du niveau marin, migration animale, amincissement de la couverture de neige, hausse des températures, etc.). Parlez de l'importance de vérifier la fiabilité des sources d'information. Citez le GIEC comme l'une des sources d'information les plus fiables en matière de changement climatique.

→ CONSEIL À L'ENSEIGNANT

Vous trouverez des résumés des derniers rapports du GIEC à destination des enseignants sur le site de l'Office for Climate Education (se référer à la page 192).



Élèves analysant des données démontrant le changement de précipitations annuelles.

PROLONGATION FACULTATIVE 1 (1H) : BUILD YOUR OWN EARTH

Pour prolonger cette séance, les élèves peuvent utiliser le logiciel en ligne « Build your own Earth » (Créez votre planète Terre, <http://www.buildyourownearth.com>) qui leur permettra d'explorer les différents scénarios d'émissions de gaz à effet de serre et leurs répercussions sur les systèmes et le climat terrestres (atmosphère, glace, continents et océan). Si vos élèves sont des collégiens, vous pouvez aussi utiliser le logiciel C-roads (<https://www.climateinteractive.org/tools/c-roads/>).

PROLONGATION FACULTATIVE 2 (1H) : FAKE NEWS ET ESPRIT CRITIQUE

Vous pouvez organiser une séance durant laquelle les élèves apprennent à vérifier la fiabilité d'une source d'information. En matière de changement climatique, les rapports du GIEC qui ont été minutieusement examinés par une grande communauté scientifique font partie des sources d'information les plus fiables.



FICHE A2.1

Les deux images montrent l'étendue de la banquise en Arctique aux mois de septembre (à la fin de l'été dans l'hémisphère nord) 1979 et 2015.

→ Qu'observez-vous ?



Source : NASA – <https://svs.gsfc.nasa.gov/4435>

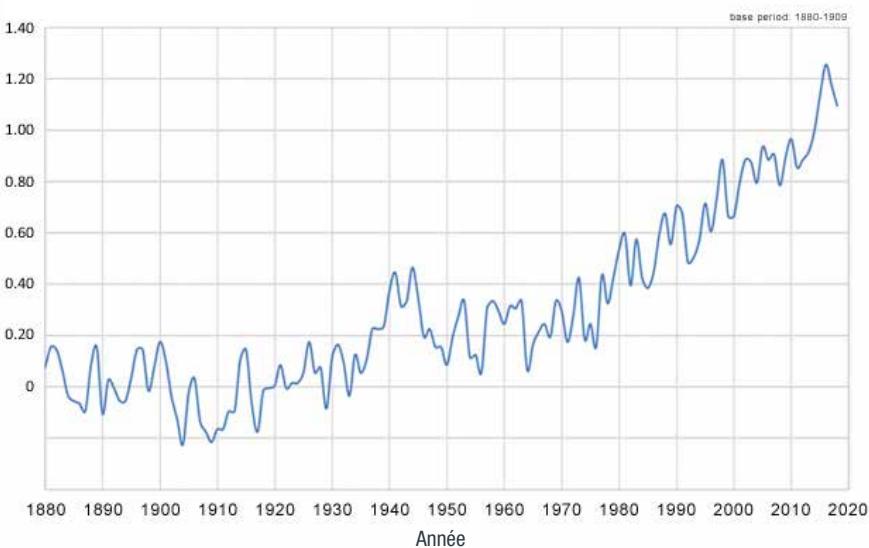


FICHE A2.2

Les deux graphiques montrent le réchauffement climatique et l'évolution du niveau marin par rapport à la valeur de référence – en 1880.

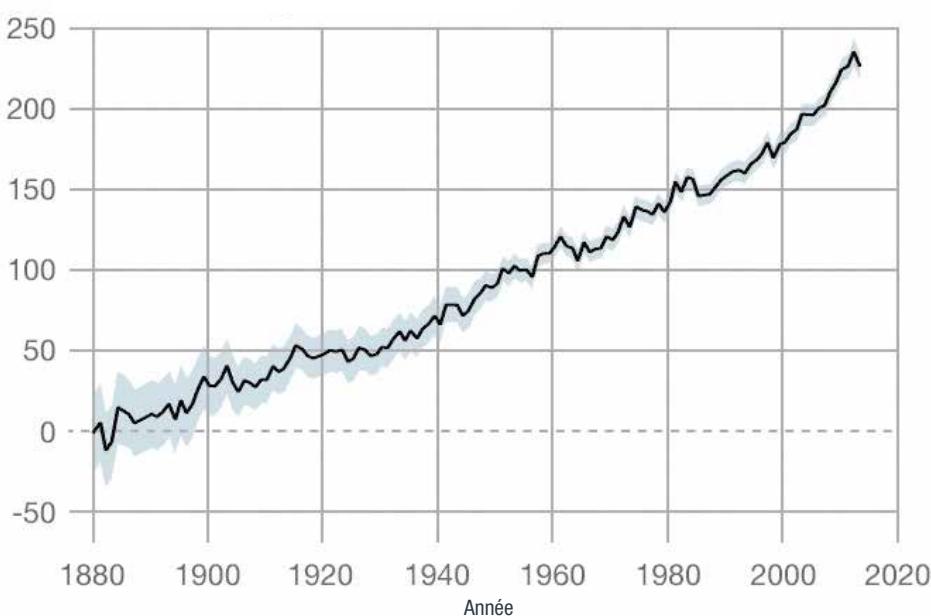
→ Que remarquez-vous ?

RÉCHAUFFEMENT GLOBAL (EN °C)



Source : données de la NASA – https://data.giss.nasa.gov/gistemp/tabledata_v3/GLB.Ts+dSST.txt

VARIATION DU NIVEAU MARIN EN MM



Source : données de la NASA – <https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/>

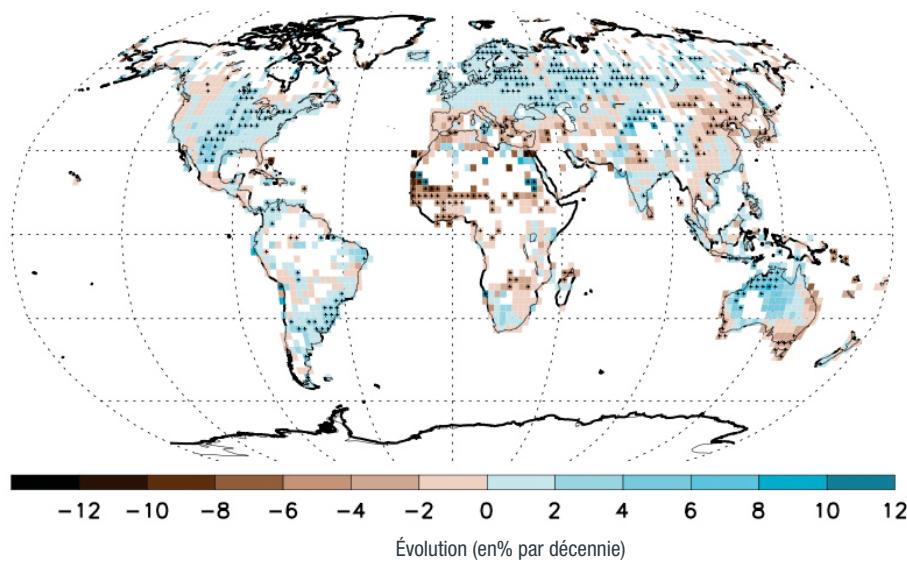


FICHE A2.3

Les deux images montrent l'évolution des précipitations entre 1951 et 2010 et des températures entre 1950 et 2018.

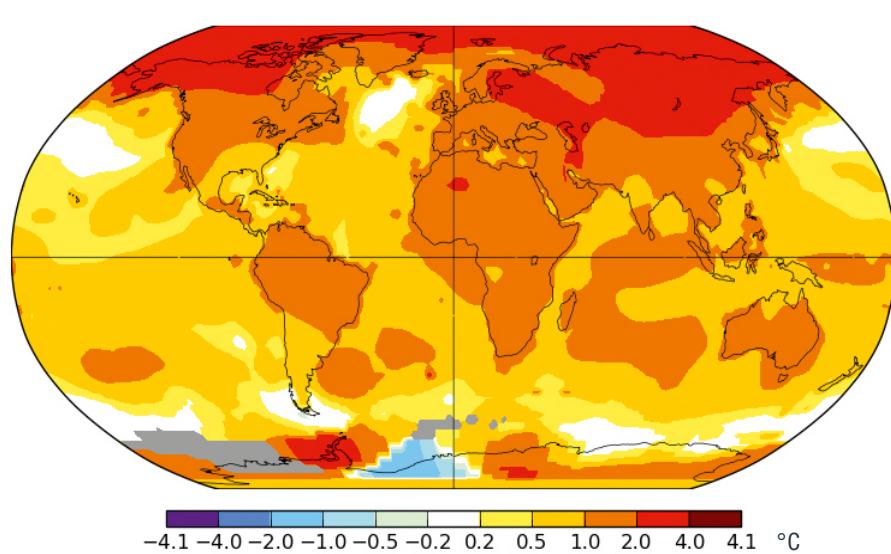
→ Que remarquez-vous ?

ÉVOLUTION DES PRÉCIPITATIONS SUR LES CONTINENTS ENTRE 1951 ET 2010



Source : 5e rapport d'évaluation du GIEC – Groupe de Travail 1

ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE MONDIALE ANNUELLE MOYENNE EN SURFACE DE 1950 À 2018



Source : NASA – https://data.giss.nasa.gov/gistemp/maps/index_v4.html

FICHE A2.4



Observez les deux documents et répondez aux questions suivantes :

- Quels enseignements tirez-vous de l'évolution des glaciers ?
- Est-ce un phénomène local ou mondial ?



Glacier Muir, Alaska, le 13 août 1941 (à gauche) et le 31 août 2004 (à droite).

Source : Adapté NASA - https://climate.nasa.gov/climate_resources/4/graphic-dramatic-glacier-melt/

QUELLE QUANTITÉ DE GLACE SOMMES-NOUS EN TRAIN DE PERDRE EN CE MOMENT ?



303 GIGATONNES DE GLACE APPARTENANT À LA CALOTE GROENLANDAISE ONT ÉTÉ PERDUES EN 2014

Quelle quantité d'eau cela a-t-il ajouté à l'océan ? Sachant qu'une piscine olympique mesure 25 m de large, 2 m de profondeur et 50 m de long, il aurait fallu que cette piscine mesure plus de **6 milliards de mètres de long** pour contenir ces 303 gigatonnes : c'est l'équivalent de **16 allers-retours Terre-Lune**. Si Michael Phelps pouvait conserver le rythme avec lequel il a établi son record du monde, cela lui prendrait 98,9 ans pour parcourir ne serait-ce qu'une longueur dans cette piscine fictive. La calotte groenlandaise contient suffisamment de glace pour éléver le niveau marin jusqu'à 6 m

118 GIGATONNES DE GLACE APPARTENANT À L'ANTARCTIQUE ONT ÉTÉ PERDUES EN 2014

La calotte Antarctique recouvre environ **8,7 millions de km²** c'est-à-dire une surface supérieure à celle qu'occuperaient les USA et l'Inde combinées. Cette calotte contient suffisamment de glace pour conduire à une hausse de presque 58 m du niveau marin. La calotte ouest est la plus grosse menace qui serait à l'origine d'une hausse rapide du niveau marin. En 2014, deux études ont montré que si la fonte de ces glaciers est en cours, nous ne savons en revanche pas combien de temps celle-ci va durer.



PENDANT CE TEMPS, EN ALASKA...

Les relevés aériens en Alaska et au Canada réalisés entre 1994 et 2013 ont montré une perte de **75 milliards de tonnes de glace par an**, ce qui est suffisant pour recouvrir tout l'État de l'Alaska sur une hauteur de 30 cm pendant 7 ans.

POUR FINIR

Les scientifiques estiment la perte annuelle de glace du Groenland entre avril 2002 et août 2016 à **287 gigatonnes**. L'Antarctique a perdu, de son côté, environ **125 gigatonnes/an** durant cette même période.

Source : Adapté de NASA - https://climate.nasa.gov/climate_resources/125/infographic-sea-level-rise/

FICHE A2.5



Lisez l'article suivant publié dans *The Conversation*, un organe de presse en ligne à but non lucratif, et répondez aux questions suivantes :

- Où se situe la « Mer de glace » ?
- Que s'est-il passé entre 1909 et 2017 ?
- Pensez-vous qu'il s'agisse d'un phénomène local ou mondial ?

THE CONVERSATION
Academic rigour, journalistic flair



Montage photographique présentant la mer de Glace en 1909 (à gauche) puis en 2017 (à droite). Author provided

Ce qu'un siècle de changement climatique a fait au plus grand glacier français

2 mai 2018, 21 :40 CEST

Un peu comme un Google Earth à lui tout seul, Eduard Spelterini, pionnier de l'aviation suisse, emmena le 8 août 1909 un ballon à gaz de Chamonix jusqu'en Suisse, parcourant 160 km au-dessus du massif alpin. Si cette traversée aérienne des Alpes centrales, d'ouest en est, fut une première, elle revêt aujourd'hui une signification particulière dont Spelterini n'avait alors pas conscience.

Pilote et photographe, Spelterini immortalisa en effet en une série d'images sur plaques de verre, le glacier de la mer de Glace qui se lance spectaculairement du massif du Mont Blanc.

Les prises de vue réalisées par Spelterini possèdent un intérêt à la fois scientifique et esthétique tout à fait frappant. Car cette collection d'images constitue aujourd'hui une trace du glacier au début du XXe siècle tout à fait unique dans ses détails. Ces photographies peuvent être ainsi utilisées pour mesurer combien le paysage a évolué au fil des années. En 1909, personne n'aurait pu imaginer à quel point les glaciers allaient devenir essentiel pour les sciences environnementales, ni avec quelle rapidité ils allaient être affectés par la hausse des températures au cours des décennies suivantes.

Auteur



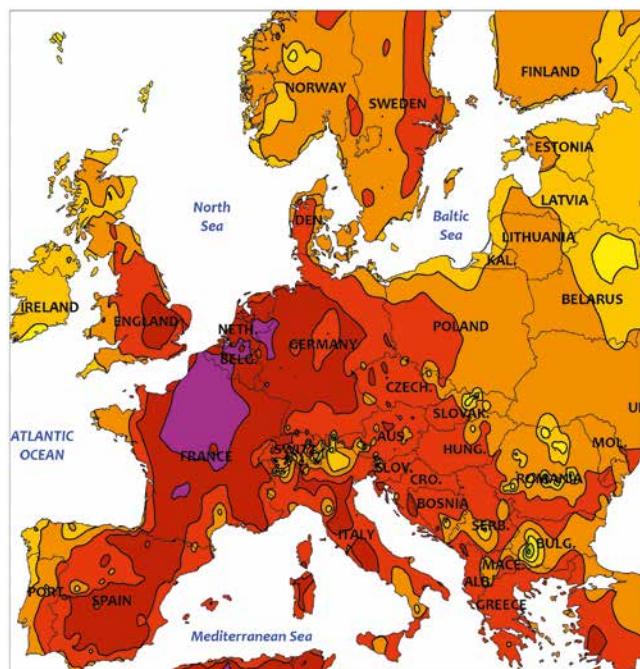
Kieran Baxter
Research assistant, 3DVisLab, Duncan of Jordanstone College of Art and Design, University of Dundee



FICHE A2.6

Regardez les deux documents ci-dessous et répondez aux questions suivantes :

- Qu'est-ce qu'un phénomène météorologique extrême ?
- À quel(s) phénomène(s) météorologique(s) extrême pensez-vous ?
- Que s'est-il passé en Europe à l'été 2019 ?
- Est-ce un phénomène local ou mondial ?



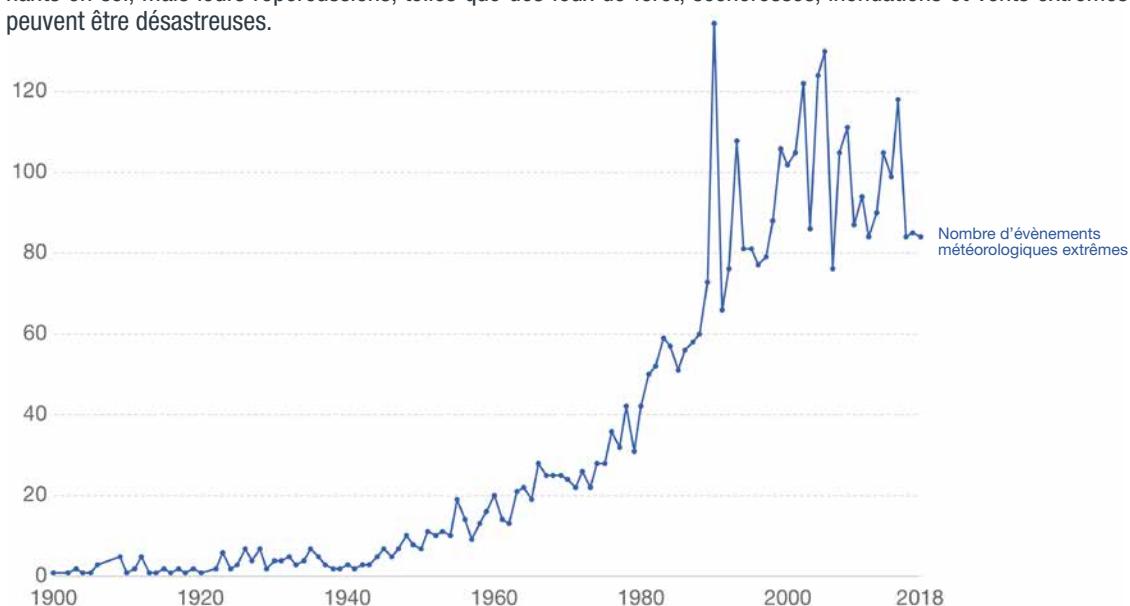
EUROPE – EXTRÊMES DE TEMPÉRATURE (°C) EN EUROPE, 25 JUILLET 2019

En juillet 2019, l'Europe a connu une vague de chaleur exceptionnelle, battant tous les records de températures maximales en Belgique, en Allemagne, au Luxembourg, aux Pays-Bas et au Royaume-Uni, avec des températures de 9°C supérieures aux moyennes de saison.

Source : Wikipedia & NOAA / National Weather Service (Service météorologique des États-Unis)
https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/regional_monitoring/

NOMBRE D'ÉVÈNEMENTS MÉTÉOROLOGIQUES EXTRÊMES ENREGISTRÉS

Les phénomènes météorologiques extrêmes sont des événements climatiques qui se distinguent des régimes climatiques normaux (par ex. ouragans dévastateurs, pluies torrentielles, sécheresses, canicules). Les phénomènes météorologiques extrêmes sont gênants en soi, mais leurs répercussions, telles que des feux de forêt, sécheresses, inondations et vents extrêmes et destructeurs, peuvent être désastreuses.



Source : EMDAT (2019) : OFDA/CRED International Disaster Database, Université catholique de Louvain, Bruxelles, Belgique.
<https://ourworldindata.org/natural-disasters>

FICHE A2.7



Lisez les documents suivants et répondez aux questions suivantes :

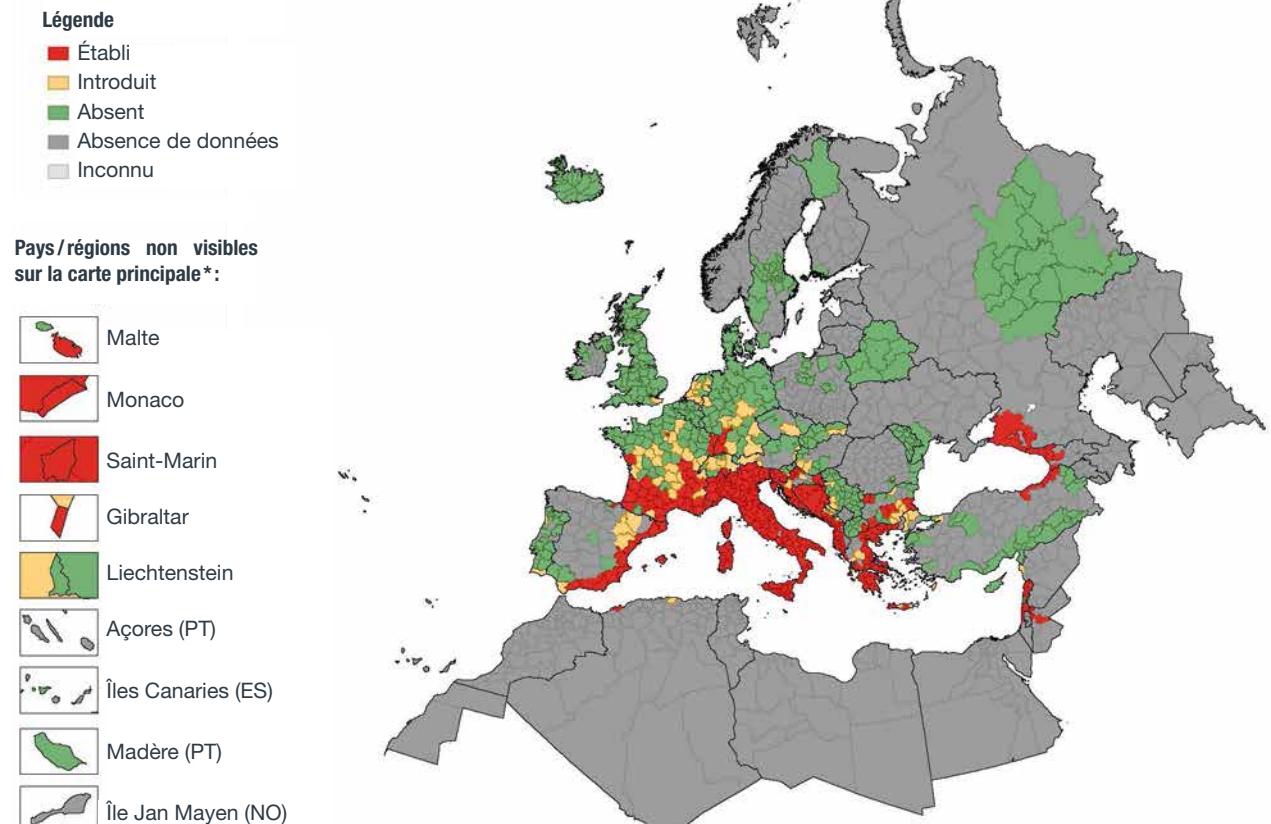
- ➔ Pourquoi le moustique tigre (*Aedes Albopictus*) est-il considéré comme une menace ?
- ➔ Pourquoi prolifère-t-il en Europe actuellement ?

Le moustique tigre tient son nom de son motif caractéristique à rayures noires et blanches. Il mesure environ 2 à 10 mm de longueur et est un vecteur connu de virus nocifs pour la santé humaine (comme le Chikungunya, la Dengue). À l'origine, il évoluait exclusivement dans les forêts tropicales d'Asie du sud-est. Pourtant, ces trente dernières années, il s'est répandu à travers le monde à cause du transport de marchandises provenant de régions contaminées. En 2008, le moustique tigre était considéré comme l'une des 100 espèces les plus envahissantes au monde selon la Base de données mondiale des espèces envahissantes (*Global Invasive Species Database*).

Le moustique tigre a été signalé pour la première fois en Europe en 1979, aux États-Unis en 1985, en Amérique Latine en 1986 et en Afrique en 1990. Initialement, les conditions météorologiques européennes étaient trop froides pour qu'il y survive sur le long terme. Mais la hausse des températures due au changement climatique en Europe ces dernières décennies rend les conditions météorologiques plus propices à sa survie.

Le moustique tigre est désormais bien établi au sud de l'Europe, le long de la côte méditerranéenne en Albanie, en Italie, en France, en Grèce, en Espagne et dans les Balkans. En outre, il a été signalé dans des pays du nord de l'Europe, très probablement introduit par des véhicules en provenance du sud du continent.

AEDES ALBOPICTUS – DISTRIBUTION ACTUELLE CONNUE JANVIER 2018



ECDC et EFSA. Carte réalisée le 1er fév 2018. Les données présentées ici ont été collectées grâce au projet VectorNet. Ces cartes sont validées par des experts extérieurs, désignés avant la publication. Veuillez noter que ces données ne représentent pas une vision officielle ou la position des pays.

* Les pays/régions sont représentés à différentes échelles pour faciliter leur visualisation.

Frontières administratives : © EuroGeographics ; © UN-FAO ; © Turkstat.

FICHE A2.8

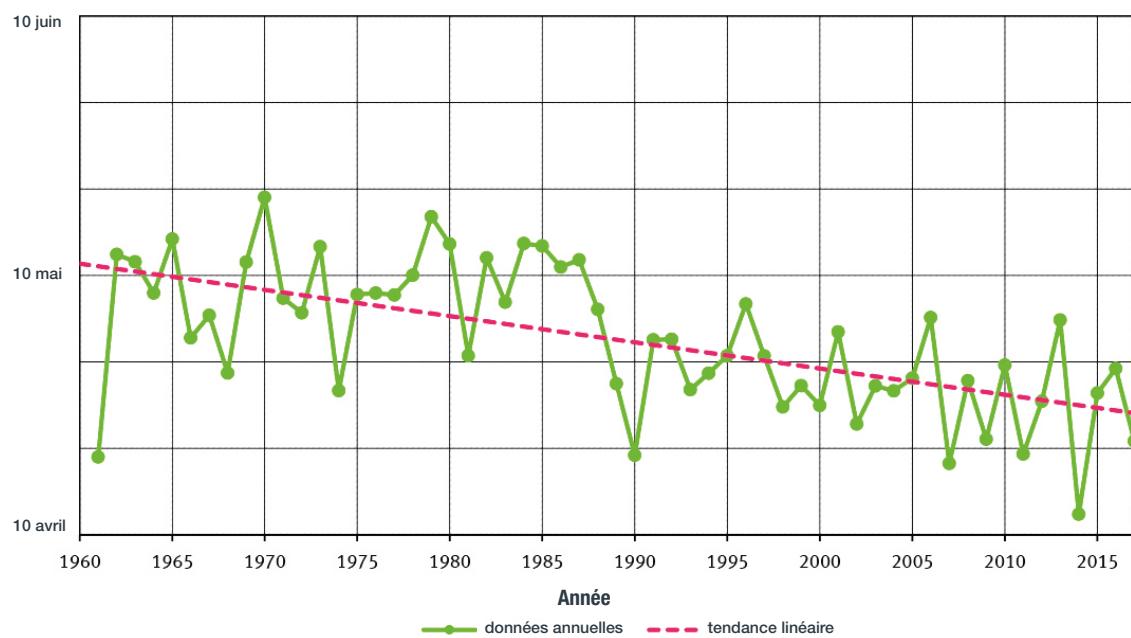


Le graphique suivant montre l'évolution de la date de floraison des pommiers en Allemagne ces dernières décennies.

- Que remarquez-vous ?
- Expliquez ce qu'il se passe.

DATE DE DÉBUT DE FLORAISON DES POMMIERS EN ALLEMAGNE (MOYENNE)

Date de floraison



Source : Deutscher Wetterdienst, Service allemand de météorologie (2018)
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/veraenderung-der-jahreszeitlichen>

SÉQUENCE B

QUELLE EST L'ORIGINE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ?

Pour comprendre le changement climatique d'origine anthropique (séquence A), il faut commencer par reconnaître que le climat est en pleine transformation. Ensuite, il faut reconnaître que l'espèce humaine est responsable du changement climatique que l'on observe aujourd'hui. Cette séquence s'y intéresse précisément : elle présente une explication

préalable des mécanismes physiques à l'origine du réchauffement climatique (et le rôle des gaz à effet de serre, en particulier) et permet d'établir un lien avec l'activité humaine qui en est à l'origine. Cette séquence est composée d'analyses documentaires, d'expériences sur des modèles physiques et de jeux sérieux.

LISTE DES SÉANCES

Séances principales

Séances facultatives

<input checked="" type="radio"/>	B1	L'effet de serre : une analogie SVT Les élèves apprennent en quoi consiste l'effet de serre en construisant une serre qui permet de simuler l'action des gaz à effet de serre dans l'atmosphère.	page 57
<input type="radio"/>	B2	L'effet de serre : un jeu de rôle Éducation physique (<12 ans) En jouant au chat, les élèves comprennent que le rôle des gaz à effet de serre est de « capturer » le rayonnement infrarouge et de l'empêcher de « s'échapper » dans l'espace et qu'il existe un lien entre ce phénomène et le réchauffement climatique.	page 61
<input type="radio"/>	B3	L'activité humaine et les gaz à effet de serre Sciences sociales Dans le cadre d'une activité visant à résoudre une énigme, les élèves comprennent les causes historiques du changement climatique. Ils analysent plusieurs jeux de données scientifiques pour en apprendre plus sur les gaz à effet de serre et l'activité humaine qui est à leur origine.	page 64

SÉANCE B1

L'EFFET DE SERRE : UNE ANALOGIE

DISCIPLINE CONCERNÉE

SVT

DURÉE

- ~ Préparation : 10 min
- ~ Activité : 1 h 30

RÉSUMÉ

Les élèves apprennent en quoi consiste l'effet de serre en construisant une serre qui permet de simuler l'action des gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

IDÉES À RETENIR

- ~ Tout objet émet un rayonnement infrarouge : plus il est chaud, plus il en émet.
- ~ Lorsque la surface de la Terre est réchauffée par le Soleil, elle émet un rayonnement infrarouge.
- ~ Les gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère terrestre absorbent le rayonnement infrarouge émis par la surface de la Terre. Seule une partie de ce rayonnement infrarouge s'échappe vers l'espace, le reste étant renvoyé vers la surface.
- ~ Une augmentation de la concentration en gaz à effet de serre induit une hausse de la température à la surface du globe.

MOTS-CLÉS

Effet de serre, gaz à effet de serre, rayonnement infrarouge, réchauffement climatique

MÉTHODE D'INVESTIGATION

Expérience

PRÉPARATION 10 MIN

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

Prévoir pour chaque groupe de 3 ou 4 élèves :

- 1 ampoule (de 60W au moins, 100W si possible, utilisez des ampoules halogènes ou à incandescence et non des lampes à basse consommation), montée sur un support.
Remarque : s'il fait beau, les ampoules sont facultatives et les expériences peuvent être menées au soleil.
- 2 thermomètres électroniques.
- 1 récipient transparent en verre ou en plastique (aussi fin que possible) ou un récipient fermé par un emballage plastique.
- Pâte à modeler, qui peut s'avérer utile pour fermer le récipient (facultatif).



INTRODUCTION 20 MIN

Dans les séances précédentes, les élèves ont appris qu'actuellement, la température atmosphérique globale augmente et que le réchauffement climatique a de multiples répercussions sur l'océan et la cryosphère. Pour commencer cette séance, les élèves discutent de leurs hypothèses pour expliquer la hausse de la température. Orientez la discussion de façon à ce que les élèves parviennent à conclure que la cause est une forme de pollution. En fonction de l'âge des élèves, certains évoqueront les gaz à effet de serre, ou tout du moins le CO₂, puisque cela a déjà été présenté précédemment. Vous pouvez demander aux élèves de noter tous les concepts qui leur viennent à l'esprit lorsqu'ils entendent « effet de serre » : une serre dans un jardin, une serre destinée à la culture des fleurs, la culture des plantes, ou des termes comme protection, chaud, humide, danger, pollution, gaz, couche d'ozone, etc.

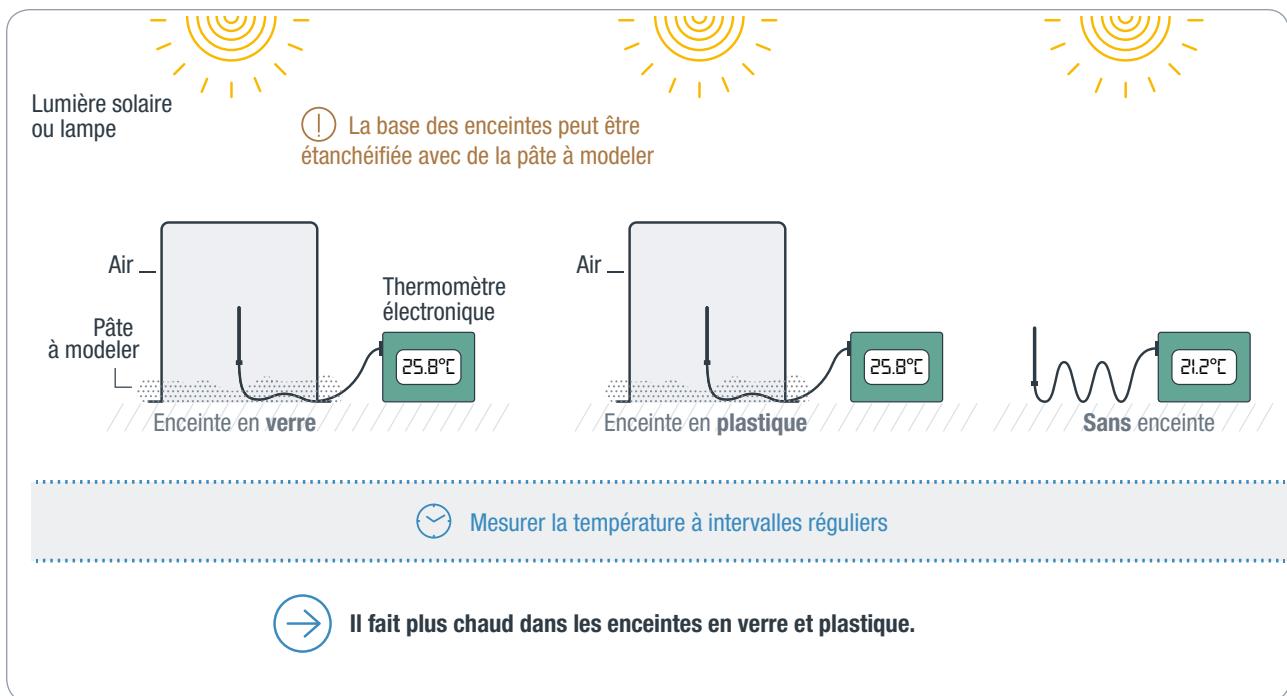
DÉROULEMENT 50 MIN

1. Demandez aux élèves de réfléchir à une expérience qu'ils pourraient mener en classe pour tester l'effet de serre. Parmi celles proposées, construire une serre semble être l'une des plus réalisables.

➡ CONSEIL À L'ENSEIGNANT

Pour obtenir des résultats concrets, menez l'expérience au soleil et en milieu de journée. Vous pouvez vous attendre à une différence de température allant jusqu'à quatre degrés. L'utilisation de thermomètres électroniques n'est pas obligatoire, mais veillez à ce que le thermomètre utilisé vous permette de constater le changement de température.

2. Chaque groupe construit une serre élémentaire à l'aide du récipient fourni dans lequel ils auront préalablement placé un thermomètre. Un autre thermomètre restera à l'extérieur pour effectuer les contrôles.



L'expérience de la serre dans un récipient en plastique ou en verre.

→ CONSEIL À L'ENSEIGNANT

Dans la serre, deux facteurs contribuent conjointement à l'augmentation de la température: l'effet de serre et le confinement. Sans couvercle, l'air chaud monte par convection et est remplacé par de l'air plus froid. Or, avec un couvercle, ce processus ne peut pas s'effectuer. L'effet de confinement empêche alors l'air chaud de s'échapper de la serre: c'est pourquoi le thermomètre à l'extérieur indique une température plus basse que celui à l'intérieur du récipient.

De plus, si l'on compare une serre en verre, où se produit en théorie l'effet de serre en raison de l'absorption du rayonnement infrarouge, et une serre en polyéthylène (un plastique, où il n'y a pas d'effet de serre), on ne relève aucune différence majeure en termes d'augmentation de la température. Le confinement est l'effet principal qui contribue au réchauffement du récipient.

3. Les élèves doivent mesurer la température à des intervalles réguliers et reporter les valeurs mesurées dans un tableau.
4. Demandez aux élèves ce qui cause l'augmentation de la température. Expliquez que la serre est utilisée à titre de comparaison.

5. Certains gaz atmosphériques, que l'on qualifie de gaz à effet de serre, jouent le même rôle que le toit de la serre. Si une telle analogie est présentée de cette façon aux élèves, elle est tout à fait recevable en classe.

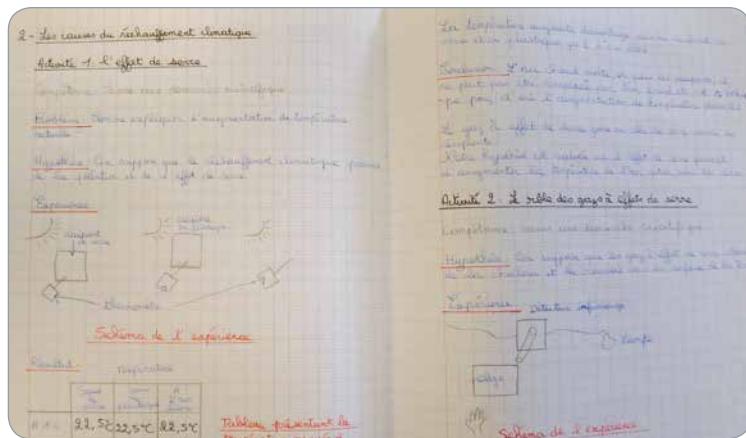
6. Si vous ne faites pas la séance B3, donnez aux élèves la FICHE B3.4 pour qu'ils l'analysent en groupes. Discutez de l'origine des gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

CONCLUSION 20 MIN

Discutez du lien existant entre résultats expérimentaux et gaz à effet de serre à l'origine du réchauffement climatique. Les gaz à effet de serre, tels une serre, « capturent » le rayonnement infrarouge invisible émis par le Soleil, puis renvoyé par la surface de la Terre, conduisant ainsi au réchauffement de « l'intérieur » de la serre, ce qui correspond à la surface de la Terre et aux basses couches de l'atmosphère.



Mesure de la température à l'intérieur et à l'extérieur de la serre



Notes des élèves sur l'expérience

ÉCLAIRAGE SCIENTIFIQUE

EFFET DE SERRE

La lumière du Soleil traverse l'atmosphère et réchauffe la surface de la Terre, qui émet à son tour un **rayonnement infrarouge**, sous forme de chaleur, en direction de l'atmosphère. Au moment de s'échapper, une partie de cette chaleur est stockée par les **gaz à effet de serre** (principalement de la vapeur d'eau, du dioxyde de carbone, du méthane et de l'oxyde d'azote) avant d'être renvoyée vers la surface de la Terre. Les gaz à effet de serre agissent en quelque sorte comme une couverture qui conserve la chaleur émise par la surface terrestre. Par conséquent, la température des basses couches de l'atmosphère est plus chaude qu'elle ne devrait l'être. En effet, sans gaz à effet de serre, la température moyenne à la surface de la Terre devrait être de -18°C alors qu'elle est de 15°C actuellement.

La concentration en gaz à effet de serre évolue d'une part du fait de causes naturelles, comme par le passé, et d'autre part du fait de l'activité humaine, comme à l'heure actuelle, qui modifie l'équilibre énergétique de la Terre et ainsi sa température moyenne (voir image page 10).

RAYONNEMENT INFRAROUGE

Nos yeux ne peuvent voir qu'une partie du spectre de la lumière émise par le Soleil, le rayonnement visible. **Pour l'essentiel, l'atmosphère est transparente au rayonnement visible.**

La lumière est composée de nombreuses radiations et de différentes longueurs d'ondes. Lorsque l'on utilise un prisme pour l'observer, on remarque que les rayons sont plus ou moins déviés selon leur longueur d'ondes. On observe également différentes couleurs (qui correspondent à différentes longueurs d'ondes), mais certaines sont invisibles à l'œil nu. L'image ci-dessous illustre le spectre de la lumière, c'est-à-dire sa décomposition en différents intervalles de longueur d'ondes. Seule une infime partie du spectre, les longueurs d'ondes situées entre 400 et 700 nm, est visible à l'œil humain. La lumière infrarouge, dont les ondes sont plus longues que celles de la couleur rouge visible, nous est invisible.

Un objet chauffé, comme c'est le cas de la Terre en réponse aux rayons du Soleil, émet un rayonnement dans une longueur d'ondes qui dépend de sa température de surface. La surface de notre planète, à une température moyenne d'environ 15°C (actuellement 16°C du fait du réchauffement climatique), émet la plupart du rayonnement dans la gamme infrarouge. **L'atmosphère, du fait de la présence de gaz à effet de serre, n'est pas transparente au rayonnement infrarouge.**

[...]

[...] L'EFFET DE SERRE ET LE TROU DE LA COUCHE D'OZONE: DEUX PHÉNOMÈNES DISTINCTS

La composition de l'atmosphère ainsi que sa température fluctuent en fonction de l'altitude.

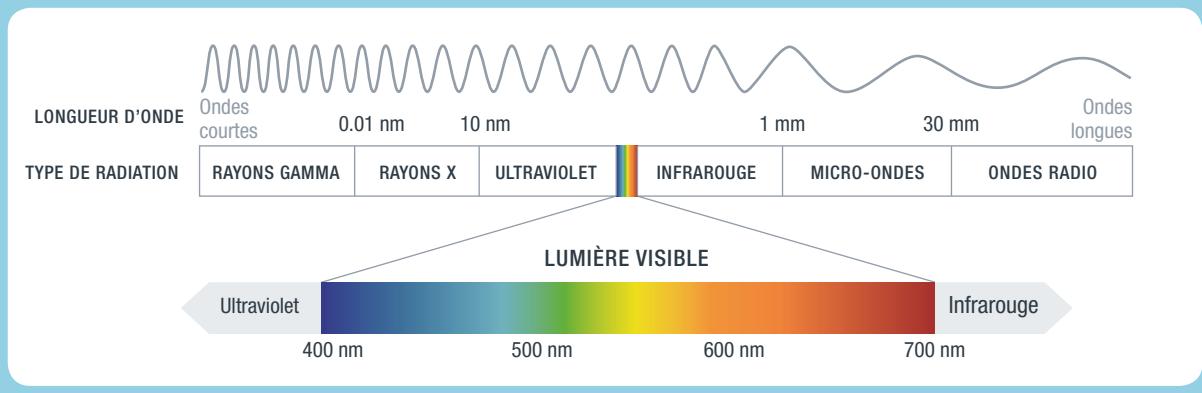
La couche inférieure avec laquelle nous sommes en contact et où la plupart des phénomènes météorologiques ont lieu s'appelle la troposphère. Elle représente plus de 80% de la masse totale de l'atmosphère. Elle est plus épaisse au niveau de l'équateur qu'au niveau des pôles.

Au-dessus se trouve la stratosphère qui comprend la célèbre «couche d'ozone», à une altitude située entre 15 et 30 km. L'ozone est présent dans toute l'atmosphère, mais sa concentration est particulièrement élevée dans cette couche. Il absorbe les rayons ultraviolets de la lumière du

Soleil (les rayons causant les coups de soleil) et les empêche d'atteindre la surface de la Terre.

L'utilisation massive de certains gaz réfrigérants (les chlorofluorocarbones, ou CFC) a conduit à la dégradation locale de cette couche d'ozone, une réelle menace pour la biosphère. Depuis la signature du Protocole de Montréal en 1985 interdisant l'utilisation de ces gaz, le «trou» dans la couche d'ozone s'est progressivement rétréci.

L'augmentation de l'effet de serre et le «trou dans la couche d'ozone» sont donc deux problèmes différents: ils n'impliquent pas les mêmes gaz atmosphériques, même si l'ozone est aussi un gaz à effet de serre, n'absorbent pas les mêmes rayonnements et ne s'articulent pas autour des mêmes problématiques.



Le spectre de la lumière.

SÉANCE B2

L'EFFET DE SERRE : UN JEU DE RÔLE¹

DISCIPLINE CONCERNÉE

Éducation physique (<12 ans)

DURÉE

- ~ Préparation : 5 + 15 min
- ~ Activité : 1 h

RÉSUMÉ

En jouant à chat, les élèves comprennent que le rôle des gaz à effet de serre est de « capturer » le rayonnement infrarouge et de l'empêcher de « s'échapper » vers l'espace, et qu'il existe un lien entre ce phénomène et le réchauffement climatique.

IDÉES À RETENIR

- ~ Tout objet chauffé émet un rayonnement infrarouge.
- ~ Lorsque la surface de la Terre est réchauffée par le Soleil, elle émet un rayonnement infrarouge.
- ~ Les gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère terrestre absorbent le rayonnement infrarouge émis par la surface de la Terre. Seule une partie de ce rayonnement infrarouge s'échappe vers l'espace, le reste étant renvoyé vers la surface.
- ~ L'augmentation de la concentration en gaz à effet de serre est responsable de l'augmentation de la température atmosphérique.

MOTS-CLÉS

Effet de serre, gaz à effet de serre, rayonnement infrarouge, réchauffement climatique, combustibles fossiles

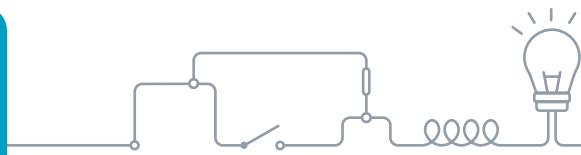
MÉTHODE D'INVESTIGATION

Jeu de rôle

PRÉPARATION 5 + 15 MIN

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

Des t-shirts ou des vestes de trois couleurs différentes. Idéalement, les éléments **CHALEUR** seront représentés en rouge, les Combustibles Fossiles (**CF**) en noir (comme le pétrole) et Gaz à Effet de Serre (**GES**) en bleu (comme l'atmosphère).



EN AMONT DE LA SÉANCE

1. **À réaliser lors de la séance précédente ou la veille.** Demandez aux élèves d'apporter un t-shirt de la couleur requise ou de préparer des vestes de différentes couleurs.
2. Dessinez trois zones distinctes au sol (voir l'image ci-dessous); chacune intitulée **TERRE**, **ATMOSPHÈRE** et **ESPACE**.

CONSEIL À L'ENSEIGNANT

Vous référer à l'Éclairage scientifique de la séance précédente (B1).

INTRODUCTION 10 MIN

L'enseignant commence par expliquer que tout objet chauffé/dégage un rayonnement thermique, aussi qualifié de rayonnement infrarouge, comme la Terre, réchauffée par le Soleil. Ce rayonnement infrarouge, émis à la surface du globe, « rayonne » vers l'espace, mais est invisible à l'œil nu, comme les infrarouges émis par les télécommandes ou les objets chauds.

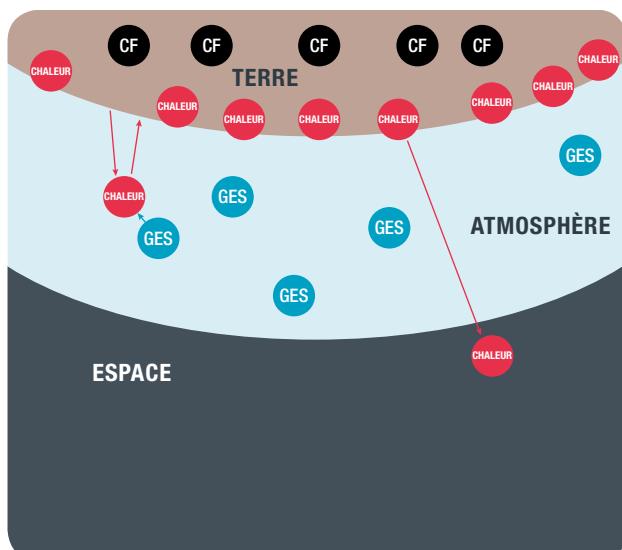


Schéma représentant les trois zones à dessiner au sol

1 Cette séance a été inspirée par l'activité «Atmosphere-Exploring Climate Science» (Atmosphère: explorer la science du climat) [<https://learning-resources.science museum.org.uk/>] proposée par le Musée des Sciences britannique. L'OCE en remercie vivement les auteurs.

DÉROULEMENT 30 MIN

1. Divisez la classe en trois groupes : la moitié de la classe, le groupe **CHALEUR** jouera le rôle du rayonnement infrarouge, partant de la surface de la Terre et se dirigeant vers l'espace ; un quart des élèves, le groupe **GES** représentera les gaz à effet de serre dans l'atmosphère et le quart restant, le groupe **CF** les combustibles fossiles. Le groupe **CF** reste assis pendant le premier tour : les combustibles fossiles sont séquestrés dans la croûte terrestre. Les élèves du groupe **GES** se répartissent dans l'**ATMOSPHERE**. Le groupe **CHALEUR** se place d'un côté de la pièce : il représente la **TERRE** réchauffée (voir l'image ci-dessus). Le jeu se déroule de la façon suivante :

→ 1^{er} TOUR

Évaluez le temps nécessaire pour terminer un tour. Si vous voyez que chaque tour prend trop de temps, limitez-en la durée à 2 minutes.

- Le groupe **CF** reste assis.
- Le groupe **CHALEUR** doit atteindre l'autre côté de la salle pour rayonner dans l'espace, en passant au travers des gaz à effet de serre qui tentent de les capturer.
- Si un élève **GES** capture un élève **CHALEUR**, ce dernier doit retourner vers la zone **TERRE** et compter à voix haute jusqu'à 5 avant de pouvoir tenter à nouveau de s'échapper : ceci est une analogie des gaz à effet de serre qui ne laissent pas le rayonnement infrarouge s'échapper vers l'espace.
- Lorsque tous les élèves du groupe **CHALEUR** ont soit atteint l'autre côté de la pièce, soit été capturés par les élèves du groupe **GES**, le premier tour est terminé. Si vous devez terminer le tour après 2 min, comptez le nombre d'éléments **CHALEUR** qui sont parvenus à s'échapper vers l'espace
- Demandez aux élèves de reprendre leur position de départ pour le deuxième tour.
- **Avant de commencer le 2^e tour**, expliquez que vous (= l'enseignant) jouez le rôle d'un habitant sur Terre et que vous allez extraire des **CF** de la croûte de la **TERRE**. Les **CF** sont une analogie pour représenter l'exploitation du pétrole, du gaz et du charbon. Les **CF** sont ensuite transformés en **GES**. Ils reçoivent alors un t-shirt ou une veste **GES** et rejoignent le groupe **GES** du premier tour. Insistez sur le fait qu'il y a maintenant bien plus de gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère. Le deuxième tour devra durer exactement autant de temps que le premier.

→ 2^e TOUR

À la fin du tour, faites remarquer que dans le même laps de temps, moins d'éléments **CHALEUR** sont parvenus à s'échapper vers l'espace.

- 2. Demandez aux élèves de dessiner le jeu auquel ils viennent de jouer, avec une légende et une explication. Une fois qu'ils ont terminé, dessinez une version au tableau et débattez autour de cette analogie.
- 3. Demandez aux élèves : *Étant donné que moins d'élèves **CHALEUR** sont parvenus à s'échapper vers l'espace au deuxième tour, quelle conclusion en tirerez-vous ?* L'augmentation de la quantité de gaz à effet de serre dans l'atmosphère empêche le rayonnement infrarouge, la **CHALEUR**, de s'échapper vers l'espace.
- 4. Demandez : *Quel rôle ai-je (l'enseignant) joué entre les deux tours ?* L'enseignant jouait le rôle d'un être humain exploitant les combustibles fossiles. Discutez (1) des différents types de combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz), (2) de la façon qu'ont les combustibles fossiles d'émettre des gaz à effet de serre – par la combustion –, (3) des autres activités humaines qui émettent des gaz à effet de serre, comme la production de viande ou l'agriculture intensive, (4) de l'effet d'une plus grande quantité de gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère – davantage de rayonnement infrarouge est « capturé », augmentant la température atmosphérique –, et (5) de ce qu'il se passerait en cas d'absence totale de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Tout le rayonnement infrarouge s'échapperait vers l'espace et la température de l'atmosphère serait bien plus basse : -18°C en moyenne à la surface de la Terre au lieu des +15°C actuels ! L'effet de serre est par conséquent essentiel à la vie humaine, le problème se pose à partir du moment où la quantité de gaz à effet de serre devient trop élevée.

CONCLUSION 20 MIN

Les élèves rédigent une conclusion à cette séance. Exemple: «*Lorsque le Soleil réchauffe la Terre, sa surface se réchauffe et elle émet un rayonnement infrarouge. Les gaz à effet de serre de l'atmosphère capturent une partie de ce rayonnement infrarouge émis par la Terre. Si davantage de gaz à effet de serre sont présents dans l'atmosphère, moins de rayonnement infrarouge parvient à s'échapper vers l'espace, augmentant ainsi la température à la surface de la Terre et la température atmosphérique (couche inférieure). L'activité humaine qui émet beaucoup de gaz à effet de serre dans l'atmosphère est à l'origine du réchauffement climatique.*».

PROLONGATION FACULTATIVE

Pour prolonger l'exercice, vous pouvez utiliser la simulation interactive intitulée «Effet de serre» disponible sur le site internet suivant: <https://phet.colorado.edu/en/simulation/greenhouse>.

Cette simulation interactive propose trois options différentes: la première permet de visualiser l'effet des gaz à effet de serre sur les températures moyennes mondiales (il est possible de faire varier la concentration en gaz à effet de serre) tout en suivant les «photons visibles» – la lumière du soleil – et les «photons infrarouges» – le rayonnement infrarouge – reçus, émis ou absorbés; la deuxième option permet de conceptualiser ce phénomène en utilisant l'analogie de la serre agricole (comme dans la séance B1): la concentration en gaz à effet de serre peut être modulée en modifiant le nombre de fenêtres. La dernière option, d'un niveau plus avancé, permet de différencier l'effet radiatif des différentes molécules dans l'atmosphère.

SÉANCE B3

L'ACTIVITÉ HUMAINE ET LES GAZ À EFFET DE SERRE¹

DISCIPLINE CONCERNÉE

Sciences sociales

DURÉE

- ~ Préparation : 10 min
- ~ Activité : 1 h 30

RÉSUMÉ

Dans le cadre d'une activité visant à résoudre une énigme, les élèves comprennent les causes historiques du changement climatique. Ils analysent des données scientifiques pour en apprendre plus sur les gaz à effet de serre et l'activité humaine qui en est à l'origine.

IDÉES À RETENIR

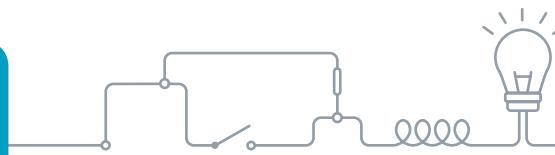
- ~ Le changement climatique anthropique, c'est-à-dire le changement climatique provoqué par l'activité humaine, rassemble les modifications du climat terrestre en cours et à venir.
- ~ Au 19^e siècle, l'Europe a connu une révolution industrielle, marquée par des progrès scientifiques et technologiques, ainsi que par des bouleversements socio-économiques et de nouveaux moyens de production. Depuis, la combustion d'énergies fossiles n'a cessé d'augmenter.
- ~ Le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4), le protoxyde d'azote (N_2O) et la vapeur d'eau (H_2O) sont des gaz à effet de serre, dont la concentration dans l'atmosphère augmente.
- ~ L'atmosphère se réchauffe à une vitesse sans précédent. À l'échelle planétaire, la température atmosphérique moyenne a déjà augmenté d'environ 1°C entre l'ère préindustrielle et 2017.

MOTS-CLÉS

Révolution industrielle, machine à vapeur, combustibles fossiles, gaz à effet de serre, émissions anthropiques, justice climatique

MÉTHODE D'INVESTIGATION

Débat



PRÉPARATION 10 MIN

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

FICHES B3.1, B3.2, B3.3, B3.4, B3.5, B3.6 (une par groupe)

EN AMONT DE LA SÉANCE

1. Imprimez les FICHES B3.1, B3.2, B3.3 (et pour les élèves plus avancés : B3.4, B3.5, B3.6). Distribuez un exemplaire de chaque par groupe.
2. Placez un panneau « D'accord » et un panneau « Pas d'accord » aux deux extrémités de la salle de classe.

INTRODUCTION 10 MIN

Récapitulatif des cours B1 et B2 : nous avons vu qu'une quantité excessive de gaz à effet de serre dans l'atmosphère provoque une augmentation de la température de l'air en surface. Dans cette séance, les élèves découvriront ce qui se cache derrière les émissions de gaz à effet de serre.

DÉROULEMENT 1 H

PARTIE 1 (30 MIN) : LES CAUSES HISTORIQUES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

1. Expliquez aux élèves que pour trouver le responsable de l'immense quantité d'émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, il faut commencer par résoudre une énigme.
2. Divisez la classe en groupes et donnez à chaque groupe les FICHES B3.1, B3.2, B3.3. Demandez aux élèves de lire et de classer les cartes de façon à résoudre l'énigme suivante :
« Est-ce la faute de James Watt si Ali ne peut plus aller à l'école ? »

1 Cette séance a été inspirée par la séance 5 du manuel « Creating Futures » (Bâtir l'avenir), élaboré dans le cadre de l'initiative Education for a Just World (Éducation pour un monde juste) de Trócaire et du Centre pour les Droits de l'Homme et l'Éducation Citoyenne (CHRCE), l'Institut d'Éducation DCU (Dublin, Irlande). L'OCE en remercie vivement les auteurs.



Classer les cartes pour répondre à la question

→ CONSEIL À L'ENSEIGNANT

En fonction du niveau des élèves, vous pouvez décider de distribuer les cartes encadrées d'abord. Elles sont essentielles à la résolution de l'énigme et sont plus faciles à classer de manière logique. Une fois qu'ils ont terminé, vous pouvez distribuer les cartes restantes. Celles-ci donnent des informations supplémentaires sur la révolution industrielle. Si, même en utilisant les cartes encadrées, les élèves ne parviennent pas à trouver la solution, vous pouvez leur suggérer de commencer par identifier les cartes qui se rapportent à James Watt et celles qui se rapportent à Ali.

3. Dès que les groupes pensent avoir trouvé la solution, demandez aux élèves de se positionner au niveau des panneaux représentant au mieux leur avis sur la question. Discutez de la question avec eux, en leur demandant de justifier leur réponse. Au cas où ils changeraient d'avis, les élèves sont autorisés à changer de place lors du débat. Débattez également de l'affirmation suivante :

«**La révolution industrielle était une bonne chose**».

PARTIE 2 (30 MIN, POUR LES ÉLÈVES AVANCÉS) : ANALYSE DES DONNÉES SCIENTIFIQUES SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Divisez les élèves en groupes et demandez-leur de s'appuyer sur les documents des FICHES B3.4, B3.5, B3.6 afin de répondre aux questions.

CONCLUSION 20 MIN

Au tableau, reportez les réponses des élèves aux questions précédentes et discutez de la responsabilité de chacun vis-à-vis des émissions de gaz à effet de serre et du changement climatique.

→ CONSEIL À L'ENSEIGNANT

Si vous le souhaitez ou si les élèves y sont disposés, vous pouvez passer à la séance E2 (page 143) ou E3 (page 147) – Justice Climatique – avant de poursuivre avec la séquence C.

ÉCLAIRAGE SCIENTIFIQUE

L'ÊTRE HUMAIN ET LES GAZ À EFFET DE SERRE

L'utilisation de l'**énergie**, sous toutes ses formes, fait partie de l'activité humaine depuis toujours : le feu, la traction animale, les moulins en sont quelques exemples. Depuis le 19^e siècle et la révolution industrielle, la **machine à vapeur**, puis l'hydroélectricité, les **combustibles fossiles** et enfin les énergies nucléaire, éolienne et solaire sont autant de nouveautés qui ont profondément transformé le monde occidental. L'électricité est un moyen extraordinairement pratique d'acheminer et d'utiliser l'énergie, bien qu'elle reste difficile à stocker, sauf dans des batteries onéreuses ou de petite taille. La consommation totale d'énergie n'a cessé d'augmenter partout dans le monde ; elle a même doublé au cours des quarante dernières années. Toutefois, sa répartition demeure peu homogène. Pour la plupart des pays en voie de développement, l'accès à l'énergie est essentiel à leur avenir.

La **révolution industrielle** a permis des avancées scientifiques, technologiques, économiques et politiques sans précédents qui ont affecté tous les secteurs de la société humaine, depuis l'agriculture jusqu'à la médecine, et engendré une hausse du niveau de vie, profitant d'abord à l'Europe et à l'Amérique du Nord. Par ailleurs, l'utilisation toujours croissante des combustibles fossiles comme source d'énergie, ainsi que la croissance démographique générée dans son sillon, ont mené à l'exploitation des ressources naturelles, telles que les énergies fossiles, que l'on connaît aujourd'hui, et aux émissions de **gaz à effet de serre** qu'elles provoquent.

En 2019, la **combustion** du bois, mais également des énergies fossiles comme le pétrole, le gaz ou le charbon, représente 85 % de la consommation mondiale d'énergie. Tous ces combustibles produisent du dioxyde de carbone (CO_2) qui se

disperse dans l'atmosphère terrestre. L'activité humaine produit également d'autres gaz à effet de serre, tels que le méthane (CH_4) ou le protoxyde d'azote (N_2O). Pour en savoir plus sur les émissions de gaz à effet de serre, se référer à la [page 15](#) de l'Éclairage scientifique général. Pour en savoir plus sur les principales sources d'émissions de gaz à effet de serre, consulter la fiche de cette séance.

LE POTENTIEL DE RÉCHAUFFEMENT GLOBAL DES GAZ À EFFET DE SERRE

Chaque gaz à effet de serre qui contribue au réchauffement climatique a un **Potentiel de Réchauffement Global** (PRG) différent. Le PRG est principalement fonction de deux caractéristiques essentielles des gaz à effet de serre : leur **capacité d'absorption du rayonnement** (leur « efficacité radiative ») d'une part, et d'autre part leur **temps de résilience dans l'atmosphère**, après avoir été libérés (leur « durée de vie »).

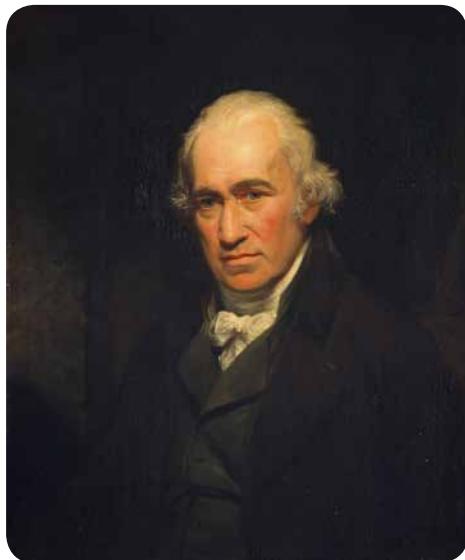
Le PRG d'un gaz donné, autre que le CO_2 , sert à calculer la quantité de rayonnement que les émissions de ce gaz absorberont sur une période donnée, en la comparant avec la quantité de rayonnement qu'une tonne d'émissions de CO_2 serait capable d'absorber sur la même période, généralement d'une durée de 100 ans. Ainsi, le PRG du CO_2 est égal à 1, celui du CH_4 est compris entre 28 et 36 et celui du N_2O entre 265 et 298. Le PRG des Chlorofluorocarbure, Hydrofluorocarbure, Perfluorocarbure et de l'Hexafluorure de soufre peut atteindre plusieurs centaines, voire des dizaines de milliers. L'incidence mondiale d'un gaz à effet de serre en particulier sur le réchauffement climatique dépendra non seulement de son PRG, mais aussi de ses émissions totales.

FICHE B3.1



→ Est-ce la faute de James Watt si Ali ne peut plus aller à l'école ?

Afin de répondre à cette question, découpez et classez les cartes fournies dans la FICHE B3.2.



James Watt (1736-1819).



Utilisation d'un métier à tisser dans une fabrique de coton en Angleterre, dans les années 1835



Ali (avec le T-shirt bleu), Punjab, Pakistan



Punjab, Pakistan.



FICHE B3.2

Dans les années 1770 et 1780, James Watt, un ingénieur écossais, perfectionna la machine à vapeur, désormais en mesure d'alimenter les machines industrielles. La machine à vapeur de James Watt est considérée comme un élément central à la révolution industrielle.

En moyenne, les habitants du Pakistan utilisent beaucoup moins de combustibles fossiles et émettent moins de dioxyde de carbone que les européens ou les nord-américains, par exemple.

On appelle «révolution industrielle» la période allant de 1760 à 1830. Elle a commencé en Grande Bretagne et s'est ensuite propagée jusqu'en Europe occidentale et en Amérique du nord.

La combustion du charbon, du pétrole et du gaz libère du dioxyde de carbone dans l'atmosphère.

Aujourd'hui, le principe de la machine à vapeur est toujours utilisé dans les centrales à charbon. La combustion du charbon produit de la chaleur, utilisée à son tour pour produire de la vapeur d'eau à haute pression. La vapeur d'eau est ensuite utilisée pour faire tourner une turbine, produisant ainsi de l'électricité.

Sous l'effet du réchauffement de la planète causé par le changement climatique, le Pakistan pourrait bien connaître de graves sécheresses et inondations.

Ali vit avec sa grand-mère, ses trois frères et sa mère. Ils cultivent du blé et des légumes. Ils possèdent également une vache et quelques poules, qui leur fournissent du lait et des œufs.

Lors de la révolution industrielle, beaucoup ont quitté la campagne, où l'on cultivait la terre, pour aller s'installer en ville et travailler à l'usine.

Au Pakistan, la saison des moussons est caractérisée par d'abondantes pluies, tandis que durant la saison sèche, les précipitations sont beaucoup moins fréquentes.

Avant la machine à vapeur de Watt, les usines tournaient à l'eau. Il fallait donc les construire à proximité d'un fleuve. Avec la machine à vapeur, les usines pouvaient désormais être placées n'importe où; elles furent souvent déplacées en ville.

À cause du réchauffement de la planète dû au changement climatique, certaines calottes glaciaires des chaînes de montagnes pakistanaises fondent et s'écoulent dans les fleuves du pays.

La machine à vapeur fonctionnait en brûlant du bois et du charbon. Le charbon a été de plus en plus utilisé lors de la révolution industrielle.

L'année dernière, le village d'Ali a été frappé par une inondation. Des pluies torrentielles ont fait déborder le fleuve. Les inondations ont détruit la seule route du village, coupant ainsi l'accès à l'école, à l'hôpital ou au marché local.

Depuis la révolution industrielle, la quantité de dioxyde de carbone atmosphérique n'a cessé d'augmenter.

Les gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère agissent tels une «couverture» retenant la chaleur émise à sa surface. Plus il y a de gaz à effet de serre, plus cette couverture s'épaissit. C'est la cause du réchauffement de la Terre selon les scientifiques.

Ali habite un village au Pakistan, entouré de champs et abritant un grand terrain où il avait l'habitude de jouer au cricket. Avec ses cousins, ils vont à l'école dans la ville voisine.

Lorsque le village d'Ali a été inondé, leurs récoltes ont été détruites, leur maison a été balayée et ils ont dû se réfugier dans un camp en haut d'une colline pendant trois semaines.

Petit à petit, les habitants du village d'Ali ont commencé à travailler ensemble pour reconstruire la route, détruite par les eaux.

Avec l'utilisation de la machine à vapeur, le tissage du coton devint alors bien plus rapide.

Avant la révolution industrielle, les objets étaient souvent fabriqués à la main chez les particuliers. Avec la révolution industrielle, les objets ont commencé à être fabriqués à l'aide de machines.



D'accord

Pas d'accord



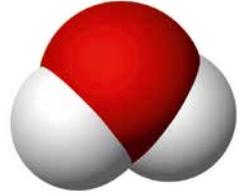
FICHE B3.4

Observez les cartes d'identités des différents gaz ci-dessous et répondez aux questions suivantes :

- Quels sont les principaux gaz à effet de serre anthropiques dans l'atmosphère ?
- Quelles activités humaines sont responsables des émissions de gaz à effet de serre ?

LA VAPEUR D'EAU – H₂O

- C'est le gaz à effet de serre le plus répandu dans l'atmosphère.
- L'activité humaine n'influence directement la quantité de vapeur d'eau présente dans l'atmosphère que de manière limitée.
- Par le changement climatique dont elle est responsable, l'espèce humaine peut toutefois fortement influencer, quoique de manière indirecte, la quantité de vapeur d'eau présente dans l'atmosphère.



LE DIOXYDE DE CARBONE – CO₂

Libéré par :

- La combustion d'énergies fossiles, telles que le charbon, le pétrole et le gaz.
- La production de ciment.
- La déforestation.



Le CO₂ dans l'atmosphère est en partie absorbé par l'océan, la végétation terrestre et le sol.

Sa concentration dans l'atmosphère terrestre a augmenté, passant de ~280 ppm (ppm = parties par million) à l'ère préindustrielle, à plus de 400 ppm aujourd'hui.

À l'origine de :

- L'effet de serre et du réchauffement climatique anthropique (il y contribue grandement).
- L'acidification de l'océan.

MÉTHANE – CH₄

Libéré par :

- Les renvois et les défécations des **vaches et des moutons** (produits dans leur estomac !).
- L'extraction et l'utilisation des **combustibles fossiles**.
- La production de **riz** lorsque les rizières sont inondées.
- **Les décharges et les déchets**.



Sa concentration dans l'atmosphère terrestre a augmenté, passant d'environ 750 ppb (partie par milliard) à l'ère préindustrielle à plus de 1 850 ppb en 2017.

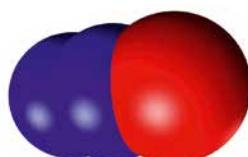
À l'origine de :

- L'effet de serre anthropique, du fait de son fort potentiel de réchauffement : il peut retenir environ 30 fois plus de chaleur que le dioxyde de carbone.

LE PROTOXYDE D'AZOTE – N₂O

Libéré par :

- **Les activités agricoles** (avec l'utilisation d'engrais artificiels et naturels sur les champs et la culture de céréales fourragères).
- La combustion des **énergies fossiles**.
- **Le carburant des véhicules**.



La concentration en protoxyde d'azote dans l'atmosphère terrestre est passée de 280 ppb à l'ère préindustrielle à plus de 330 ppb en 2017.

À l'origine de :

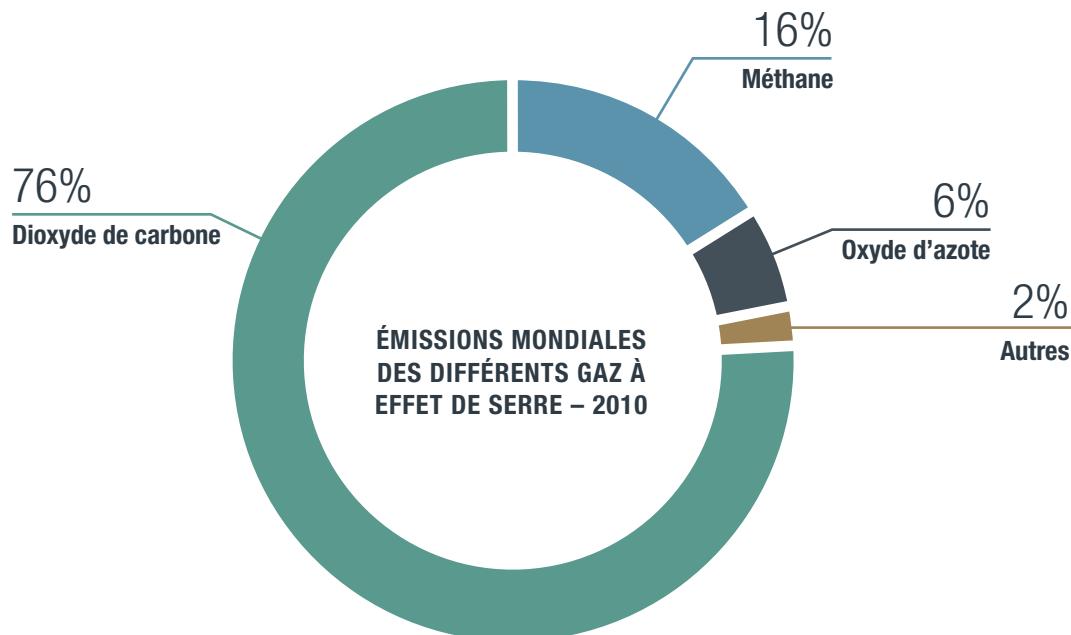
- L'effet de serre anthropique, avec un potentiel de réchauffement global plus fort que le méthane : il peut retenir près de 10 fois plus de chaleur que ce dernier.



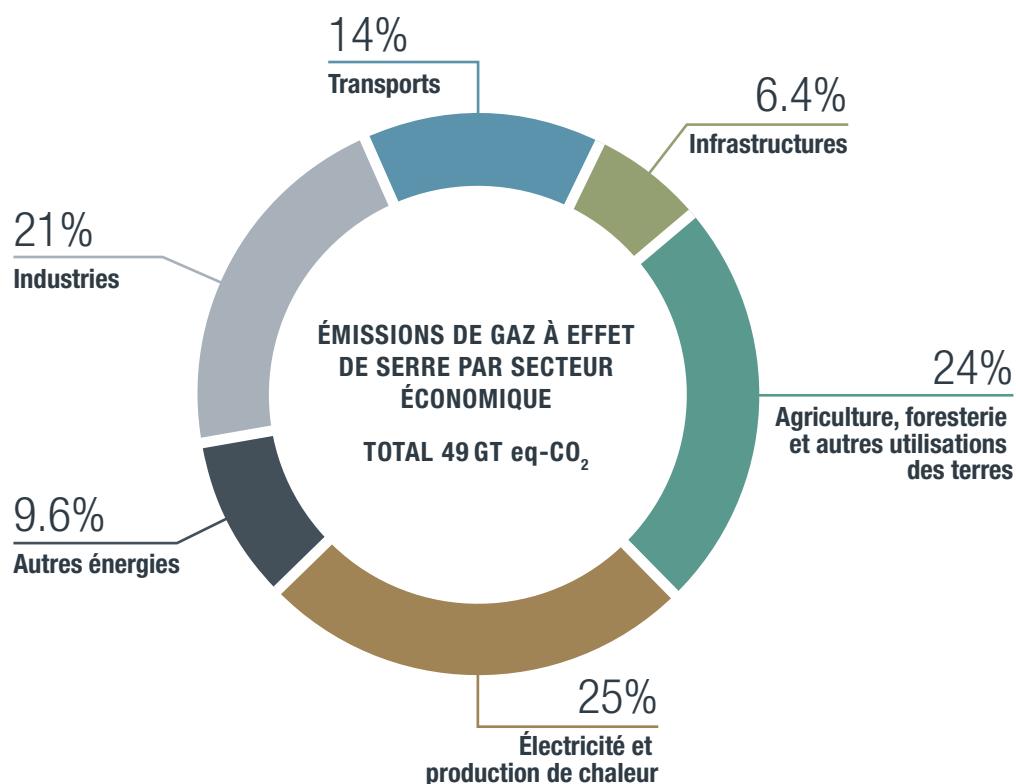
FICHE B3.5

Observez les chiffres ci-dessous et répondez aux questions suivantes :

- Quel gaz contribue davantage aux émissions de gaz à effet de serre anthropiques à l'échelle mondiale ?
- Quels secteurs économiques (ou secteurs de l'activité humaine) contribuent davantage aux émissions de gaz à effet de serre ?



Source : adapté de <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data> (données du GIEC – (2014) – pour en savoir plus sur les sources de ces estimations, se référer à la Contribution du Groupe de Travail III au RE5 du GIEC).



Source : adapté de la Contribution du Groupe de Travail III au RE5 du GIEC

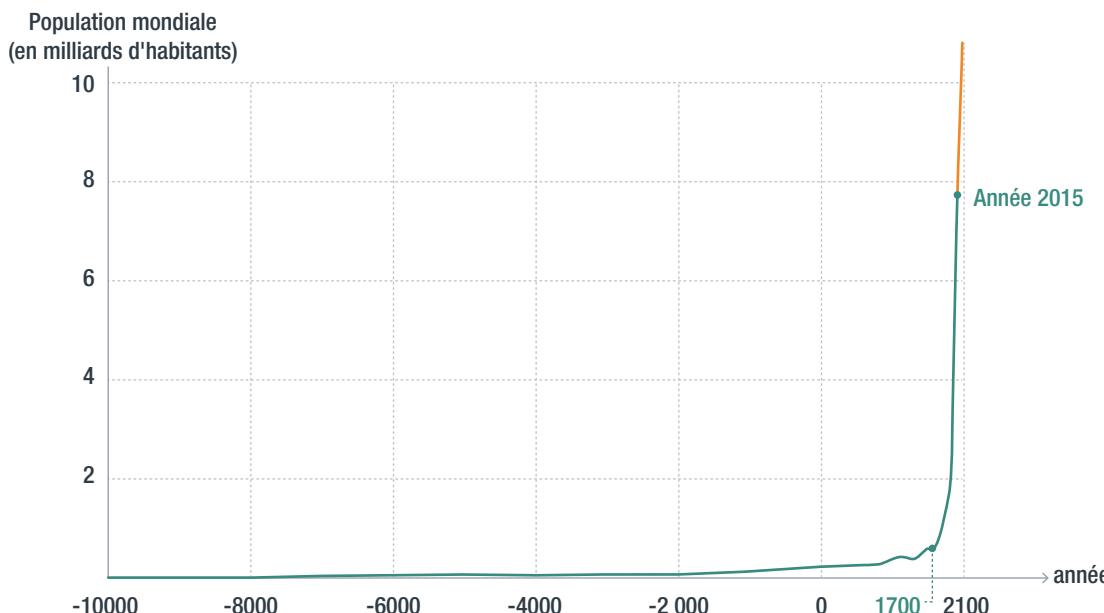
FICHE B3.6



Les progrès techniques réalisés depuis la révolution industrielle sont non seulement liés à la machine à vapeur, mais aussi à des bouleversements politiques, économiques, technologiques et scientifiques sans précédent qui ont touché tous les secteurs de la société. Toutes ces avancées ont contribué à une augmentation inédite de la population mondiale. La croissance démographique ainsi qu'une consommation accrue d'énergie ont entraîné une augmentation des émissions de gaz à effet de serre. Observez les deux graphiques ci-dessous et répondez à la question suivante :

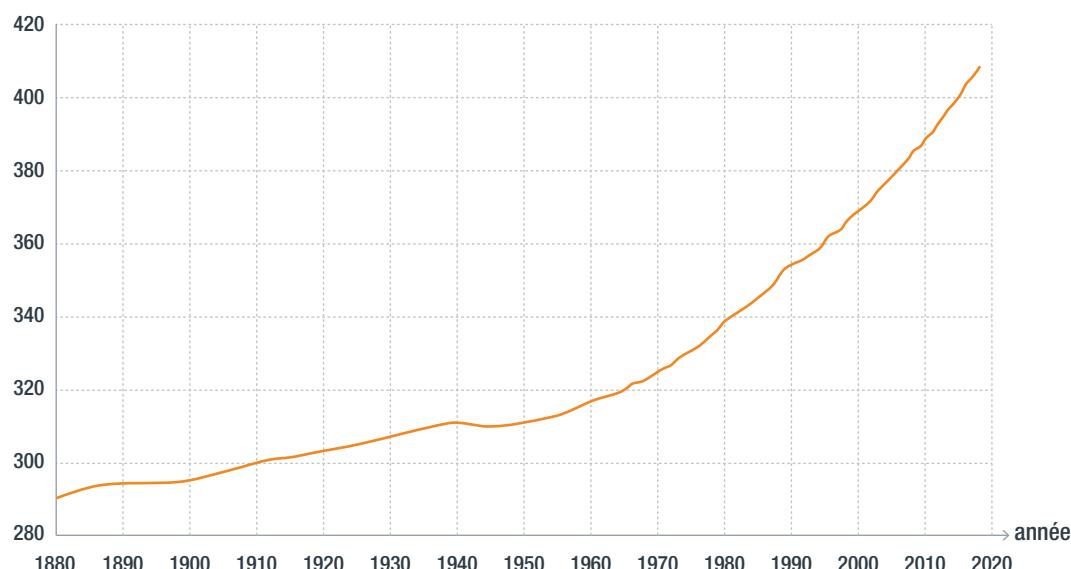
- ➔ Comment la concentration de CO₂ dans l'atmosphère a-t-elle évolué depuis la révolution industrielle ?
- ➔ Identifiez deux facteurs pouvant expliquer cette évolution.

ÉVOLUTION DE LA POPULATION MONDIALE DEPUIS 12 000 ANS ET PROJECTIONS DES NATIONS UNIES JUSQU'EN 2100



Note : les années sont représentées selon le calendrier grégorien (les années antérieures à 0 sont des années avant Jésus-Christ).
Source : <https://ourworldindata.org/world-population-growth#population-growth>

ÉVOLUTION DE LA CONCENTRATION MOYENNE DE CO₂ À L'ÉCHELLE MONDIALE EN PPM DEPUIS 1880



Source: NOAA - Laboratoire de recherche sur le système terrestre - Division de la surveillance mondiale (ftp://aftp.cmdl.noaa.gov/products/trends/co2/co2_annmean_mlo.txt)

SÉQUENCE C

QUELLES RÉPERCUSSIONS LE CHANGEMENT CLIMATIQUE A-T-IL SUR L'OCÉAN ET LA CRYOSPHERE ?

La Terre est un système complexe au sein duquel tous les éléments sont liés entre eux de façon harmonieuse. Ainsi, il est évident que le changement climatique a un impact sur le système dans son ensemble et que ses répercussions sont très variées. Cette séquence propose six séances aux élèves, pour les aider à comprendre et à simuler par des expériences certaines des répercussions les plus importantes du changement climatique sur l'océan et la cryosphère de notre planète. Dans ces séances, il est

par conséquent question de l'impact direct du changement climatique sur ces systèmes, un impact qui se manifeste également au sein d'écosystèmes clés et sur les populations humaines. À la fin de cette séquence, les élèves seront en mesure de comprendre les causes et les conséquences de différents phénomènes, allant de la hausse du niveau marin à la fonte de la cryosphère, en passant par l'acidification de l'océan, la capacité d'absorption de chaleur par l'océan et le fonctionnement des courants marins.

LISTE DES SÉANCES

Séances principales

Séances facultatives

<input checked="" type="radio"/>	C1	Fonte de la cryosphère et hausse du niveau marin SVT Les élèves procèdent à une expérience pour vérifier que la fonte de la banquise n'élève pas le niveau marin contrairement à la fonte des glaces continentales. Dans le cadre d'une analyse documentaire, ils découvrent l'incidence de la fonte des glaces sur l'approvisionnement en eau douce.	page 74
<input checked="" type="radio"/>	C2	Dilatation thermique de l'océan et hausse du niveau marin SVT Les élèves procèdent à une expérience pour déterminer de quelle manière la dilatation thermique de l'eau de mer contribue à la hausse du niveau marin. Une analyse documentaire leur permet de débattre des différentes répercussions de la hausse du niveau marin sur les écosystèmes et les sociétés humaines.	page 83
<input checked="" type="radio"/>	C3	La blancheur de la cryosphère et son albédo SVT Les élèves débattent du rôle que joue la banquise dans notre climat et mènent une expérience pour comprendre l'importance de la cryosphère, une surface qui présente un albédo très élevé. Cette séance permet également d'aborder les rétroactions du système climatique.	page 89
<input checked="" type="radio"/>	C4	L'acidification de l'océan SVT Les élèves procèdent à une expérience pour comprendre non seulement le lien entre acidité et pH, mais aussi entre concentration en CO ₂ dans l'atmosphère et acidification de l'océan et les répercussions sur les organismes marins.	page 93
<input type="radio"/>	C5	Les courants marins régulent le climat SVT Les élèves mènent deux expériences pour comprendre que des différences de densité de l'eau de mer peuvent influencer les courants océaniques. L'analyse d'une carte de circulation thermohaline permet de comprendre l'influence des courants marins sur le climat à l'échelle mondiale.	page 98
<input type="radio"/>	C6	L'inertie thermique de l'océan et la régulation du climat SVT Dans le cadre d'une analyse documentaire et d'une expérience, les élèves découvrent le rôle de l'inertie thermique de l'océan dans la régulation du climat.	page 102

SÉANCE C1

FONTE DE LA CRYOSPHERE ET HAUSSE DU NIVEAU MARIN

DISCIPLINE CONCERNÉE

SVT

DURÉE

- ~ Préparation : 5 + 10 min
- ~ Activité : 1 h 30

RÉSUMÉ

Les élèves procèdent à une expérience pour vérifier que la fonte de la banquise n'élève pas le niveau marin contrairement à la fonte des glaces continentales. Dans le cadre d'une analyse documentaire, ils découvrent l'incidence de la fonte des glaces sur l'approvisionnement en eau douce.

IDÉES À RETENIR

- ~ La cryosphère désigne toutes les zones de la planète recouvertes d'eau gelée.
- ~ L'augmentation de la température de l'atmosphère et de l'océan se traduit par une fonte de la cryosphère.
- ~ 98% de la glace terrestre est située au niveau des calottes glaciaires polaires qui sont constituées de neige compactée.
- ~ On trouve de la banquise (ou glace de mer) aussi bien dans l'Arctique que dans l'Antarctique. Elle se compose d'eau de mer gelée.
- ~ Le pergélisol est un sol gelé en permanence pendant au moins deux ans.
- ~ La fonte de la glace continentale contribue à l'augmentation du niveau marin, au contraire de la glace de mer.
- ~ La cryosphère représente une importante source d'eau douce alimentant les rivières dans les montagnes aux latitudes moyennes et élevées.

MOTS-CLÉS

Cryosphère, banquise, glace continentale, calotte glaciaire, pergélisol, fonte, eau douce, hausse du niveau marin

MÉTHODE D'INVESTIGATION

Expérimentation



PRÉPARATION 5 + 10 MIN

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

- FICHE C1.1 (une pour toute la classe)
- FICHE C1.2 (une pour toute la classe)
- FICHE C1.3 (une pour toute la classe)
- FICHE C1.4 (une par groupe)
- FICHE C1.5 – pour les élèves avancés – (une par groupe)
- Glaçons (3 à 4 par groupe)
- Un grand récipient (un par groupe)
- De l'eau
- Des objets lourds et «étanches» (cailloux, pavés) : quelques-uns pour chaque groupe travaillant sur la glace continentale (la moitié des groupes)
- Ressources multimédia: vidéos («Hausse du niveau marin» et «Les glaciers») et animation interactive («Hausse du niveau marin»). Se référer à la page 192.

EN AMONT DE LA SÉANCE

1. Préparez les glaçons la veille.
2. Imprimez les FICHES C1.1, C1.2 et C1.3 (une pour toute la classe) et la FICHE C1.4 (une pour chaque groupe). La FICHE C1.5 peut être utilisée en complément par les élèves avancés.
3. Téléchargez les vidéos sur le site internet de l'OCE. Se référer à la page 192.

→ CONSEIL À L'ENSEIGNANT

Il est préférable de commencer cette séance avant la pause déjeuner afin de laisser suffisamment de temps à la glace pour fondre durant la pause. Sinon, essayez de réaliser les expériences décrites ci-dessous dans une pièce chauffée ou au soleil afin d'accélérer la fonte.

INTRODUCTION 20 MIN

Commencez par poser aux élèves la question suivante: *pouvez-vous citer certaines conséquences du réchauffement climatique?* Écrivez les réponses des élèves au tableau. En général, ils mentionnent spontanément la hausse du niveau marin. Nous nous concentrerons sur ce thème dans la présente séance et reviendrons plus tard sur les autres problématiques.

→ CONSEIL À L'ENSEIGNANT

l'une des principales difficultés pour les élèves et pour la plupart des adultes consiste à comprendre la différence entre la banquise, composée d'**eau de mer**, et les icebergs, constitués d'**eau douce**, qui se sont détachés d'un glacier continental ou d'une calotte glaciaire et qui flottent dans l'océan.

DÉROULEMENT 40 MIN + PAUSE + 20 MIN

1^{ERE} PARTIE (40 MIN): FONTE DE LA GLACE CONTINENTALE CONTRE FONTE DE LA BANQUISE ET HAUSSE DU NIVEAU MARIN

1. Demandez aux élèves: *savez-vous pourquoi le niveau marin augmente?* La plupart des élèves penseront à la fonte des glaces, mais sans faire la distinction entre la fonte de la banquise et celle de la glace continentale. Montrez-leur la **FICHE C1.1** pour qu'ils puissent voir la différence.
2. Demandez aux élèves: *où trouve-t-on de grandes quantités de glace sur la planète?* Montrez la **FICHE C1.2** à la classe et discutez des différents réservoirs de cryosphère présents sur Terre. Écrivez la définition de «cryosphère» au tableau: «**La cryosphère englobe la totalité de l'eau gelée à la surface de la Terre**». Les glaciers et les calottes glaciaires (Antarctique et Groenland) reposent sur des continents et sont constitués de neige tassée, tandis que la banquise (Arctique et Antarctique) se forme dans l'océan. En regardant la **FICHE C1.3**, les élèves comprennent également que les icebergs sont différents de la banquise. Les icebergs sont constitués d'eau douce et se sont formés sur terre, tandis que la banquise est composée d'eau salée et se forme directement à la surface de l'océan.

3. Montrez une nouvelle fois la **FICHE C1.2** et demandez aux élèves: *à votre avis, la fonte de tous ces réservoirs va-t-elle faire augmenter le niveau marin?* Les réponses seront probablement très variées. Deman-

dez ensuite: *pouvez-vous penser à une expérience qui pourrait nous aider à répondre à cette question?* Aidez les élèves à formuler la question suivante: *la hausse du niveau marin est-elle causée à la fois par la fonte de la banquise et par celle de la glace terrestre?*

4. En groupe, faites réfléchir les élèves à une expérience pratique leur permettant de répondre à cette question.
5. Une fois le protocole de l'expérience discuté et validé par toute la classe, les groupes mettent en place l'expérience:
 - Ils remplissent partiellement le récipient avec de l'eau à température ambiante. L'eau fait ici figure d'océan:
 - **La moitié des groupes** place délicatement les glaçons dans l'eau. Ils représentent la banquise.
 - **L'autre moitié** plonge un objet lourd, qui représente un continent, au fond du récipient, puis pose des glaçons à sa surface. Ces derniers représentent la glace continentale. L'objet doit émerger de l'eau.

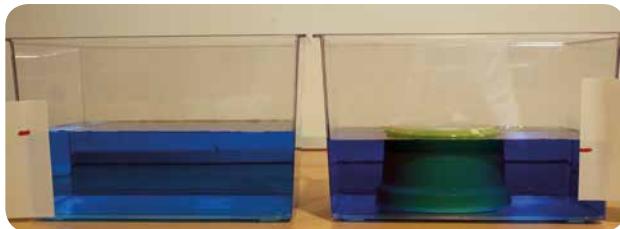
→ CONSEIL À L'ENSEIGNANT

Demandez aux élèves: *comment savoir si le niveau de l'eau a augmenté ou non?* Plusieurs réponses sont possibles. Par exemple: tirer un trait sur le récipient, fixer une règle ou un morceau de papier contre le récipient.

- Il convient de marquer le niveau de l'eau aussitôt après avoir ajouté les glaçons!
- Pour le groupe «banquise»: assurez-vous qu'il y ait suffisamment d'eau dans le récipient pour que les glaçons ne touchent pas le fond du récipient (la banquise doit flotter).

Les glaçons déposés dans l'eau fondent très vite (en quelques minutes), tandis que ceux placés sur le «continent» fondent bien plus lentement (en quelques heures).

La première observation permet de mettre en évidence la vulnérabilité de la banquise: elle fond plus rapidement que la glace continentale car elle est en contact avec l'eau de mer, dont la conductivité thermique est plus élevée que celle de l'air. C'est aussi pour cela que le corps humain se refroidit plus vite dans l'eau qu'à l'air libre, comme c'est le cas lorsque vous vous baignez dans la mer).



En haut: avant la fonte ; en bas: après la fonte.

6. Pendant que les élèves attendent que la glace fonde, ils peuvent faire un schéma de l'installation expérimentale et rédiger leurs observations.
7. Lorsque les glaçons ont fondu, demandez-leur de comparer les résultats. Ils parviendront à la conclusion que la banquise ne contribue pas à la hausse du niveau marin, au contraire de la glace continentale.

2^{ÈME} PARTIE (20 MIN) : LES CONSÉQUENCES DE LA FONTE DE LA GLACE CONTINENTALE SUR L'APPROVISIONNEMENT EN EAU DOUCE

8. Distribuez la FICHE C1.4 à chaque groupe et demandez-leur de l'étudier. Avec des élèves d'un niveau avancé, vous pouvez travailler sur l'image satellite de la FICHE C1.5.

CONCLUSION 10 MIN

Menez une discussion avec toute la classe sur les conséquences de la fonte de la glace continentale sur la croissance des végétaux et donc sur les ressources locales (gibier, agriculture, etc.) et, avant tout, sur l'approvisionnement en eau douce. Vous pouvez débattre autour des autres utilisations importantes de l'eau douce provenant des glaciers continentaux, comme la production hydroélectrique.

ÉCLAIRAGE SCIENTIFIQUE

Les informations détaillées sur la **cryosphère** et ses différents réservoirs figurent dans la partie 1 de l'Éclairage scientifique général. Les services que la cryosphère (neige, glace et pergélisol) rend à l'humanité sont détaillés [pages 13-14](#) de l'Éclairage scientifique général et les modifications observées dans la cryosphère en raison du changement climatique sont expliquées [pages 16-20](#) dans la même partie de ce manuel. Par conséquent, cette séance ne s'attarde que sur trois concepts essentiels présentés ci-dessous.

LA GLACE CONTINENTALE ET LA BANQUISE SONT DIFFÉRENTES

La **glace continentale** est la glace dite terrestre, qui comprend les glaciers des régions polaires et montagneuses ainsi que les calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique, où la glace recouvre le continent. Celle-ci se forme suite à la lente accumulation de neige sur les sols, qui se tasse et finit par se transformer en glace. Lorsque l'écoulement d'un glacier atteint l'océan, il arrive que de grands morceaux s'en détachent pour devenir des icebergs qui flottent dans l'océan. La glace continentale est constituée d'**eau douce**.

La **banquise** flotte à la surface de l'océan et n'existe que dans l'Arctique et dans l'Océan Austral autour de l'Antarctique. Au contraire de la glace continentale, elle est composée d'eau de mer gelée. Lorsque l'eau de mer gèle, le sel, qui ne peut s'intégrer à l'eau sous sa forme solide (la glace), est rejeté dans l'eau de mer environnante. Ce processus contribue à l'augmentation locale de la salinité de l'eau de mer.

LA FONTE DE LA GLACE CONTINENTALE CONTRIBUE À LA HAUSSE DU NIVEAU MARIN, MAIS PAS CELLE DE LA BANQUISE

Par définition, la glace continentale repose sur la terre ferme. De ce fait, l'eau de fonte s'écoule dans l'océan et contribue à l'élévation du niveau marin.

La banquise, quant à elle, est déjà dans l'océan. Une petite partie est émergée (environ 10% de son volume total) tandis que la plus grande partie est immergée (environ 90% de son volume total). Cette proportion inégale s'explique par le fait que

la densité de la glace correspond à environ 90% de celle de l'eau liquide. C'est une propriété singulière de l'eau puisque les solides sont généralement plus denses que les liquides, à composition chimique égale. La partie émergée de la banquise, qui se trouve à l'origine hors de l'eau, va fondre et contribuer à l'augmentation du niveau marin, tandis que la partie immergée, en fondant, va entraîner une baisse du niveau marin. En effet, pour la même quantité d'eau, c'est-à-dire pour la même masse, la glace occupe un volume supérieur à l'eau liquide. Par conséquent, les deux phénomènes se compensent plus ou moins mutuellement, raison pour laquelle le niveau marin reste le même.

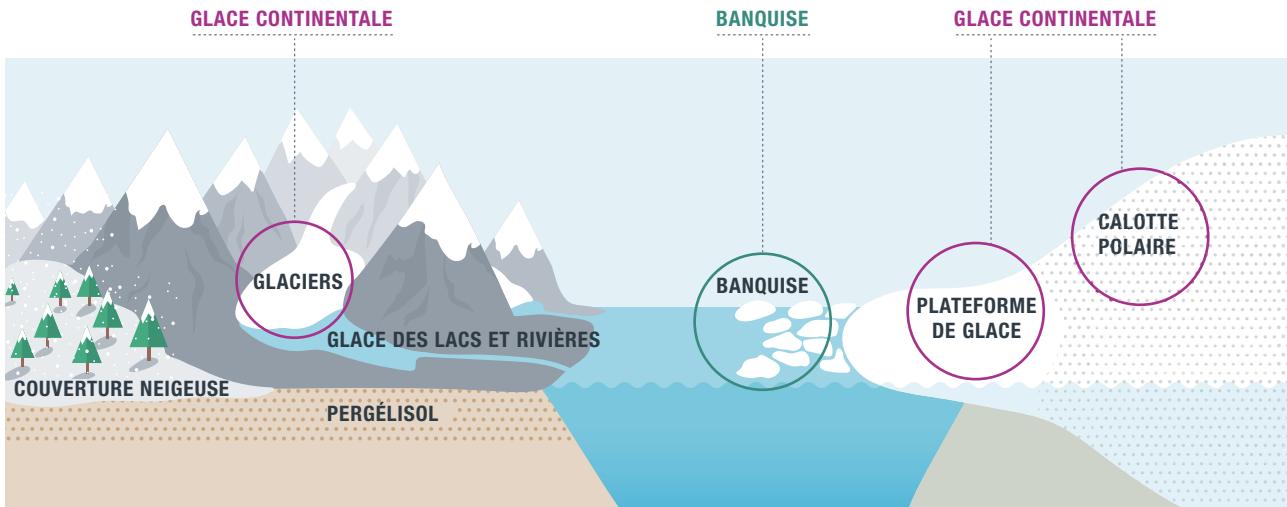
On peut démontrer mathématiquement que le volume immergé d'un glaçon – la partie sous la surface de l'eau – correspond au volume d'eau total résultant de la fonte de ce dernier; ceci explique que le niveau de l'eau ne change pas avec la fonte du glaçon. Cette simple démonstration qui ne nécessite que quatre ou cinq lignes de calcul est le résultat de deux principes de base: la conservation de la masse (la masse d'un glaçon est égale à la masse du volume d'eau produit par la fonte de celui-ci) et la flottabilité (en situation d'équilibre, le poids du glaçon est identique, en termes absolus, à la poussée d'Archimède, c'est-à-dire au poids du volume d'eau déplacé). Il est possible de donner à des collégiens cet exercice, démontré pour la première fois par Archimède de Syracuse, en 250 avant JC.

LA BANQUISE FOND PLUS VITE QUE LA GLACE CONTINENTALE

La **banquise** fond plus vite que la glace continentale, dont la surface est pour la plupart au contact de l'air, plutôt que de l'eau. Le transfert de chaleur est en effet bien plus efficace dans l'eau que dans l'air, principalement en raison de la densité plus élevée de l'eau. Une densité supérieure signifie un plus grand nombre de molécules d'eau en contact avec la surface du glaçon, ce qui exacerbe l'échange thermique.

La banquise fond également plus vite que les glaciers continentaux parce qu'elle ne mesure que quelques mètres d'épaisseur, tandis que les calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique atteignent plusieurs kilomètres d'épaisseur.

FICHE C1.1



Adapté de la figure 4.25 du rapport du groupe de travail I du GIEC



Le **champ de glace de Patagonie méridionale** est la plus grande étendue de glace continentale dans l'hémisphère sud (en dehors de l'Antarctique) et alimente de multiples glaciers.



Calotte glaciaire de l'Antarctique, près de la Terre Adélie.

La calotte glaciaire de l'Antarctique est la plus grande étendue de glace continentale sur Terre.

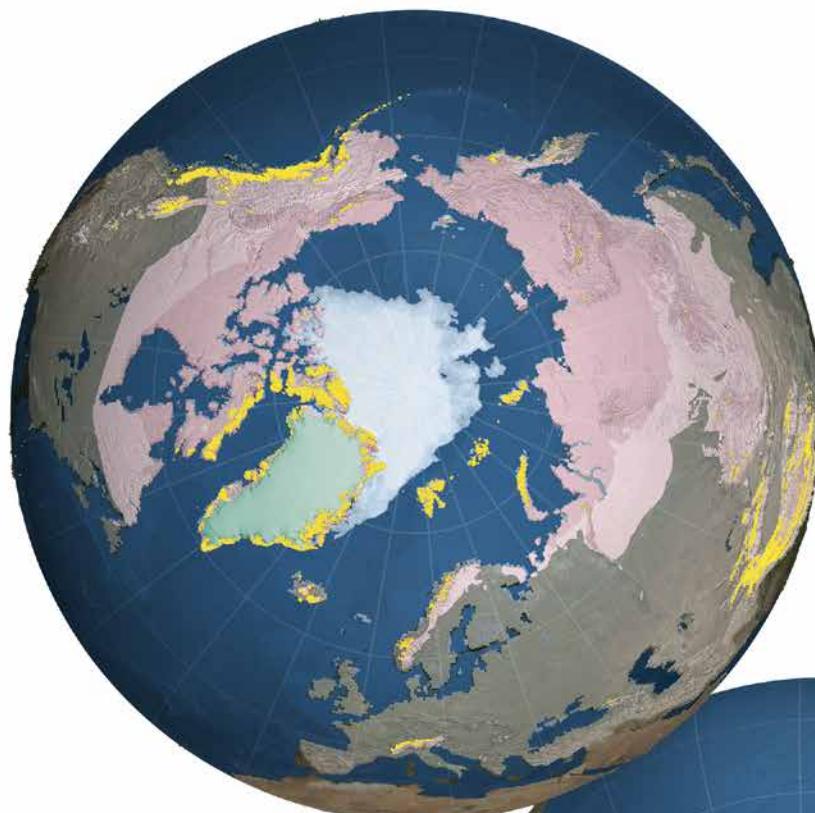


Banquise flottant sur l'océan au nord du Spitzberg.

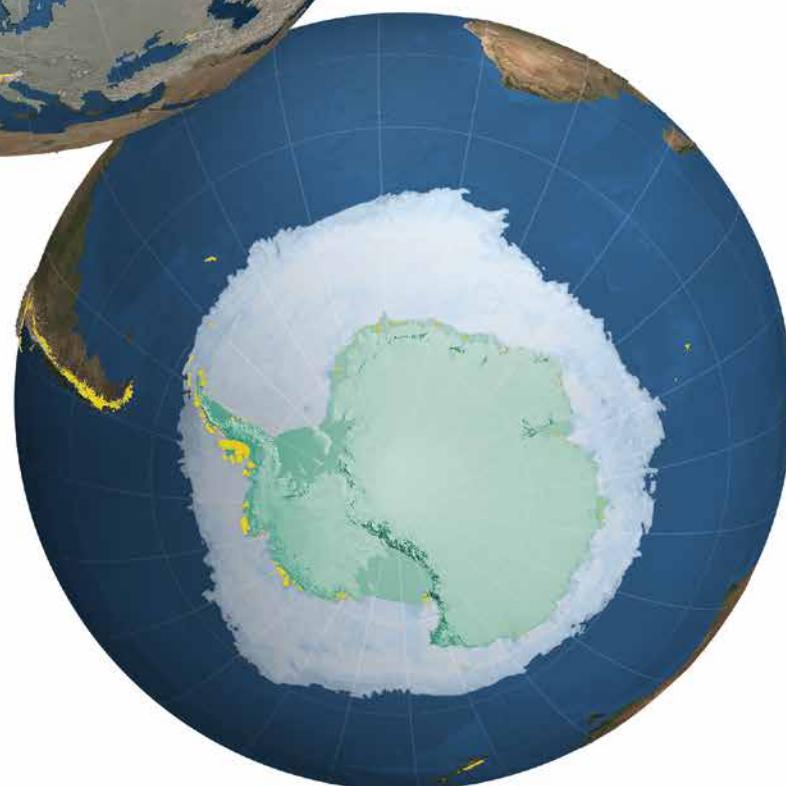
FICHE C1.2



La cryosphère désigne toute l'eau gelée présente à la surface de la Terre. Sur la planète, il existe différents réservoirs d'eau gelée. Les images satellites suivantes permettent de les mettre en évidence.



HÉMISPHÈRE NORD



HÉMISPHÈRE SUD



Banquise



Glaciers



Calotte polaire



Pergélisol

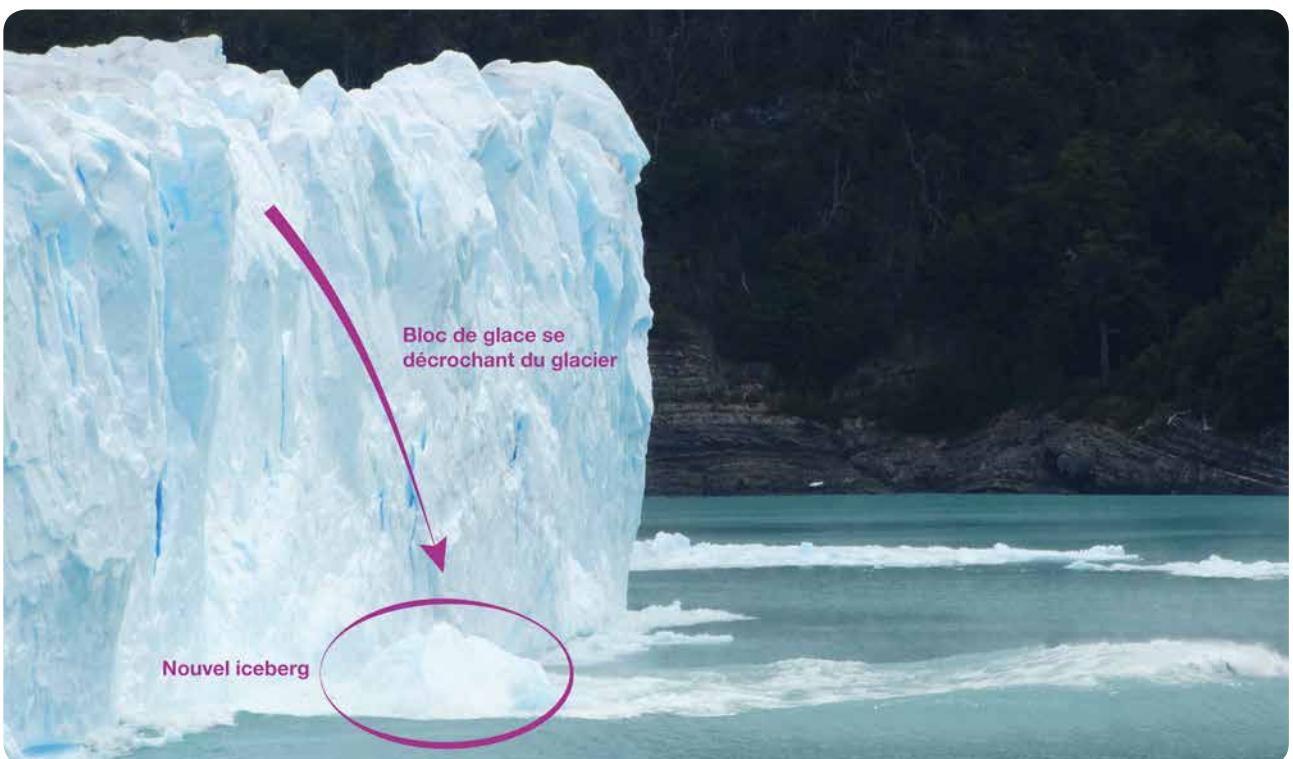
Source : adapté de « NASA/Goddard Space Flight Center Scientific Visualization Studio » (Studio de visualisation scientifique du Centre des vols spatiaux Goddard de la NASA) et du « cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat ». <https://svs.gsfc.nasa.gov/3885>



FICHE C1.3



La banquise – constituée d'eau de mer gelée, directement à la surface de l'océan.



Iceberg – bloc de glace détaché de glaciers continentaux (situés sur terre) et tombé dans l'océan.

FICHE C1.4



L'image ci-dessous montre un glacier situé en Patagonie argentine. Les flèches blanches montrent l'eau qui s'écoule du glacier.

→ Dans quelle direction s'écoule-t-elle, d'après vous ?



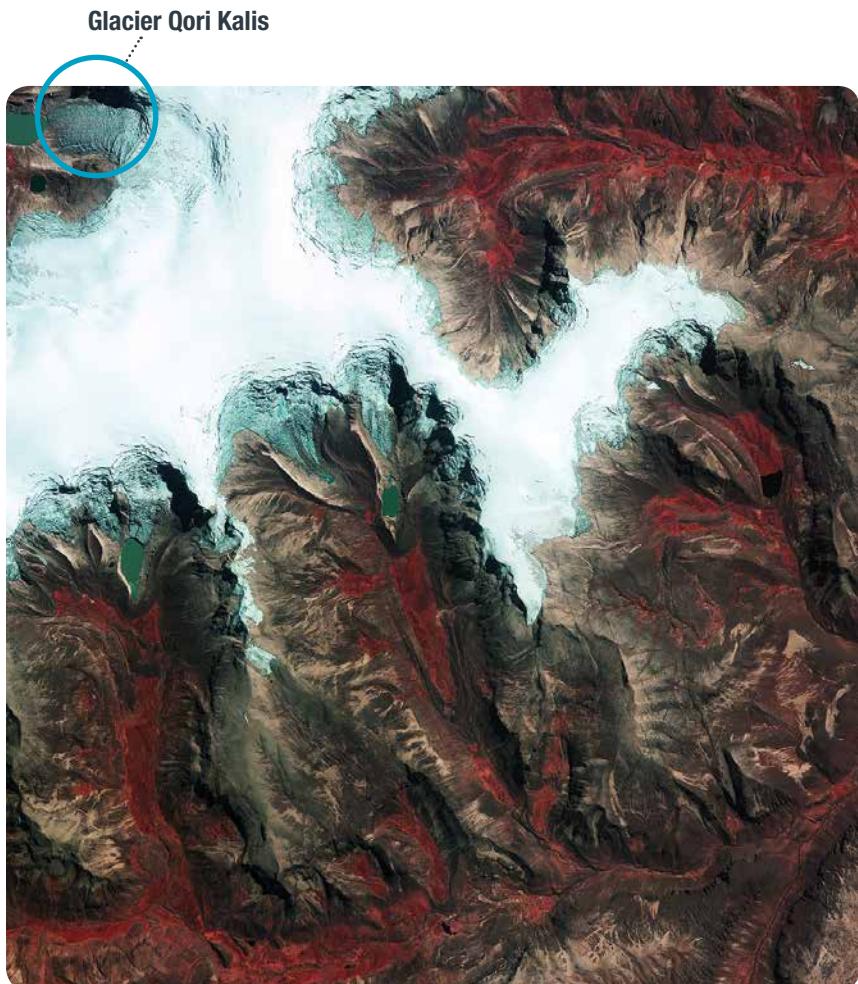
L'image, en bas à gauche, montre la vallée en aval du glacier représenté ci-dessus. Il arrive que les villageois construisent des canalisations pour dévier l'eau qui provient directement des lacs de fonte, comme vous pouvez le voir sur l'image en bas à droite. Notez que l'eau a une couleur laiteuse et coule le long d'une vallée verdoyante, tandis que les montagnes environnantes sont sèches.

→ Selon vous, pourquoi la vallée est-elle si verte ?





L'image suivante montre une photo satellite de la plus grande calotte glaciaire tropicale de la planète: le Quelccaya dans les Andes péruviennes. La photo a été prise le 29 juin 2009 par le satellite coréen Kompsat-2. Les couleurs peuvent prêter à confusion: la végétation apparaît en rouge.



- Depuis les années 1970, la calotte glaciaire du Quelccaya rétrécit en raison de l'augmentation des températures. Elle a déjà perdu plus de 20% de sa surface. Dans cette région sèche, les populations vivant dans les vallées dépendent de cette calotte glaciaire comme source d'eau potable et d'électricité.
- Nous pouvons constater que la végétation (en rouge) pousse principalement dans les vallées et le long des cours d'eau.
- Nous pouvons également remarquer la forme caractéristique des vallées glaciaires sur cette carte, creusées par les anciens glaciers avant leur recul.
- Selon certaines estimations, cette calotte glaciaire pourrait disparaître d'ici quelques décennies, tout comme ses précieuses ressources en eau dont dépendent des millions de personnes et d'écosystèmes locaux.
- En haut à gauche de l'image, nous pouvons voir le glacier Qori Kalis, le principal débouché de la calotte glaciaire. Ce glacier recule à un rythme qui s'est accéléré ces dernières années. Il a déjà perdu environ 50% de sa longueur totale depuis les années 1960. La fonte du glacier a conduit à la formation d'un lac à la fin des années 1980, qui s'est étendu au fil des années; d'autres lacs plus petits se sont formés autour de la calotte glaciaire.

SÉANCE C2

DILATATION THERMIQUE DE L'OCÉAN ET HAUSSE DU NIVEAU MARIN

DISCIPLINE CONCERNÉE

SVT

DURÉE

- ~ Préparation : 15 min
- ~ Activité : 1 h – 1 h 30

RÉSUMÉ

Les élèves procèdent à une expérience pour déterminer comment la dilatation thermique de l'eau de mer contribue à la hausse du niveau marin. Une analyse documentaire leur permet de débattre des différentes répercussions de la hausse du niveau marin, sur les écosystèmes et les sociétés humaines.

IDÉES À RETENIR

- ~ L'augmentation de la température atmosphérique induit une hausse de la température de l'océan.
- ~ Le niveau marin moyen à l'échelle du globe a déjà augmenté d'environ 15 cm depuis 1900. Si l'on en croit les différents scénarios, cette élévation va se poursuivre pour atteindre entre 25 cm et plus d'1 m d'ici 2100.
- ~ L'eau, comme tous les liquides, gagne en volume sous l'effet de la chaleur. C'est ce qu'on appelle la dilatation thermique, qui est l'une des causes de la hausse du niveau marin.
- ~ En raison de la hausse du niveau marin, les régions côtières sont de plus en plus fréquemment inondées, provoquant l'érosion du littoral.
- ~ En 2010, près de 30% de l'espèce humaine vivait à moins de 100 km des côtes.
- ~ L'altération, voire la destruction, des écosystèmes côtiers est une menace réelle.
- ~ L'eau salée s'infiltra dans les nappes phréatiques.

MOTS-CLÉS

Dilatation thermique, eau salée, hausse du niveau marin, érosion du littoral, écosystèmes côtiers, communautés côtières

MÉTHODE D'INVESTIGATION

Expérience et analyse documentaire



PRÉPARATION 15 MIN

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

FICHES C2.1, C2.2 and C2.3 (une de chaque par groupe, pour les élèves avancés).

Pour chaque groupe :

- 1 bouteille ou un flacon de laboratoire
- 1 paille ou une pipette
- 1 bouchon
- De l'eau colorée, réfrigérée au préalable

Ressources multimédia: animation interactive «Hausse du niveau marin». Se référer à la page 192.

EN AMONT DE LA SÉANCE

1. Imprimez et distribuez un exemplaire des FICHES C2.1 and C2.2 par groupe, et de la FICHE C2.3 par élève.
2. Placez au préalable l'eau colorée au réfrigérateur.

INTRODUCTION 20 MIN

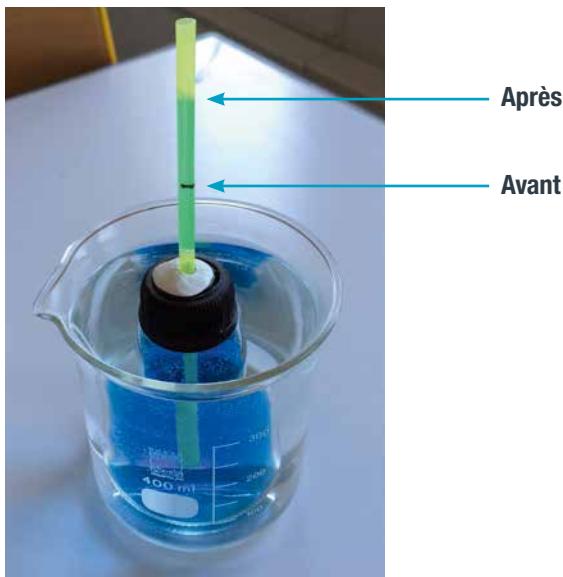
Indiquez aux élèves que la fonte de la glace continentale n'explique qu'à moitié la hausse du niveau marin observée depuis les années 1990. Demandez à la classe : *quel autre facteur est à l'origine de la hausse du niveau marin ?* Il est très peu probable que les élèves mentionnent la dilatation de l'eau. Il pourrait s'avérer judicieux de montrer aux élèves un thermomètre analogique et de leur demander d'en expliquer le fonctionnement : la chaleur dilate le liquide dans le tube, faisant ainsi grimper le niveau de liquide.

DÉROULEMENT 1 H

PARTIE 1 (30 MIN): DILATATION THERMIQUE DE L'EAU DE MER

1. Montrez aux élèves le matériel disponible et demandez-leur d'imaginer un moyen de tester l'hypothèse selon laquelle le réchauffement de l'eau de mer est responsable de la hausse du niveau marin. En fonction de l'âge de vos élèves, vous préparerez la bouteille, le bouchon et la paille à l'avance.

2. Les élèves mènent l'expérience qu'ils ont proposée.



Exemple d'une bouteille d'eau chauffant au bain-marie.
Observez la colonne d'eau dans la paille.

→ CONSEIL À L'ENSEIGNANT

- Avec une bouteille en plastique, l'eau montera aussi dans la paille si la bouteille est comprimée, et pas seulement si elle est chauffée. Par conséquent, il vaut mieux utiliser une bouteille en verre. De plus, le verre conduit mieux la chaleur.
- La bouteille doit être remplie à ras-bord; un peu d'eau colorée doit monter dans la paille une fois insérée dans l'eau à travers le bouchon. Le joint entre la paille et le bouchon doit être hermétique; pour ce faire, vous pouvez utiliser de la pâte à modeler ou du chewing-gum.
- Il y a plusieurs façons possibles de réchauffer l'eau de la bouteille: la tenir entre vos mains, la poser sur le radiateur ou au soleil. La méthode la plus efficace est de la placer dans un récipient rempli d'eau chaude: l'eau n'a pas besoin de bouillir, une température de 40°C suffit largement. Réchauffer le récipient avec les mains est une option intéressante, car elle montre aux élèves qu'une variation de température légère a un effet tangible.
- Plus l'eau de la bouteille sera froide au début de l'expérience, plus la dilatation sera visible. Il vaut donc mieux remplir la bouteille avec de l'eau réfrigérée qu'avec de l'eau du robinet.
- Cela permet de rendre visible la moindre variation du volume d'eau.

PARTIE 2 (30 MIN, POUR LES ÉLÈVES AVANCÉS): LES CONSÉQUENCES DE LA HAUSSE DU NIVEAU MARIN

3. Donnez aux élèves les FICHES C2.1, C2.2 and C2.3 pour qu'ils les analysent et répondent aux questions. Une fois qu'ils ont terminé, discutez avec eux des différentes répercussions de la hausse du niveau marin, comme l'érosion du littoral, la destruction des écosystèmes côtiers et l'incidence sur les moyens de subsistance des communautés côtières et sur le tourisme. Certaines populations n'auront pas d'autre choix que de quitter leur domicile et migrer.

CONCLUSION 10 MIN

Examinez les conclusions tirées des activités :

- L'eau de mer se dilate sous l'effet de la chaleur. Il est important de contextualiser les informations pour s'assurer que les élèves ont compris que le niveau d'eau dans la paille représente le niveau marin.
- La hausse du niveau marin s'explique principalement par la fonte de la glace continentale (voir la séance C1, page 74) et par la dilatation thermique de l'océan. Ces deux phénomènes résultent du changement climatique.

Pour les élèves avancés :

- La hausse du niveau marin menace les communautés et écosystèmes côtiers.
- C'est un phénomène fluctuant qui varie selon les régions.

ÉCLAIRAGE SCIENTIFIQUE

Tout corps physique, sous forme solide ou liquide (à l'exception de l'eau à certaines plages de température), gagne en volume sous l'effet de la chaleur, ce que l'on qualifie de **dilatation thermique**.

Comme traité plus en détail aux pages 15 et 16 de l'Éclairage scientifique général, l'océan a déjà absorbé plus de 90% de l'excédent de **chaleur** généré par le réchauffement climatique, ce qui explique l'augmentation de son volume et, par conséquent, l'**élévation du niveau marin**. Près de la moitié de la hausse observée depuis les années 1990 s'explique par la dilatation thermique de l'eau de mer et l'autre moitié par la fonte de la glace continentale, comme nous l'avons vu dans la séance C1.

La hausse du niveau marin a différentes répercussions à la fois sur les **infrastructures** et sur les **écosystèmes côtiers**. La page 20 de

l'Éclairage scientifique général fournit des informations détaillées sur les défis que rencontrent déjà les habitants des côtes et les défis qu'ils continueront à devoir relever en raison de cette élévation du niveau marin; en 2010, près de 30% de l'espèce humaine vivait à moins de 100 km des côtes.

Les écosystèmes côtiers se retirent vers l'intérieur des terres ou sont contraints de disparaître quand cela leur est impossible. Subissant à la fois la hausse du niveau marin et l'artificialisation des zones côtières par les infrastructures, ils sont « pris en étau » et risquent de disparaître. Dans cette séance, vous trouverez un aperçu de trois types essentiels d'écosystèmes côtiers (les **mangroves**, les **marais salés**¹ et les **herbiers marins**) qui nous rendent une multitude de services écosystémiques et qui sont exposés au plus haut niveau de risque.

¹ « Marais salé » fait référence à un écosystème naturel, tandis que « marais salant » désigne une installation humaine destinée à la production de sel



FICHE C2.1

Le Bangladesh est un pays d'Asie du sud, traversé en grande partie par le Gange, le Brahmapoutre et leur delta, une région très fertile. La majeure partie du pays se situe à une altitude de moins de 12 m au-dessus du niveau de la mer. Le Bangladesh est l'un des pays à la densité de population la plus forte au monde, avec plus de 160 millions d'habitants.

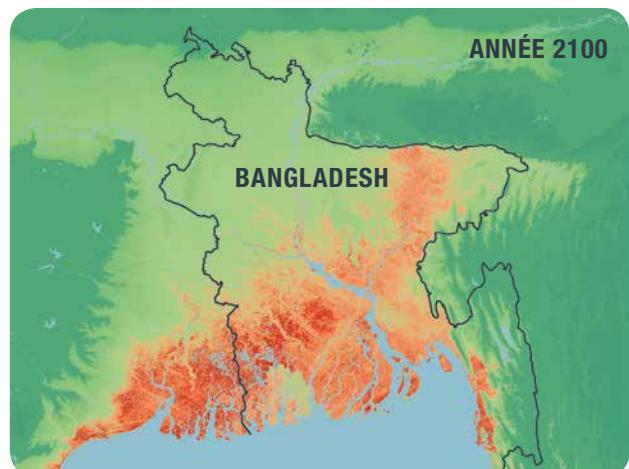
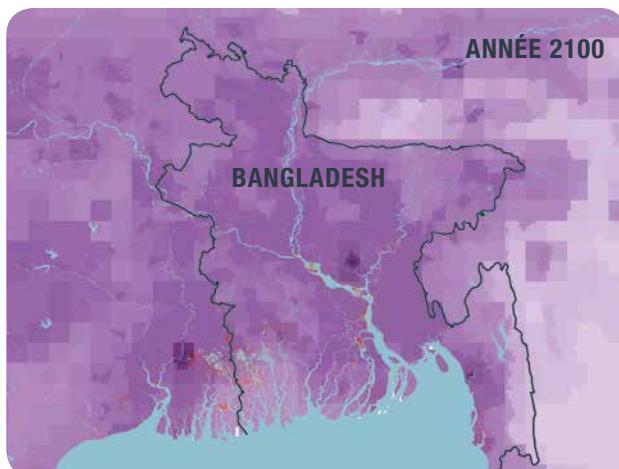
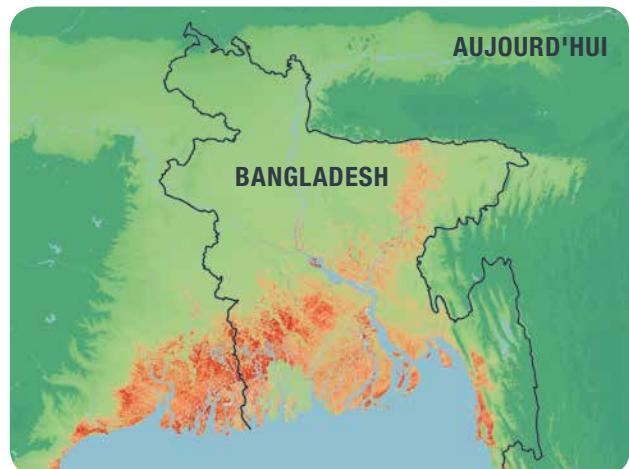
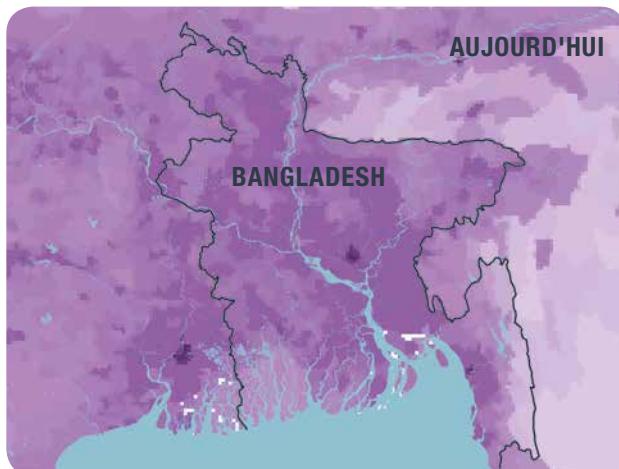
Regardez l'image à droite :

- Quelle région du Bangladesh affiche l'altitude la plus basse ?



Regardez les images ci-dessous :

- Quelle région du Bangladesh est la plus peuplée ?
- Quelle est la différence entre la population actuelle et la population estimée en 2100 ?
- Quelles conséquences du changement climatique toucheront le plus directement la population vivant au Bangladesh ?
- Comment le risque d'inondation va-t-il évoluer en 2100 par rapport à aujourd'hui ?



Densité de population (hab/km²)



... des régions innondées (hab/km²)



Risque d'inondation



Remarque : Les données recueillies pour «aujourd'hui» correspondent à une année située entre 2000 et 2015, suivant les données disponibles.



Lisez les différentes cartes d'identités des écosystèmes côtiers.

- Pouvez-vous déterminer pourquoi ces écosystèmes sont si importants ? Quelle importance ont-ils pour les populations locales ? Énumérez les raisons.

LES MANGROVES

Les mangroves sont des arbres et arbustes qui évoluent dans la zone intertidale. Elles prolifèrent dans des eaux salées ou saumâtres, où le sol a une faible teneur en dioxygène. Elles sont caractéristiques du littoral des côtes tropicales et sous-tropicales.

Servant de tampon, ces forêts protègent le littoral contre l'impact des vagues et permettent de réduire l'érosion de la côte. La complexité de leur système racinaire rend ces mangroves attrayantes pour les poissons et autres organismes en quête de nourriture et d'un abri pour éviter les prédateurs. Elles sont capables d'absorber une proportion importante du dioxyde de carbone présent dans l'atmosphère, qu'elles peuvent stocker dans le sol.



LES MARAIS SALÉS

On trouve des marais salés dans les régions tempérées et arctique. Leurs herbes et arbustes poussent dans la zone intertidale, souvent près des estuaires, dans des eaux salées ou saumâtres. Ce sont des milieux humides côtiers régulièrement inondés à marée haute. C'est pourquoi leur sol a tendance à être vaseux et leur teneur en oxygène faible. Véritables « zones tampons », ils protègent le littoral, retiennent les sédiments et limitent les inondations en ralentissant et en absorbant l'eau de pluie. Capables de nettoyer les polluants chimiques, ils agissent comme des systèmes de filtrage. Les marais salés sont aussi un habitat essentiel, qui sert de zone d'alevinage, d'abri, de ressource alimentaire et de lieu de nidification pour les oiseaux. Ils séquestrent également le CO₂ atmosphérique qu'ils stockent.



LES HERBIERS MARINS

Les herbiers marins, que l'on confond souvent avec des algues, sont des plantes à racines et à feuilles, capables de produire des fleurs et des graines. Ils élisent domicile dans des sols vaseux, rocheux ou sablonneux, de préférence dans des eaux salées ou saumâtres peu profondes. On les trouve des tropiques jusqu'en Arctique. Ils peuvent parfois former des herbiers si denses sous l'eau qu'il est possible de les voir de l'espace. Les herbiers marins offrent une protection contre l'érosion du littoral. En stockant le CO₂ dans leurs racines et le sol, ils forment de bons systèmes de filtrage. Ils constituent aussi un abri et une ressource alimentaire pour une vaste communauté animale.



Remarques : Une zone intertidale est une zone immergée à marée haute et émergée à marée basse.

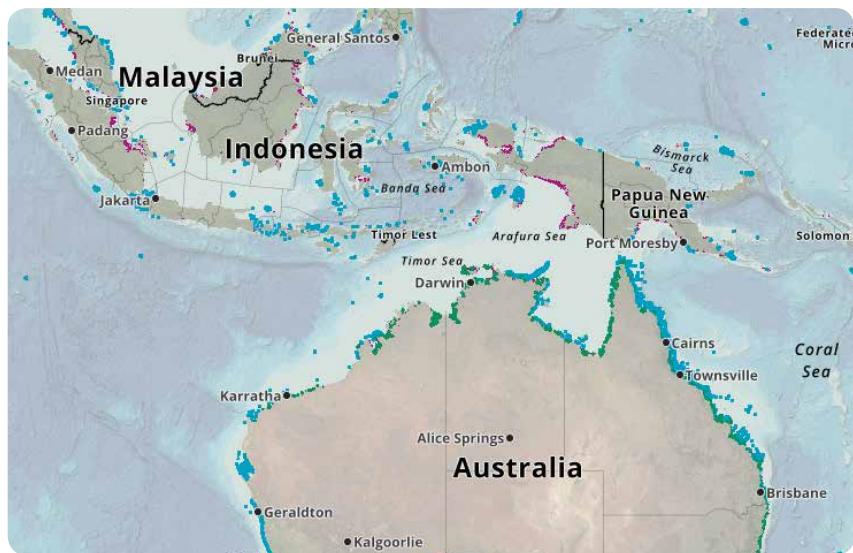
Les eaux saumâtres sont un mélange d'eau de mer et d'eau douce dont le taux de salinité se situe entre celui de l'eau douce et celui de l'eau de mer.



FICHE C2.3

Observez les cartes suivantes sur lesquelles sont représentés le littoral nord de l'Australie, ainsi que les côtes d'Indonésie et de Papouasie-Nouvelle-Guinée.

- Que pouvez-vous dire de la répartition des mangroves, marais salés et herbiers marins sur les côtes ?

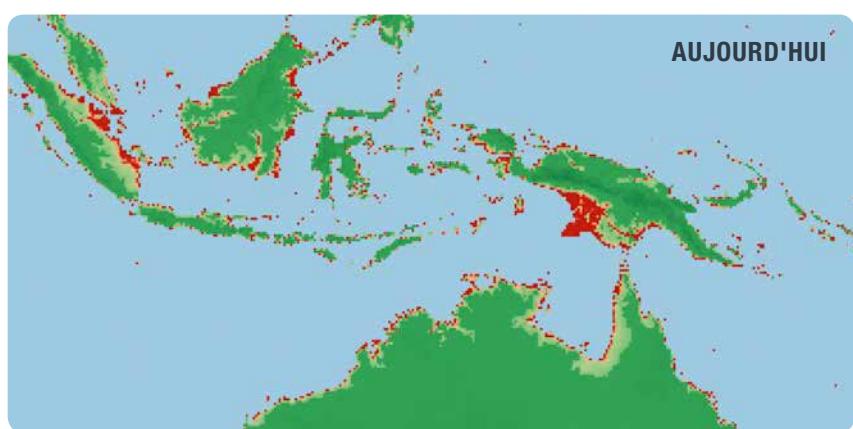


Répartition des Mangroves Marais salés Herbiers marins

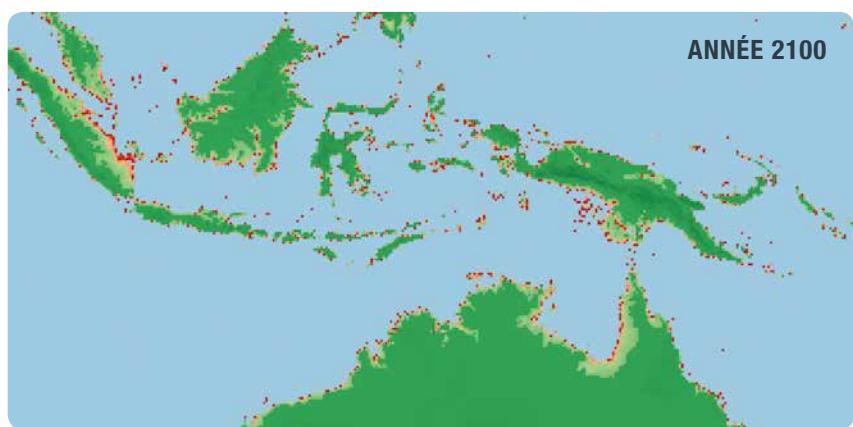
Source: Adapté du visualiseur de données océaniques du Programme des Nations Unies pour l'Environnement - <http://data.unep-wcmc.org/datasets>

Maintenant, regardez le risque d'inondation des mêmes côtes aujourd'hui et le risque associé à la hausse du niveau marin en 2100.

- Y a-t-il plus ou moins de régions inondées le long des côtes ?
- Parmi les régions inondées, y a-t-il des zones présentant des écosystèmes côtiers diversifiés (mangroves, marais salés ou herbiers marins) ?
- Selon vous, que va-t-il arriver à ces écosystèmes côtiers ?
- Quelles répercussions cela va-t-il avoir sur les populations locales tributaires de ces écosystèmes ?



Carte de risques d'inondation en 2000.



Carte de risques d'inondation en 2100 selon un scénario possible d'émissions de gaz à effet de serre à venir.

Risque d'inondation Sensible Sans danger Collines

Remarque : Les données recueillies pour «Aujourd'hui» correspondent à une année située entre 2000 et 2015, suivant les données disponibles.

SÉANCE C3

LA BLANCHEUR DE LA CRYOSPHERE ET SON ALBÉDO

DISCIPLINE CONCERNÉE

SVT

DURÉE

- ~ Préparation : 20 min
- ~ Activité : 1 h 30

RÉSUMÉ

Les élèves débattent du rôle que joue la banquise dans notre climat et mènent une expérience pour comprendre l'importance de la cryosphère, une surface présentant un albédo très élevé. Cette séance permet également d'aborder la notion de rétroaction dans le système climatique.

IDÉES À RETENIR

- ~ La cryosphère, par sa couleur blanche, réfléchit la major partie du rayonnement solaire qu'elle reçoit, ce qui régule la quantité d'énergie absorbée par la Terre.
- ~ La capacité d'une surface à réfléchir le rayonnement solaire s'appelle l'albédo.
- ~ Sans cryosphère, la température à la surface du globe serait bien plus élevée.
- ~ Lorsque la cryosphère fond, l'albédo de la Terre diminue, renforçant son réchauffement. La surface recouverte de glace diminue d'année en année, et ce de plus en plus rapidement. C'est ainsi que s'enclenche un cycle dangereux, qualifié de rétroaction positive.
- ~ Le système climat-océan-cryosphère se caractérise par des boucles de rétroactions à la fois positives et négatives très difficiles à arrêter une fois lancées.

MOTS-CLÉS

Cryosphère, réflexion, albédo, réchauffement supplémentaire, boucle de rétroaction

MÉTHODE D'INVESTIGATION

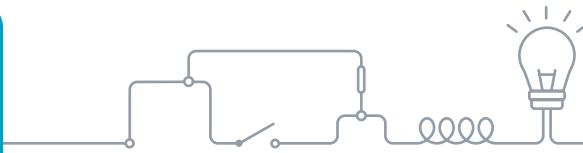
Expérience et analyse documentaire

PRÉPARATION 20 MIN

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

Pour chaque groupe :

- FICHE C3.1
- 1 récipient blanc ou un récipient avec de l'encre blanche
- 1 récipient bleu ou un récipient avec de l'encre bleu foncé



- 1 ampoule (de 60 W au moins, 100 W si possible, utilisez des ampoules halogènes ou à incandescence et non des lampes à basse consommation), montée sur un support qui peut se fixer et s'incliner vers la table. Remarque : s'il fait beau, les ampoules sont facultatives et les expériences peuvent être menées au Soleil.

- 1 thermomètre

Ressources multimédia: vidéo («Fonte de la banquise»). Se référer à la page 192.

EN AMONT DE LA SÉANCE

1. Imprimez ou projetez la FICHE C3.1.
2. Téléchargez la vidéo sur le site internet de l'OCE. Se référer à la page 192.

INTRODUCTION 20 MIN

Commencez cette activité en montrant l'image satellite de l'Océan Arctique de la FICHE C3.1. La différence entre l'étendue de la banquise en 1979 et en 2015 est manifeste. Demandez aux élèves : *que représente l'image ? Quelles sont les différences entre les deux cartes ?* À première vue, ils s'apercevront que la surface blanche de la banquise recule et qu'elle est remplacée par les couleurs sombres de l'océan.

Rappelez-leur la séance C1 sur la fonte de la cryosphère, dans laquelle nous avons appris que la banquise ne contribue pas à la hausse du niveau marin. Maintenant, demandez aux élèves : *pourquoi se soucie-t-on du recul de la banquise si celle-ci ne contribue pas à la hausse du niveau marin ?* Les élèves donnent souvent comme réponse l'ours polaire menacé par la diminution de son aire de chasse et par le recul de la banquise. Ils auront identifié les zones recouvertes de glace grâce à leur couleur blanche et l'océan grâce à sa couleur foncée. Demandez aux élèves : *pourquoi la couleur de la glace est-elle un élément important ? Pensez-vous que la différence de couleur entre la glace et l'océan est importante ? Pourquoi ? Entre la glace et l'océan, lequel absorbe le plus de chaleur ?*

DÉROULEMENT 50 MIN

1. Une fois que les élèves ont débattu autour de leurs hypothèses, demandez-leur comment ils peuvent les vérifier. Encouragez-les à mener une expérience, dont voici deux suggestions :

- Remplissez deux récipients identiques avec un volume d'eau équivalent (avec couvercles de préférence), un peint en blanc, comme la neige, l'autre en bleu foncé, comme l'océan. Vous pouvez aussi directement colorer l'eau en la mélan-géant à de l'encre blanche ou bleu foncé. Mettez ensuite les récipients au soleil ou sous une ampoule. Relevez la température de l'eau des deux récipients.
- Menez une petite expérience avec deux tissus de couleurs distinctes en prenant la température sous un t-shirt blanc et un t-shirt noir exposés au soleil ou à la lumière d'une lampe par exemple.



(A) Expérience avec deux récipients contenant de l'eau colorée.



(B) Expérience avec deux tissus de couleurs distinctes.

2. Les élèves relèvent les valeurs de température observées, par exemple toutes les 5 minutes pendant 20 minutes environ. Demandez aux élèves : *pouvez-vous anticiper ce qu'il va se passer ?*

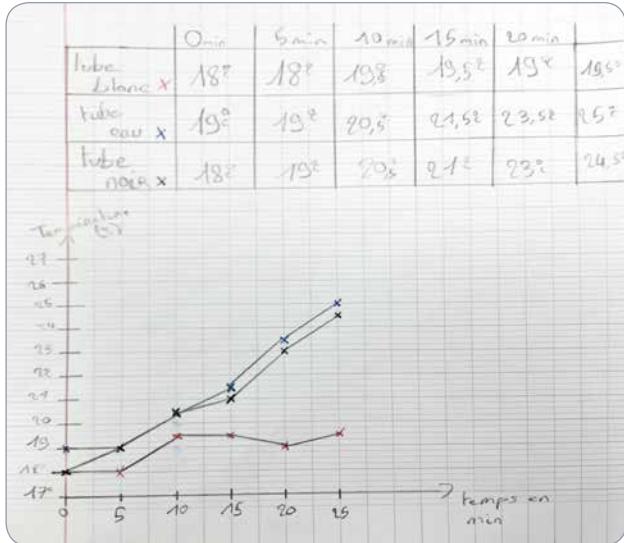
3. Au cours des 20 minutes, demandez aux élèves de tracer deux graphiques, un pour le récipient foncé, l'autre pour le récipient blanc, représentant

ÉCLAIRAGE SCIENTIFIQUE

Comme nous l'avons vu de la pages 9 à 11 de l'Éclairage scientifique général, la température d'équilibre à la surface du globe dépend en grand partie de l'énergie solaire que notre planète reçoit. Dans les séances B1 et B2, nous avons constaté que le rayonnement entrant, qui est absorbé par la surface de la Terre, est partiellement réémis sous la forme d'un rayonnement infrarouge. Toutefois, une partie de ce rayonnement n'est pas absorbée par la surface et est réfléchie directement vers l'espace.

Prenez un instant pour réfléchir à la couleur de la surface du globe : elle n'est pas uniforme ; il suffit d'observer l'océan, les montagnes enneigées, les forêts ou les plages de sable pour le constater. Plus sa surface est blanche, plus elle renvoie l'énergie solaire vers l'espace. **La blancheur est mesurée par une valeur appelée l'albédo.** La glace et la neige fraîche ont un albédo élevé (entre 40 et 80%), tandis que l'eau de l'Océan Arctique présente un albédo faible (<10%). Lorsque la glace blanche fond et disparaît dans l'océan, la surface plus foncée ainsi dégagée absorbe davantage d'énergie, ce qui réchauffe encore l'océan et accentue la fonte, créant par conséquent davantage de surface foncée, et ainsi de suite. On appelle cet effet d'amplification une **rétroaction positive**.

Le système climatique présente deux types de rétroactions : positive (accélération du changement) et négative (décélération du changement). Par ces rétroactions, de petits bouleversements de certaines composantes du système climatique peuvent avoir des répercussions considérables et déstabiliser l'ensemble de l'équilibre actuel du système.



Graphiques représentant l'évolution de la température au sein des deux récipients utilisés pour l'expérience (A) ci-dessus.

l'évolution de la température. En comparant les deux, ils s'apercevront d'une part que la température du récipient foncé augmente plus vite que celle du récipient blanc, et d'autre part, que la température à la fin de l'expérience est plus élevée dans le récipient foncé.

4. Discutez des résultats avec les élèves. Demandez-leur par exemple: *par une magnifique journée d'été, que préfériez-vous porter: un t-shirt blanc ou un t-shirt noir? Ou, que se passe-t-il lorsqu'une voiture stationne au soleil au beau milieu de l'été? La couleur du véhicule ou des sièges fait-elle une différence?* Les élèves s'apercevront mieux du lien entre les conclusions de leurs expériences s'ils les comparent à leur vie quotidienne.

CONCLUSION 20 MIN

Écrivez au tableau le terme «albédo» et indiquez aux élèves que la glace présente un albédo plus élevé que l'eau de mer. Demandez-leur de définir le terme «albédo» en se basant sur les résultats observés pendant l'expérience. Vous obtiendrez peut-être les réponses suivantes: une surface a un albédo élevé lorsqu'elle reflète/renvoie bien la lumière du Soleil.

Rappelez les conclusions de la séance C1: de grandes surfaces de glace – calottes glaciaires, banquise, glaciers – fondent sous l'effet du changement climatique. Demandez aux élèves: *que déduisez-vous des expériences menées avec les récipients clair et foncé quant aux répercussions de la fonte des glaces? Quelle est la particularité de la glace?* À ce stade, les élèves comprendront que le

recul total ou partiel de la banquise est un moteur du réchauffement de l'océan.

La discussion doit permettre d'identifier l'existence d'une **boucle de rétroaction positive**: plus la température atmosphérique augmente, plus l'océan se réchauffe et plus la glace fond, donc plus l'albédo diminue, et ainsi de suite. Vous pouvez demander à vos élèves de dessiner la boucle au tableau et discuter des nombreuses rétroactions distinctes du système climat-océan-cryosphère qui conditionnent fortement notre climat.

Dans cette séance, l'effet de l'albédo a principalement été traité sous l'angle de la fonte de la banquise, mais les glaciers et la calotte glaciaire ont également un albédo élevé: en fondant, leur couleur est modifiée et passe du blanc à la couleur de la roche/du sol en-dessous, ce qui réchauffe la cryosphère environnante et accélère la fonte. Dans certaines régions d'Europe, comme en Suisse, ou dans les Andes, des habitants recouvrent les glaciers de couvertures blanches pour réduire leur fonte en été.

→ CONSEIL À L'ENSEIGNANT

Les élèves demanderont peut-être si le réchauffement climatique provoquera davantage d'évaporation de l'eau et donc davantage de nuages (qui sont blancs lorsqu'observés depuis l'espace) entraînant un refroidissement général du fait d'un albédo plus important. C'est en effet ce qu'on appelle une rétroaction négative, c'est-à-dire un mécanisme qui vise à contrecarrer son forçage initial (plus d'évaporation → plus de nuages → un albédo plus élevé → une baisse de température → moins d'évaporation). C'est l'équilibre entre les rétroactions positives et négatives du système climatique – certaines restant encore inconnues – qui conditionnera l'évolution du climat à venir. Les modèles climatiques essaient de prendre en compte toutes ces rétroactions.

PROLONGATION FACULTATIVE

Étudiez les répercussions de la fonte de la banquise sur les écosystèmes polaires et les peuples indigènes.

→ CONSEIL POUR LE DÉROULEMENT

Faites le lien avec les séances D2 (page 113) et D3 (page 134).



FICHE C3.1

Les deux images montrent l'étendue de la banquise arctique aux mois de septembre en 1979 et en 2015.

→ Qu'observez-vous ?



Source : NASA – <https://svs.gsfc.nasa.gov/4435>

SÉANCE C4

ACIDIFICATION DE L'OCÉAN

DISCIPLINE CONCERNÉE

SVT

DURÉE

- ~ Préparation : 10 min
- ~ Activité : 1 h 30

RÉSUMÉ

Les élèves procèdent à une expérience pour comprendre non seulement le lien entre acidité et pH, mais aussi entre concentration en CO₂ dans l'atmosphère et acidification de l'océan et les répercussions sur les organismes marins.

IDÉES À RETENIR

- ~ L'océan absorbe de plus en plus de CO₂.
- ~ Ils constituent d'importants puits à CO₂, qui ont absorbé près de 30% des émissions anthropiques de CO₂ au cours des 200 dernières années.
- ~ Une fois dissous dans l'océan, le CO₂, par une réaction chimique avec les molécules d'eau, forme de l'acide carbonique et contribue à l'acidification de l'océan.
- ~ Les coquilles des organismes marins se dissolvent dans l'eau acide.
- ~ À mesure que l'océan s'acidifie, reconstruire une coquille devient de plus en plus difficile.
- ~ Les mollusques, le corail, le plancton, les oursins font partie des organismes marins touchés par ce phénomène.

MOTS-CLÉS

Acidification de l'océan, absorption de CO₂, acide carbonique, pH

MÉTHODE D'INVESTIGATION

Expérience



PRÉPARATION 10 MIN

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

- 1 paille et 1 récipient (par groupe)
- 3 coquilles différentes et 3 récipients
- Des liquides pour tester l'acidité : eau, vinaigre, sodas, jus de citron, etc.
- 1 pH-mètre ou 1 kit testeur de pH pour piscines
- Du jus de chou rouge (par groupe).

Ressources multimédia : vidéo (« Acidification de l'océan »). Se référer à la page 192.

EN AMONT DE LA SÉANCE

Téléchargez la vidéo sur le site internet de l'OCE. Se référer à la page 192.

→ CONSEIL À L'ENSEIGNANT

Si vous ne disposez pas de pH-mètre ou de kit testeur de pH pour piscines, vous pouvez préparer du jus de chou rouge de la façon suivante :

- Coupez le chou rouge en petits morceaux, disposez-les dans un récipient et placez le récipient au congélateur quelques heures. Ainsi, la paroi cellulaire du chou rouge va se briser et donner une couleur encore plus intense au jus.
- Versez de l'eau bouillante sur les morceaux de chou rouge. L'eau devient alors violet foncé. Passez le jus de chou rouge au tamis : c'est prêt.
- Pour tester le jus de chou rouge, soufflez dans une paille insérée dans un verre contenant ce mélange et vérifiez si la couleur passe d'un violet foncé à un rose violacé. Si vous ajoutez du vinaigre, la couleur de la solution devrait se transformer en un magenta vif, alors que si vous ajoutez du bicarbonate de soude, le mélange deviendra bleu verdâtre.

Il est recommandé de tester le jus de chou rouge à l'avance pour vous assurer que cela fonctionne. Cela fonctionnera d'autant mieux si vous ne le conservez pas trop longtemps avant de l'utiliser (un jour max.). Si vous le mettez au congélateur, vous pouvez le conserver plusieurs mois.

INTRODUCTION 20 MIN

Demandez aux élèves : *qu'adviert-il de tout ce CO₂ atmosphérique selon vous ? Reste-t-il dans l'atmosphère ? Où peut-il bien aller sinon ?* Certains élèves mentionneront sûrement l'absorption de CO₂ par les plantes, mais ils ne sauront probablement pas qu'une grande partie de ce CO₂ est absorbée par l'océan.

Demandez aux élèves quelles répercussions la dissolution de CO₂ dans l'océan peut avoir. Ils suggéreront peut-être des répercussions sur les animaux marins et la pollution de l'eau. Parlez avec les élèves du fait que l'océan s'acidifie à mesure que la concentration en CO₂ dans l'eau augmente.

Demandez aux élèves de citer certains liquides acides (*vinaigre, jus de citron, etc.*), puis mentionnez le pH-mètre. Sinon, vous pouvez vous servir d'un kit testeur de pH pour piscines ou de jus de chou rouge.

→ CONSEIL À L'ENSEIGNANT

Si votre classe a étudié les séances B1, B2 ou B3, les élèves savent déjà que l'augmentation des émissions de CO₂ atmosphériques contribue au réchauffement climatique. Si ce n'est pas le cas, pensez à effectuer une brève recherche documentaire pour présenter cette idée : par ex. analyser le lien entre évolution du CO₂ et évolution de la température mondiale depuis la révolution industrielle. Vous avez étudié dans le cadre des séances précédentes certaines des conséquences du réchauffement climatique. Cela étant dit, une hausse de la concentration en CO₂ atmosphérique a des répercussions autres que le réchauffement de la planète, notamment l'acidification de l'océan.

Souffler pendant quelques minutes dans une paille placée dans un verre d'eau suffit à démontrer que cette hypothèse est exacte. Les élèves peuvent ajouter du sel à l'eau pour qu'elle s'apparente à l'eau de mer. Cela augmente le pH initial de l'eau (le pH de l'eau de mer est d'environ 8). De plus, cela permet de mieux voir la différence de couleur avant et après avoir soufflé dans la paille si vous utilisez du jus de chou rouge comme indicateur pH.



Des élèves procédant aux tests pH.

- Expliquez aux élèves la capacité de l'eau de mer à absorber le CO₂ et en quoi ce phénomène est à l'origine de l'acidification de l'océan. Au cours des 200 dernières années, l'océan a déjà absorbé environ 30% des émissions anthropiques de CO₂.

DÉROULEMENT 1 H

PARTIE 1 (30 MIN) : ACIDIFICATION DE L'OCÉAN

- En groupes, les élèves déterminent le pH de différents liquides (eau, vinaigre, sodas, jus de citron, etc.). Cela leur permet de comprendre le lien entre pH et acidité. Une fois ce lien établi, ils peuvent passer à l'étape suivante.

Demandez aux élèves : *auriez-vous une idée qui permettrait de vérifier si notre hypothèse selon laquelle une hausse du CO₂ implique une acidité plus forte de l'océan est correcte ?*



En soufflant dans une paille, les élèves ajoutent du CO₂ à l'eau.

PARTIE 2 (30 MIN) : LES CONSÉQUENCES DE L'ACIDIFICATION DE L'OCÉAN SUR LES ORGANISMES MARINS

3. Demandez aux élèves: *quelles répercussions cela peut-il avoir sur les organismes marins vivant dans l'océan ?* Parmi les réponses courantes : le CO₂ empoisonne ou asphyxie les organismes marins ou provoque des malformations : ils ne se reproduisent plus ou se reproduisent moins, etc.

4. Demandez aux élèves de réfléchir à une expérience qui démontrerait si la présence d'acide peut nuire aux organismes marins. La solution est la suivante : il suffit d'utiliser des restes ou des cadavres d'animaux (coraux, coquilles, etc.). Avant de mener cette expérience, demandez aux élèves d'anticiper les résultats. Voici quelques hypothèses que soulèveront probablement les élèves :

- Dans le vinaigre, la coquille se brisera en plusieurs morceaux.
- Des trous se formeront dans la coquille.
- La coquille se décolorera.
- La coquille disparaîtra.
- Il n'y aura aucune différence visible entre l'eau et le vinaigre.

5. L'expérience pourrait ressembler à ça :

→ Disposez trois coquilles (ou quelque chose y ressemblant) dans trois solutions : une avec de l'eau (l'expérience témoin), une avec du vinaigre dilué dans de l'eau et une avec du vinaigre pur. Après quelques minutes, les coquilles commencent à se dissoudre : des bulles apparaissent, l'eau devient opaque. Demandez aux élèves : *De quoi sont faites les bulles ?* Elles sont faites en dioxyde de carbone, produit lorsqu'un acide (le vinaigre) réagit au contact du carbonate de calcium des coquilles. Si vous laissez la coquille toute la nuit dans le vinaigre, celle-ci se sera entièrement dissoute.

→ Les élèves doivent être conscients que dans cette expérience la réalité est exagérée : le vinaigre est bien plus acide que l'eau de mer, puisque celui-ci a un pH de 2 à 3, tandis que l'eau de mer présentait en 2013 un pH d'environ 8,05.

→ CONSEIL À L'ENSEIGNANT

Les coquilles n'ont pas toutes la même composition chimique ; en fonction de leur teneur en carbonate de calcium, la réaction au contact du vinaigre peut être différente : il y aura plus ou moins de bulles.



Des coquilles se dissolvant dans du vinaigre



Des élèves observant les effets du vinaigre sur des coquilles.

ÉCLAIRAGE SCIENTIFIQUE

Nous avons vu de quelle façon le CO₂ contribue au réchauffement climatique. Cependant, il existe une autre conséquence considérable à la concentration croissante de CO₂ dans l'atmosphère: l'absorption accrue du CO₂ par l'océan provoquant l'**acidification de l'océan**.

ACIDITÉ ET PH

Un **acide** est une substance qui, une fois dissoute dans l'eau, augmente la quantité d'ions H⁺. Ces ions extrêmement réactifs sont impliqués dans de nombreuses réactions chimiques. Par exemple, une solution acide peut dissoudre certains composés chimiques.

Le **pH** est une unité qui mesure la concentration en ions H⁺. Il s'agit d'une échelle logarithmique: une solution avec un pH=6 est 10 fois plus acide qu'une solution avec un pH=7, qui est elle-même 10 fois plus acide qu'une solution avec un pH=8. Une solution est considérée comme étant acide si son pH est inférieur à 7, neutre si son pH est égal à 7 et basique ou alcaline si son pH est supérieur à 7.

ACIDIFICATION DE L'OCÉAN

Comme nous l'avons vu en détail à la page 19 de l'Éclairage scientifique général, environ un quart des 40 milliards de tonnes de CO₂ émises chaque année par l'activité humaine est absorbé par l'océan. Il est en partie absorbé dans l'eau par le phytoplancton, en partie séquestré par les plantes et sédiments des écosystèmes côtiers riches en végétation (voir la séance C2, page 83), et en partie dissous dans l'océan. Une fois dissous dans l'eau de l'océan, le CO₂ réagit avec les molécules d'eau, H₂O, pour former de l'**acide carbonique**, H₂CO₃.

Cette réaction est réversible, mais si la quantité de CO₂ est trop élevée, de l'acide carbonique est produit en majorité. S'en suit naturellement la dissolution de l'acide carbonique en ions H⁺ et en ions bicarbonate HCO₃⁻, réaction qui contribue progressivement à l'acidification de l'océan, du fait de la concentration plus importante en ions H⁺ et de la diminution du pH qui en découle.

Les organismes marins à **exosquelettes**¹ ou **coquilles** se servent du **carbonate de calcium** (CaCO₃), résultat de la réaction d'ions carbonate et d'ions calcium, pour produire leur carapace.

En cas d'excès d'ions H⁺, comme c'est le cas dans un océan acide, les ions CO₃²⁻ auront tendance à s'associer de préférence avec les ions H⁺ plutôt qu'avec les ions Ca²⁺, empêchant la réaction précédente de se produire. Il devient alors difficile pour certains organismes marins, les espèces marines calcifiantes, de former leur coquille ou squelette faute de carbonate de calcium. De plus, si la concentration en ions H⁺ est si élevée qu'ils ne peuvent plus trouver d'autres ions auxquels s'associer, cela peut alors aller jusqu'à entraîner la séparation des molécules CaCO₃ présentes dans les coquilles et exosquelettes de ces organismes, contribuant ainsi à leur dégradation progressive. Dans ce cas, on dit que les coquilles se «dissolvent» dans la solution acide. L'absorption de CO₂ par l'océan a par conséquent un **double impact** sur les organismes marins: elle **complique la formation de nouveaux exosquelettes et coquilles** et peut **détériorer ceux déjà existants**.

Le pH moyen à l'échelle du globe a chuté d'environ 0,1 unité depuis la révolution industrielle pour atteindre 8,05 en 2013. Une légère hausse de l'acidité de l'océan (même si le pH de l'eau de mer reste supérieur à 7) suffit à se répercuter sur les calcifiants marins à diverses étapes de leur développement. L'expérience menée dans cette séance avec les coquilles et le vinaigre montre les répercussions poussées à l'extrême – le pH du vinaigre étant bien inférieur au pH réel de l'eau de mer – de l'acidification de l'océan sur ces organismes à des fins éducatives.

Le pH de l'eau de mer devrait diminuer de 0,3 à 0,4 unités d'ici à 2100 en fonction des émissions à venir. De ce fait, de nombreuses espèces, notamment coralliniennes, sont menacées. Les répercussions se feront sentir directement sur la biodiversité marine, mais aussi sur l'économie et la sécurité alimentaire de l'espèce humaine.

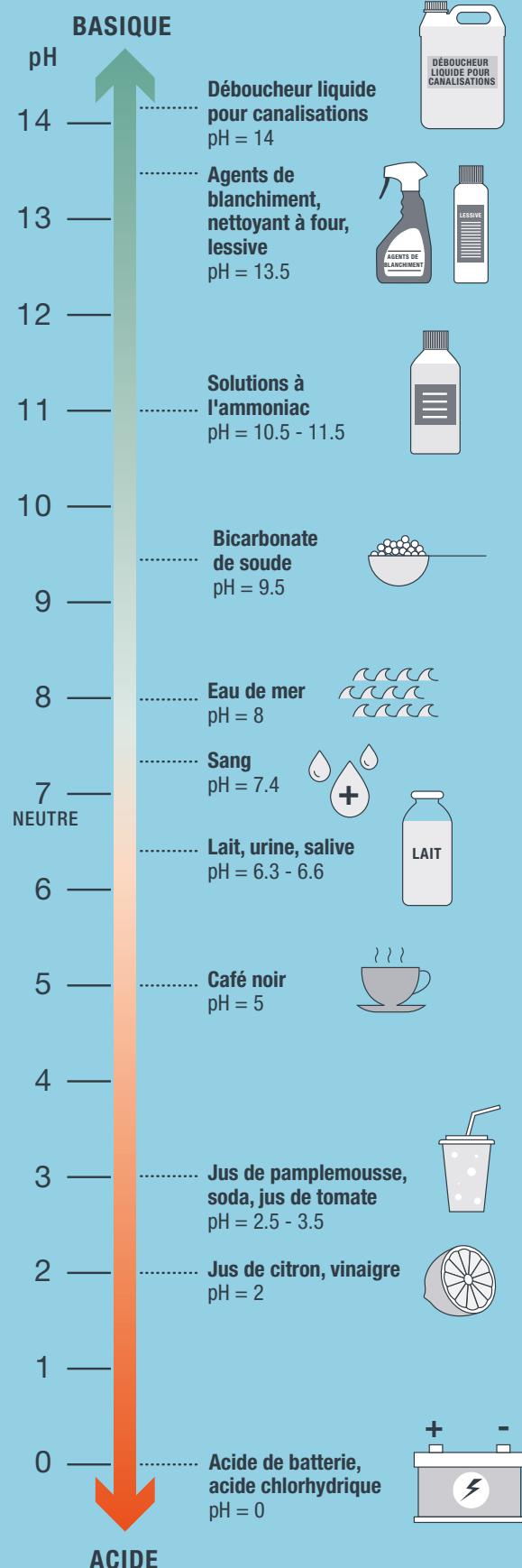
¹ Un exosquelette est un squelette externe, que l'on retrouve à l'extérieur du corps plutôt qu'à l'intérieur. Les êtres humains par exemple ont un squelette interne, alors que le crabe dispose d'un exosquelette.

CONCLUSION 10MIN

Pour conclure, diffusez la vidéo montrant les répercussions de l'acidification de l'océan sur les coquilles de plancton et de coraux. La classe devra ensuite tirer une conclusion collective sur les répercussions de l'acidification de l'océan sur les organismes marins : l'acidification de l'océan peut non seulement nuire aux organismes marins, mais elle peut aussi empêcher la formation de la matière nécessaire à la formation de leur coquille ou exosquelette, le carbonate de calcium.

➔ CONSEIL POUR LE DÉROULEMENT

Vous pouvez passer directement à la séance D2 si vous pensez que les élèves aimeraient directement comprendre les potentielles répercussions de l'acidification de l'océan sur les écosystèmes (impacts sur les réseaux trophiques).



Différents exemples de solutions et leur position sur l'échelle du pH

SÉANCE C5 LES COURANTS MARINS RÉGULENT LE CLIMAT (POUR LES ÉLÈVES AVANCÉS)

DISCIPLINE CONCERNÉE

SVT

DURÉE

- ~ Préparation : 15 min
- ~ Activité : 1 h 30

RÉSUMÉ

Les élèves mènent deux expériences pour comprendre que des différences de densité de l'eau de mer peuvent influencer les courants océaniques. L'analyse d'une carte de circulation thermohaline permet de comprendre l'influence des courants marins sur le climat à l'échelle mondiale.

IDÉES À RETENIR

- ~ L'eau douce est moins dense que l'eau salée; l'eau chaude moins dense que l'eau froide. L'eau moins dense monte, tandis que l'eau plus dense plonge.
- ~ Un échange de chaleur et d'eau s'opère entre l'océan, la terre et l'atmosphère. Le Soleil est le principal moteur de la circulation océanique et atmosphérique.
- ~ La circulation thermohaline, entraînée par les différences de densité, agit en quelque sorte comme un tapis roulant transportant l'eau de l'océan à travers les bassins océaniques.
- ~ Les courants marins jouent un rôle clé dans la régulation des climats régional et mondial.
- ~ Toute modification dans la circulation océanique bouleverse sensiblement les climats régionaux et les écosystèmes sur Terre.

MOTS-CLÉS

Densité, salinité, circulation thermohaline, courants marins, régulation climatique

MÉTHODE D'INVESTIGATION

Expérience et analyse documentaire

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

- **FICHE C5.1**
- Des bacs remplis d'eau à température ambiante et une éponge (une par groupe)
- 3 petits récipients (bouteille, tasse de thé, autre)
- 1 bouilloire
- De l'eau froide
- Des colorants alimentaires
- Du sel



Ressources multimédia: vidéos (« Circulation thermohaline » et « El Niño »).

EN AMONT DE LA SÉANCE

1. Imprimez la FICHE C5.1 (une par groupe).
2. Réfrigérez l'eau la veille.
3. Téléchargez les vidéos sur le site internet de l'OCE. Se référer à la page 192.

INTRODUCTION 20 MIN

Distribuez une carte de la circulation thermohaline (FICHE C5.1) par groupe et demandez aux élèves la signification du bleu et du rouge – respectivement l'eau froide et l'eau chaude – et la direction des flèches, symbolisant les eaux plongeantes et les eaux montantes. *Qu'est-ce qui est représenté sur la carte ? La carte montre le brassage de l'eau dans l'océan: les courants océaniques. Qu'arrive-t-il à l'eau chaude lorsqu'elle atteint les pôles ?*

DÉROULEMENT 50 MIN

PARTIE 1 (30 MIN): LES COURANTS THERMIQUES

1. Demandez aux élèves de concevoir une expérience qui leur permette de tester ce qu'il se passe dans une région en cas de refroidissement ou de réchauffement de l'océan. Une fois le protocole validé, demandez aux élèves d'anticiper les résultats.
2. Les élèves, divisés en petits groupes, peuvent procéder ainsi:
 - Remplir un bac d'eau à température ambiante pour représenter l'océan.
 - Remplir un petit récipient d'eau chaude colorée en rouge (on associe généralement le rouge à la « chaleur »). Vous pouvez utiliser une bouilloire, mais l'eau ne doit pas être portée à ébullition.
 - Placer une éponge à la surface de l'eau peut être judicieux: l'éponge absorbe l'eau chaude avant de la relâcher, lui permettant ainsi de rester à la surface.

PRÉPARATION 15 MIN

ÉCLAIRAGE SCIENTIFIQUE

Les courants et la circulation océaniques jouent un rôle central dans la régulation du climat et de la vie marine car ils transportent la chaleur, le carbone, l'oxygène et les nutriments dans l'océan. La circulation océanique mondiale peut être divisée en deux composantes majeures: i) les courants de surface, rapides, régis par le vent et ii) les courants lents, des grands fonds marins. Ces deux composantes interviennent simultanément et contribuent à la «circulation méridionale de renversement», à savoir le brassage de l'eau de mer dans les bassins et en profondeur.

Dans cette séance, nous nous concentrerons sur la circulation océanique lente des grands fonds marins. On qualifie parfois cette composante de «circulation thermohaline», du fait de sa sensibilité aux variations de température (du grec «thermo» qui signifie «chaud») et de salinité (du grec «halinos» qui signifie «salé»), deux éléments qui

jouent sur la densité¹ de l'eau de mer. **Plus l'eau de mer est froide ou salée, plus elle gagne en densité et plus l'eau «plonge» en profondeur** à travers un processus qualifié de «brassage vertical». Ce processus a principalement lieu dans les hautes latitudes, où la perte de chaleur dans l'atmosphère et la formation de la banquise conduisent à des variations considérables de la température et de la salinité. Les courants marins de surface ont des effets considérables sur les températures et conditions de vie côtières. Le Gulf Stream en est la preuve; on doit notre climat tempéré européen à ses vents d'ouest.

Pour en savoir plus sur le rôle des courants océaniques sur le système climatique et les effets du changement climatique sur la circulation de renversement, référez-vous respectivement aux pages 10 et 20 de l'Éclairage scientifique général.

¹ La densité d'un objet se définit par le rapport entre sa masse et son volume (la masse divisée par le volume). Par convention, l'eau a une densité égale à 1. Un objet avec une densité >1 va alors couler, tandis qu'un objet avec une densité <1 va flotter.

- Remplir un autre petit récipient d'eau froide colorée en bleu (on associe souvent le bleu au «froid»).
- Verser l'eau froide sur l'éponge dans le bac et observe ce qu'il se passe. L'eau bleue plonge au fond du récipient.



L'eau froide plonge au fond du récipient.

3. Demandez aux élèves: *l'eau chaude et l'eau froide réagissent-elles de la même manière dans l'océan ?*

➔ REMARQUE À DESTINATION DES ENSEIGNANTS

L'eau froide est plus dense que l'eau chaude, on peut donc penser qu'elle est plus «lourde». Le terme de densité sera intégré à la fin de la séance.

PARTIE 2 (20 MIN): LES COURANTS DE SALINITÉ

4. Les élèves peuvent répéter l'expérience en remplaçant à chaque fois l'eau chaude et l'eau froide par de l'eau salée:
Un petit récipient rempli d'eau dans lequel on a fait dissoudre une grande quantité de sel (par ex. pour une tasse d'eau versée, dissoudre 5 cuillères à café de sel).
5. Les élèves versent l'eau salée sur l'éponge et observent ce qu'il se passe. L'eau salée étant plus dense que l'eau douce, elle plonge.

Les expériences ci-dessus peuvent paraître toute simples, mais elles provoquent généralement surprise et émerveillement: les élèves voient l'eau «monter» ou «plonger»! Pourquoi? Et bien parce que l'eau froide et l'eau salée sont plus denses que l'eau chaude et l'eau douce, respectivement. Si les élèves se sont déjà familiarisés avec la flottabilité, ils peuvent mettre leurs connaissances en application dans le cadre de ces expériences.

→ CONSEIL À L'ENSEIGNANT

À masse égale, l'eau plus dense possède un volume inférieur. C'est pourquoi elle plonge sous une couche d'eau moins dense. La densité se définit comme suit:

$$\text{Densité} = \frac{\text{Masse}}{\text{Volume}}$$

Ceci peut se vérifier de façon expérimentale avec une balance précise: pesez un volume équivalent d'eau chaude et d'eau froide. Vous verrez que l'eau chaude a une masse inférieure car elle est moins dense.

CONCLUSION 20 MIN

Observez une fois de plus la circulation thermohaline sur la carte. Aux pôles, qui correspondent aux régions les plus froides, les courants plongent dans les grands fonds marins. Posez la question suivante aux élèves: *pourquoi les courants plongent-ils en profondeur aux pôles?* Les élèves répondront probablement que l'eau froide en est un facteur, ce qui est en partie vrai.

→ CONSEIL À L'ENSEIGNANT

En réalité, la réponse à cette question est très complexe (se référer à l'éclairage scientifique). Dans ce cours, nous n'analyserons que deux des principales forces motrices des courants océaniques.

Posez-leur la question suivante: *Mise à part la faible température de l'eau, une autre raison explique ce phénomène. Laquelle?* Ayant appris que l'eau salée plonge dans l'eau douce, ils répondront peut-être que ce phénomène se produit aussi car l'eau est plus salée, bien que cette idée puisse paraître contre-intuitive.

La question qui en découle est la suivante: *pourquoi l'eau est-elle plus salée à proximité des pôles?* Ne pensez-vous pas qu'avec toute l'eau douce issue de la fonte de la banquise, l'eau serait moins salée? Cette question pourrait désarçonner les élèves, ne sachant pas d'où peut provenir le sel.

Posez-leur la question suivante: *comment se forme la banquise?* Ils répondront: de l'eau de mer qui a gelé. À ce stade, informez les élèves que la banquise n'est pas salée, à l'exception des poches d'eau salée¹ emprisonnées dans la glace.

Posez-leur ensuite la question suivante: *l'eau de mer est salée alors que la banquise ne l'est pas. Lorsque la banquise se forme, où va donc le sel?* Il se dissout dans l'eau environnante. *Que se passe-t-il quand l'eau devient plus salée?* Sa densité augmentant, elle plonge. Il y a donc deux raisons qui expliquent que l'eau sombre à proximité des pôles: elle plonge parce qu'elle est plus froide, mais aussi parce qu'elle est plus salée.

Expliquez aux élèves le rôle majeur que jouent les courants marins dans le climat à l'échelle mondiale: ils transportent par exemple la chaleur depuis l'équateur jusqu'aux pôles. Discutez de l'incidence du changement climatique sur les courants marins et des conséquences qui en découlent pour le climat de différentes régions. Le changement climatique se répercute sur les courants marins car il bouleverse sa température et son degré de salinité (par la fonte de la banquise, par exemple).

Le rôle de l'océan dans la régulation du climat sera présenté à nouveau dans la séance C6 (page 102).

PROLONGATION FACULTATIVE

Les collégiens pourront étudier le phénomène El Niño, qui constitue un bon exemple de l'incidence majeure des courants marins sur le climat à l'échelle mondiale.

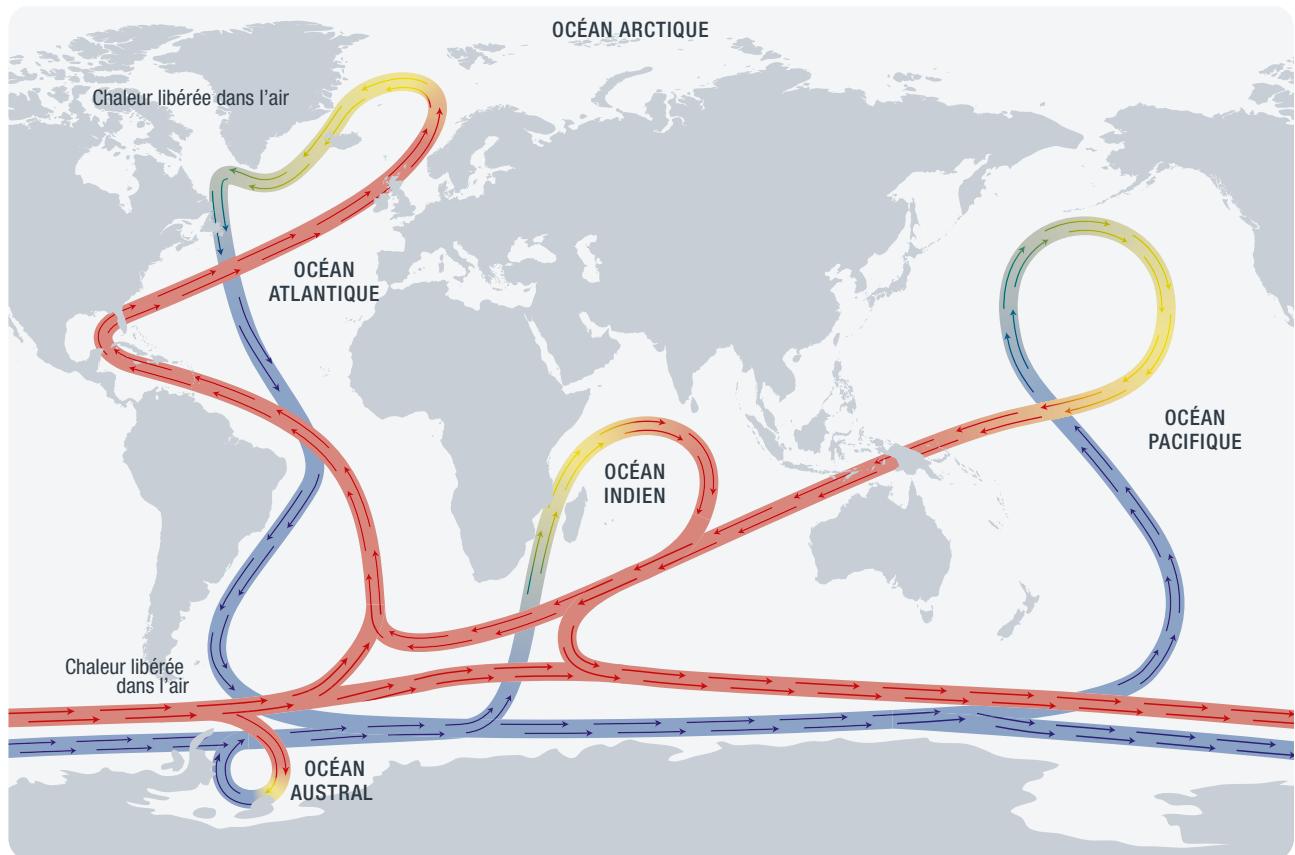
Une vidéo sur le phénomène El Niño est disponible sur le site internet de l'OCE. Voir page 192.

¹ Ces poches d'eau salée se composent d'une solution aqueuse à forte concentration en sel.

FICHE C5.1



L'image ci-dessous illustre l'itinéraire de la circulation thermohaline: les courants de profondeurs, froids et salés, sont représentés en bleu; tandis que les courants de surface chauds sont représentés en rouge. Enfin, le jaune montre les régions où les courants « plongent » et « refont surface ».



Courant profond, froid et salin

Courant peu profond et chaud

Régions où les courants "plongent" ou "refont surface"

La circulation thermohaline est la circulation océanique à grande échelle engendrée par les différences de densité de l'eau de mer

Le Gulf Stream et son prolongement, le courant nord atlantique, est un courant océanique de surface chaud. Il circule depuis la Floride vers le nord-est, d'abord le long de la côte est de l'Amérique du nord, puis à travers l'Atlantique en direction de l'Europe. Alors qu'il s'achemine vers le nord, le courant réchauffe l'air à la surface de l'océan et son eau se refroidit. En outre, à cause de l'évaporation d'une partie de l'eau de ce courant de surface, sa salinité augmente.

À deux endroits du courant nord atlantique, au nord-est de l'Islande et au sud-ouest du Groenland, une partie de l'eau plonge dans les profondeurs de l'océan. Ce phénomène s'explique d'une part par la différence de température et d'autre part par le degré de salinité, plus élevé que la salinité de l'eau environnante à ces deux endroits.

SÉANCE C6

L'INERTIE THERMIQUE DE L'OcéAN ET LA RÉGULATION DU CLIMAT (POUR LES ÉLÈVES AVANCÉS)

DISCIPLINE CONCERNÉE

SVT

DURÉE

- ~ Préparation : 15 min
- ~ Activité : 1 h

RÉSUMÉ

Dans le cadre d'une analyse documentaire et d'une expérience, les élèves découvrent le rôle de l'inertie thermique de l'océan dans la régulation du climat.

IDÉES À RETENIR

- ~ L'océan absorbe la plupart des radiations solaires atteignant la Terre, et environ 70% de la surface terrestre est recouverte d'eau.
- ~ L'océan est un important puits de chaleur, qui a déjà absorbé 90% de la chaleur issue du réchauffement climatique.
- ~ Sa capacité d'absorption ainsi que sa forte inertie thermique contribuent à la régulation du climat à l'échelle régionale et mondiale.
- ~ Sa forte inertie thermique explique pourquoi il se refroidit et se réchauffe lentement.
- ~ L'océan contribue à tempérer le climat le long des côtes, avec des hivers plus doux et des étés plus frais.

MOTS-CLÉS

Inertie thermique, puits de chaleur, régulation du climat

MÉTHODE D'INVESTIGATION

Expérience, analyse documentaire



INTRODUCTION 10 MIN

Entamez une discussion avec les élèves : *Comment l'océan influence-t-il le climat ? On entend souvent parler de « climat océanique ». Qu'est-ce que cela signifie ? Le climat des régions continentales est-il si différent du climat des régions côtières ? Une analyse documentaire permettra de répondre à ces questions.*

DÉROULEMENT 40 MIN

PARTIE 1 (10 MIN) : L'INFLUENCE DE L'OcéAN SUR LES CLIMATS RÉGIONAUX

1. Divisez les élèves en groupes et distribuez un exemplaire de la FICHE C6.1 à chaque groupe, qui devra uniquement porter son attention sur un graphique.
2. Posez la question suivante : *quelles sont les similitudes et les différences entre les courbes de température des deux villes ?* Dans un premier temps, il est probable que les élèves remarquent que, sur toutes les courbes, la température est plus élevée l'été et plus froide l'hiver.
3. Amenez-les à remarquer que la plage de températures entre les maximales (lignes continues) et minimales (lignes pointillées) mais aussi entre les étés et les hivers est plus réduite dans le cas des courbes bleues. Si vous avez une carte, demandez aux élèves d'y repérer chaque ville. *Qu'est-ce que les régions représentées par les courbes rouges ont-elles en commun ? Qu'en est-il de celles représentées par les courbes bleues ?* Les régions bleues sont situées à proximité des côtes, tandis que les régions rouges sont situées à l'intérieur du continent. En d'autres termes, le climat océanique est constitué d'hivers moins rudes et d'été plus frais comparé au climat continental, climat qui est aussi plus sec mais non représenté ici.

PRÉPARATION 15 MIN

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

Pour chaque groupe :

- FICHE C6.1
- 1 kg d'eau par groupe
- 1 kg de sable, de terre et/ou de semoule par groupe
- 2 récipients par groupe

EN AMONT DE LA SÉANCE

Imprimez plusieurs exemplaires de la FICHE C6.1 (une par groupe).

PARTIE 2 (30 MIN) : L'INERTIE THERMIQUE DE L'EAU

4. À partir de la discussion précédente, posez la question suivante aux élèves: *si l'air est très chaud, lequel de l'océan ou du continent se réchauffera en premier?* Proposez-leur d'imaginer une expérience pour tester leurs hypothèses.

5. Les groupes mènent par exemple l'expérience qui suit:

- Placer la même quantité d'eau et de sable/terre/semoule) dans deux récipients semblables.
- Placer les récipients près d'un radiateur.
- Mesurer et relever la température des deux récipients toutes les 5 minutes pendant une demie-heure.

CONSEIL À L'ENSEIGNANT

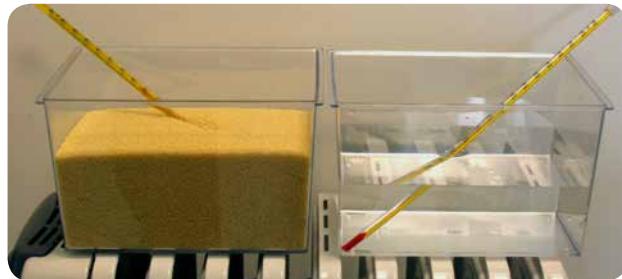
Exemple de mesure: la température d'1 kg de semoule a augmenté de 17°C en environ 30 min. Entre-temps, la température du même volume d'eau (1 kg) a augmenté de seulement 6°C.

Au lieu de placer les récipients près d'un radiateur, on peut les placer dans un réfrigérateur, de préférence à la même hauteur pour s'assurer que la température soit la même. Mesurez le temps qu'il faut pour que l'eau et l'autre élément se refroidissent. L'eau se refroidit plus lentement.

CONCLUSION 10 MIN

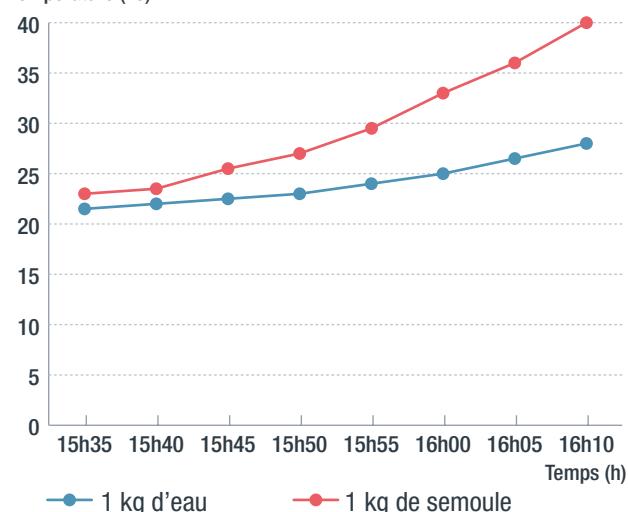
Discuter des résultats observés. La vitesse à laquelle un élément ajuste sa température à la température ambiante s'appelle l'**inertie thermique**. En quoi explique-t-elle que les villes côtières affichent un réchauffement ou un refroidissement moindre que les villes continentales? La température de l'océan ne varie pas autant que la température terrestre; l'océan se réchauffe ou se refroidit moins vite. Les élèves peuvent en déduire que: «L'océan est moins sensible aux variations de température que les continents (meilleure inertie thermique), ce qui explique le climat plus tempéré des régions côtières».

Pour aller plus loin, demandez aux élèves: *à votre avis, lequel de l'océan ou des continents est capable d'absorber davantage de chaleur avant d'atteindre la même température finale?* Réponse: l'océan. Rappelez la première séance sur le changement climatique et posez la question suivante aux élèves: *comment pensez-vous que l'océan réagira à l'augmentation des températures mondiales?* La température atmosphérique a augmenté d'1°C depuis l'ère préindustrielle, tandis que la température de la surface de l'océan a augmenté de seulement 0,6°C. Or, 90% de cet excès d'énergie est stocké dans l'océan, contre 1% dans l'atmosphère.



Le réchauffement de deux récipients: celui de gauche est rempli de semoule (courbe rouge sur le graphique), tandis que celui de droite est rempli d'eau (courbe bleue sur le graphique).

Température (°C)



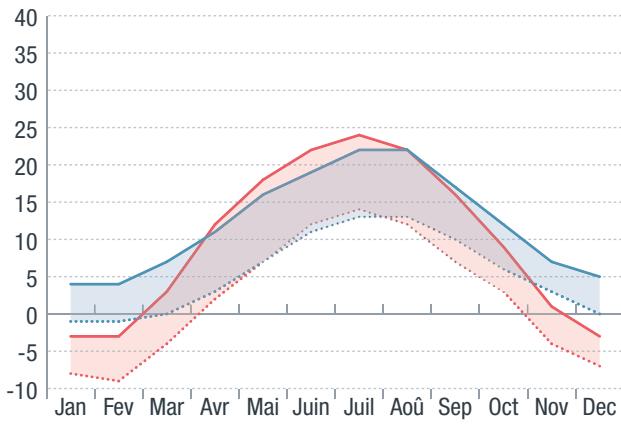
ÉCLAIRAGE SCIENTIFIQUE

L'inertie désigne la propriété de toute substance à résister aux changements. L'eau à l'état liquide possède une forte résistance face aux variations thermiques: on dit qu'elle a une forte inertie thermique. Cela signifie que l'eau de mer est capable d'absorber une quantité importante d'énergie avant de se réchauffer et, inversement, de libérer une grande quantité d'énergie avant de se refroidir. Cette propriété contribue à atténuer les variations climatiques locales et permet d'expliquer la différence considérable entre le climat océanique, avec des hivers moins rudes et des étés plus frais, et le climat continental, où les différences de températures quotidiennes et saisonnières sont plus grandes). Cependant, cette forte inertie thermique ainsi que l'immense masse volumique de l'océan signifient également que, même si l'espèce humaine cesse d'émettre des gaz à effet de serre et que l'océan absorbe moins de chaleur, il faudrait des millénaires à l'océan pour se refroidir et retrouver sa température de l'ère préindustrielle.

FICHE C6.1

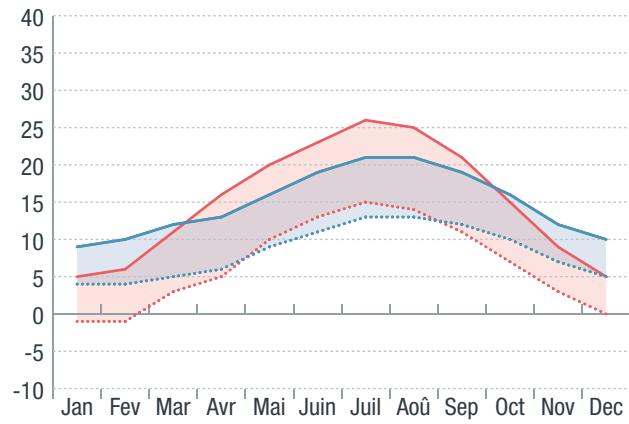


- Quelles sont les similitudes et les différences entre les courbes de température des deux villes sur chaque graphique ?
- D'après vous, quelles en sont les raisons ?



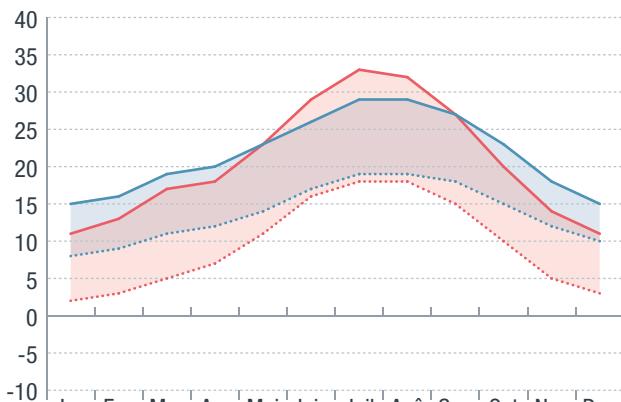
COPENHAGUE — Temp. max. (°C) Temp. min. (°C)

MOSCOU — Temp. max. (°C) Temp. min. (°C)



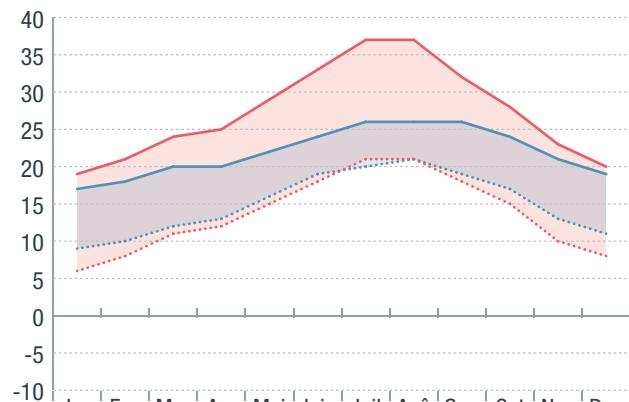
BREST — Temp. max. (°C) Temp. min. (°C)

STRASBOURG — Temp. max. (°C) Temp. min. (°C)



LISBONNE — Temp. max. (°C) Temp. min. (°C)

MADRID — Temp. max. (°C) Temp. min. (°C)



CASABLANCA — Temp. max. (°C) Temp. min. (°C)

MARRAKECH — Temp. max. (°C) Temp. min. (°C)

Source : données Météofrance

Repérer les différentes villes sur la carte.
Remarquer que chaque paire de villes est située sur une latitude similaire.

- À quelle distance de la mer se situent-elles ?



SÉQUENCE D

POURQUOI L'OCÉAN ET LA CRYOSPHERE SONT-ILS, POUR NOUS, UNE RESSOURCE VITALE ?

Très souvent, pour comprendre pourquoi il faut prendre soin de quelque chose, il faut d'abord comprendre pourquoi cette chose importante pour nous. C'est la raison pour laquelle cette séquence se concentre sur l'importance de préserver l'équilibre de l'océan et de la cryosphère, principalement du point de vue de l'humanité.

La première séance présente une nouvelle fois les conséquences du changement climatique sur les écosystèmes de l'océan et de la cryosphère, sans

oublier les services écosystémiques qu'ils nous rendent. Les réseaux trophiques des différents écosystèmes polaires et marins occupent une place toute particulière dans la deuxième séance. La troisième séance, que nous vous conseillons vivement d'adapter à votre contexte local, vise à aider les élèves à réaliser que certains services écosystémiques sont liés non seulement aux moyens de subsistance de base, mais aussi aux patrimoines culturels, historiques et spirituels.

LISTE DES SÉANCES

Séances principales

Séances facultatives

<input checked="" type="radio"/>	D1	Pourquoi a-t-on besoin de l'océan et de la cryosphère ? SVT Les élèves construisent un scénario conceptuel destiné à illustrer les services que l'océan et la cryosphère rendent à l'écosystème. Ils étudient les répercussions du changement climatique sur ces services écosystémiques.	page 106
<input checked="" type="radio"/>	D2	Réseaux trophiques et écosystèmes SVT Les élèves étudient les réseaux trophiques marins et polaires dans le cadre d'un jeu de rôle. Ils apprennent qu'au sein des écosystèmes, tous les organismes interagissent entre eux et dépendent les uns des autres pour survivre.	page 113
<input type="radio"/>	D3	L'activité humaine, l'océan et la cryosphère Sciences sociales/Arts visuels et du spectacle Cette partie est à adapter au contexte local. Un exemple est fourni. Dans le cadre d'une recherche documentaire et/ou d'une création artistique/d'un spectacle, les élèves découvrent l'importance culturelle de l'océan et de la cryosphère pour les communautés humaines à travers l'histoire.	page 134

SÉANCE D1

POURQUOI A-T-ON BESOIN DE L'OCÉAN ET DE LA CRYOSPHERE ?

DISCIPLINE CONCERNÉE

SVT

DURÉE

- ~ Préparation : 25 min
- ~ Activité : 1 h 30

RÉSUMÉ

Les élèves construisent un scénario conceptuel destiné à illustrer les services que l'océan et la cryosphère rendent à l'écosystème. Ils étudient les répercussions du changement climatique sur ces services écosystémiques.

IDÉES À RETENIR

- ~ L'espèce humaine dépend des différents services écosystémiques rendus par l'océan et la cryosphère : l'oxygène, la nourriture, l'eau douce, la régulation du climat, la protection du littoral, les services côtiers.
- ~ Le système terrestre est un système complexe dont tous les éléments sont interconnectés.
- ~ Le changement climatique précipité par l'activité humaine a des répercussions sur l'océan et la cryosphère, mais aussi sur les moyens de subsistance de l'espèce humaine.

MOTS-CLÉS

Services écosystémiques, système complexe, activité humaine, moyens de subsistance de l'espèce humaine

MÉTHODE D'INVESTIGATION

Analyse documentaire

PRÉPARATION 25 MIN

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

- FICHES D1.1, D1.2, D1.3
- Une grande feuille de papier pour que les élèves puissent y coller leurs images
- De la colle

EN AMONT DE LA SÉANCE

Imprimez les FICHES D1.1 et D1.2 (un exemplaire par groupe de 3 ou 4 élèves). Imprimez un seul exemplaire des vignettes en plus de la FICHE D1.3 (chaque groupe a droit à une vignette différente).



→ CONSEIL À L'ENSEIGNANT

Ce cours a deux objectifs principaux : 1) revoir les liens entre le changement climatique et les écosystèmes de l'océan et de la cryosphère présentés lors des séances précédentes, et 2) comprendre dans quelle mesure ces liens impliqueront d'autres répercussions graves sur les services écosystémiques rendus et sur les moyens de subsistance des populations humaines.

INTRODUCTION 20 MIN

Commencez par demander aux élèves de réfléchir aux différents effets du changement climatique sur l'océan et la cryosphère qui ont fait l'objet des précédentes séances et notez chaque concept au tableau. Certains des concepts suggérés par les élèves devraient correspondre aux vignettes fournies dans la FICHE D1.1.

→ CONSEIL À L'ENSEIGNANT

Par «concept», on entend une phrase affirmative qui reprend une idée que les élèves doivent retenir. Celle-ci doit être validée par la communauté scientifique et non pas consister une simple représentation schématique. Un concept = une phrase. Il ne s'agit ni d'un mot-clé, ni d'une question, ni encore d'une «notion», qui tend à faire appel à l'intuition. Exemple : «La concentration de CO₂ dans l'atmosphère augmente».

Poursuivez en discutant avec les élèves des raisons pour lesquelles ces changements qui affectent l'océan et la cryosphère sont problématiques. *Pourquoi nos vies dépendent-elles de l'océan et de la cryosphère ?* Notez les réponses au tableau, une fois de plus sous la forme de concepts. Certains des concepts évoqués par les élèves correspondront certainement aux vignettes fournies dans la FICHE D1.2.

DÉROULEMENT 40 MIN

1. Divisez la classe en groupes et donnez-leur la liste des concepts nécessaires à la constitution de la première partie du scénario conceptuel (les vignettes « Mécanismes », FICHE D1.1). Si certains des concepts suggérés par les élèves sont pertinents mais ne figurent pas dans la liste, faites-leur ajouter une vignette pour chaque nouveau concept proposé, sous réserve de validation par la classe. Afin de gagner du temps ou pour vous adapter à vos propres objectifs, vous pouvez découper au préalable les « vignettes de concepts » inclus dans la liste.

2. Demandez aux élèves de classer les vignettes selon un ordre logique et d'indiquer les liens entre les concepts par des flèches signifiant « conduit à » et « résulte de ».

3. Une fois que les vignettes « Mécanismes » sont classées selon un ordre logique, donnez aux élèves les vignettes « Services », FICHE D1.2.

CONSEIL À L'ENSEIGNANT

En fonction du niveau de vos élèves, vous pouvez leur donner d'abord les vignettes « Mécanismes » puis celles des « Services », ou alors leur distribuer en même temps.

4. Une fois le scénario conceptuel achevé, dites aux élèves que chaque groupe doit également représenter une population d'une région du monde. Donnez à chaque groupe les vignettes « Population locale » fournies dans la FICHE D1.3. Chaque groupe doit intégrer de façon logique cette vignette supplémentaire au sein de son scénario. Pour répondre correctement, les élèves doivent réfléchir aux répercussions du changement climatique sur la population qu'ils ont représentée, ainsi qu'aux services écosystémiques dont elle ne pourra plus bénéficier. Demandez aux élèves de dresser une liste des possibles recours dont disposent les différentes populations.

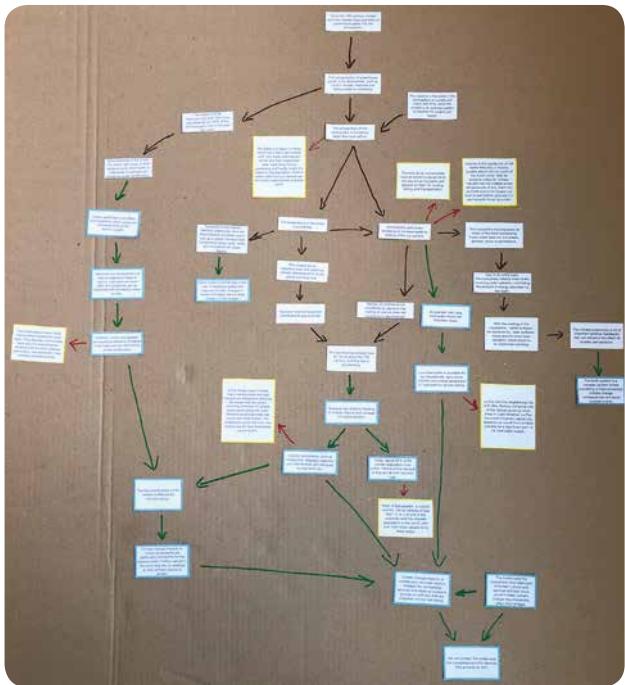
5. Un représentant de chaque groupe présente le scénario conceptuel et les recours de la population en question.



Les élèves trient les différentes vignettes pour construire un scénario conceptuel



Une présentation devant la classe.



Ci-dessus l'un des nombreux scénarios possibles

CONCLUSION 30 MIN

Comparez et discutez des différentes solutions avec la classe. Débattez autour du nombre de services écosystémiques rendus par l'océan et la cryosphère qui sont affectés par le changement climatique.

Vous pouvez également profiter de la discussion pour examiner plus en détail les conséquences sociales du changement climatique: *la capacité d'adaptation de diverses populations diffère selon les ressources, le niveau d'éducation, etc. Sous l'effet du changement climatique certaines populations devront émigrer; elles deviendront des réfugiés climatiques.*

CONSEIL À L'ENSEIGNANT

Cette séance permet également d'évaluer les connaissances acquises par les élèves tout au long du projet. Les erreurs ou les éléments lacunaires peuvent être l'occasion de revoir les concepts de manière plus approfondie afin de rappeler la séquence logique qui a peut-être été mal assimilée ou mal comprise. Plusieurs réponses sont possibles et les scénarios conceptuels peuvent être différents entre les groupes. Le raisonnement, l'organisation des idées et les liens que les élèves assignent aux concepts l'emportent sur l'exactitude des informations.

PROLONGATION FACULTATIVE

Travaillez avec le professeur d'arts plastiques pour créer une fresque illustrant les services rendus par l'océan et la cryosphère ainsi que les menaces que fait peser sur eux le changement climatique.

ÉCLAIRAGE SCIENTIFIQUE

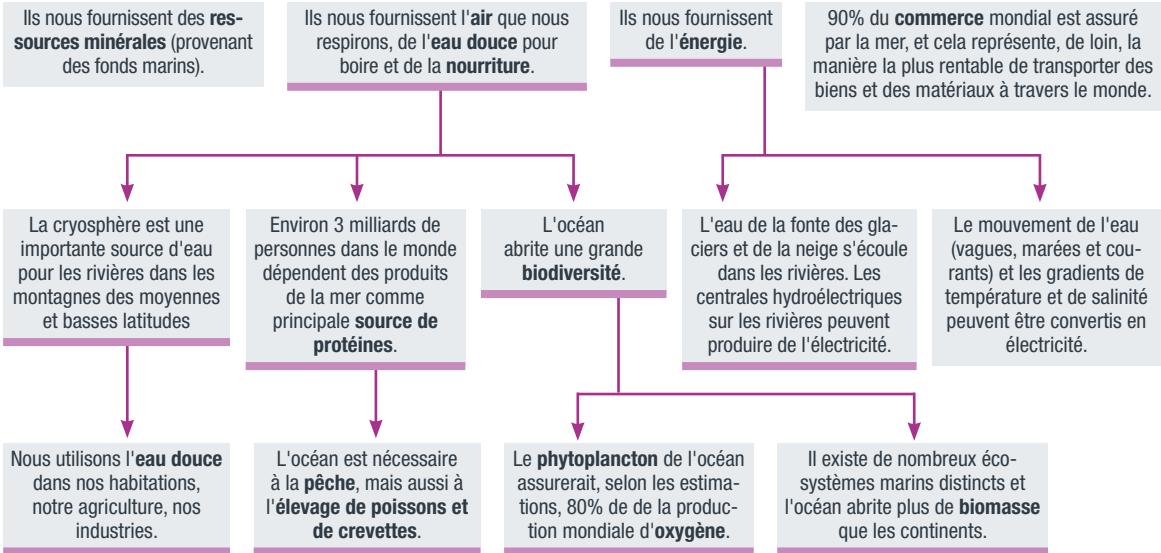
La notion de «service écosystémique» a été inventée dans les années 1970 pour sensibiliser la population à la préservation de la biodiversité. C'est un concept qui décrit les fonctions de l'écosystème comme des biens et des services pour l'espèce humaine. La Convention sur la diversité biologique (1992) définit les écosystèmes comme étant «le complexe dynamique formé de communautés de plantes, d'animaux et de micro-organismes et de leur environnement non vivant qui, par leur interaction, forment une unité fonctionnelle». Les différentes interactions au sein des écosystèmes sont à l'origine de services essentiels rendus aux sociétés humaines.

Cette notion de service écosystémique a pour but d'évaluer les pressions anthropiques en y intégrant une dimension écologique et économique. Elle identifie ses fonctions écologiques et les transpose en unités économiques. À mesure qu'un écosystème utilise ses ressources naturelles, il produit des biens et des services qui améliorent le bien-être de l'espèce humaine.

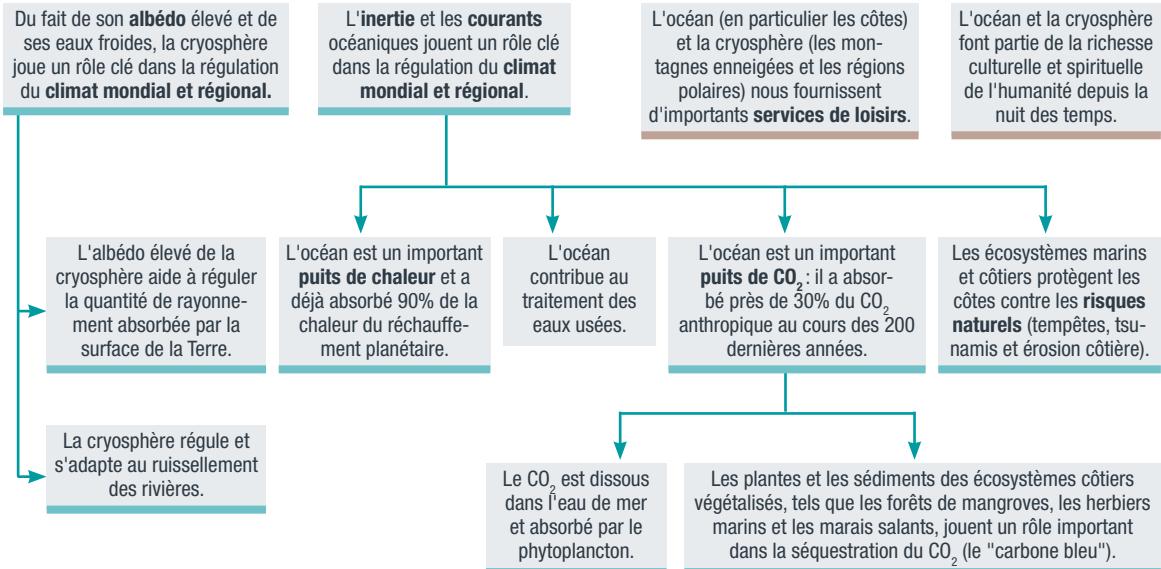
Ainsi, le concept de services écosystémiques permet de comprendre dans quelle mesure les populations dépendent des écosystèmes et de leurs bienfaits, d'un point de vue utilitariste. D'autre part, il permet de s'interroger sur les manières de mieux gérer et protéger les écosystèmes au profit de la nature et des populations.

Il y a eu différentes tentatives de classification des types de services rendus par les écosystèmes. L'Évaluation des Écosystèmes pour le Millénaire propose une typologie générale. Ce modèle divise les services écosystémiques en quatre catégories: les services d'approvisionnement, les services de soutien, les services de régulation et les services culturels (se référer aux pages 13-14 de l'Éclairage scientifique général pour en savoir plus). Vous trouverez ci-dessous une description non-exhaustive des différents services (approvisionnement, soutien, régulation et culturels) que nous rendent l'océan et la cryosphère.

SERVICES DE SOUTIEN ET D'APPROVISIONNEMENT



SERVICES DE RÉGULATION



Les services écosystémiques rendus par l'océan et la cryosphère.

Les services soulignés sont ceux qui devraient être les plus sévèrement touchés par le changement climatique.



FICHE D1.1

MÉCANISMES

La température de l'atmosphère augmente plus rapidement que jamais.

La hausse des températures atmosphérique et océanique est à l'origine de la fonte de la cryosphère.

La fonte de la glace continentale contribue à l'élévation du niveau marin, mais pas celle de la banquise.

La dilatation thermique contribue à la hausse du niveau des mers.

L'océan est un important puits de CO₂: il a absorbé près de 30% des émissions anthropiques de CO₂ au cours des 200 dernières années.

Du fait de sa couleur blanche, la cryosphère reflète la majeure partie des rayonnements solaires, limitant ainsi la quantité d'énergie absorbée par la Terre.

La météo est l'état de l'atmosphère à un endroit et à un moment donné, tandis que le climat est la moyenne des conditions météorologiques dans une région donnée.

L'océan représente un important puits de chaleur et a déjà absorbé 90% du réchauffement planétaire.

Depuis le 19^e siècle, les activités humaines ont rejeté de grandes quantités de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Une fois dissous dans l'océan, le CO₂ réagit avec l'eau pour former de l'acide carbonique, entraînant une baisse du pH de l'eau de mer, également appelée acidification de l'océan.

Avec la fonte de la cryosphère, les surfaces blanches disparaissent au profit de surfaces sombres. Ces dernières absorbent davantage de rayonnements solaires, ce qui accentue d'autant le réchauffement.

On constate une hausse de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, tels que le dioxyde de carbone, le méthane et l'oxyde d'azote.

Le niveau marin moyen à l'échelle du globe a déjà augmenté d'environ 15 cm depuis 1900 et cette élévation s'accélère.

Le système climatique compte de nombreuses rétroactions positives qui peuvent accentuer les effets des dérèglements à moindre échelle.

La cryosphère désigne toutes les régions sur Terre où l'eau est présente à l'état solide (banquise, calottes glaciaires, glaciers, neige et pergélisol).

La température de l'océan augmente.

Les différences de température et de salinité, conditionnant la densité, sont les moteurs de la circulation thermohaline qui agit comme un «tapis roulant mondial» distribuant l'eau de mer à travers tous les bassins et dans les profondeurs de l'océan.



SERVICES

À mesure que les glaciers fondent, la quantité d'eau alimentant les rivières de montagne diminue.

La hausse du niveau marin provoque des inondations sur les zones côtières et une érosion accrue du littoral.

Nous pouvons protéger l'océan et la cryosphère ainsi que les services qu'ils nous rendent.

Aujourd'hui, plus de 40% de la population vit à moins de 100 km de la mer et se trouve, par conséquent, exposée à la hausse du niveau marin.

Les mollusques, les coraux et le plancton sont des éléments indispensables aux réseaux trophiques marins, menacés par l'acidification de l'océan.

Les écosystèmes côtiers, tels que les mangroves, les prairies sous-marines et les marais salés, sont menacés par la montée du niveau marin.

La riche biodiversité océanique souffre du changement climatique.

Il y a moins d'eau douce disponible pour les foyers, l'agriculture, l'industrie et la production énergétique des centrales hydroélectriques.

L'acidification de l'océan touchera le phytoplancton dont on estime qu'il fournit 80% de l'oxygène mondial.

Le système Terre est un système complexe dont tous les éléments sont interconnectés: les conséquences du changement climatique ne sont jamais des événements isolés.

Comme les courants marins jouent un rôle essentiel en modérant le climat mondial et régional, les changements dans la circulation océanique ont une incidence considérable sur le climat.

Les coquilles et exosquelettes des organismes marins composés de carbonate de calcium se forment plus difficilement et risquent de se dissoudre avec l'acidification de l'océan.

L'océan et la cryosphère font partie de la richesse culturelle et spirituelle de l'humanité depuis des temps immémoriaux: le changement climatique pourrait transformer cet héritage de manière irréversible.

Les conséquences du changement climatique sur les écosystèmes marins sont particulièrement inquiétantes pour les quelque 3 milliards de personnes à travers le monde qui dépendent des produits de la mer comme principale source de protéines.

Les conséquences du changement climatique sur les régions côtières et montagneuses menacent les services récréatifs que ces écosystèmes nous fournissent et qui participent à notre bien-être.



POPULATIONS LOCALES

La majeure partie du Bangladesh, un pays côtier, se situe à moins de 12 m d'altitude. Il s'agit de l'un des pays les plus densément peuplés au monde, avec plus de 160 millions d'habitants à l'heure actuelle.

Les communautés Inuits de l'Arctique ont un lien culturel ancestral avec les écosystèmes de la banquise dont elles dépendent pour la chasse, la pêche et le transport.

Yakoutsk, capitale de la République de Sakha en Russie, est située 450 km au sud du cercle arctique. Avec son climat subarctique extrême, cette ville a l'hiver le plus froid parmi les grandes villes du globe et constitue la plus grande ville construite sur le pergélisol.

La Paz et la cité voisine d'El Alto, en Bolivie, forment l'une des régions urbaines avec la plus forte croissance d'Amérique Latine. La Paz, la plus haute capitale au monde, dépend de l'eau qui s'écoule des glaciers andins pour une part considérable de son approvisionnement.

Le Sahel est une région d'Afrique au climat semi-aride, avec des précipitations très faibles et un taux d'évaporation élevé. L'agriculture y est très précaire et répond difficilement aux besoins de la population. En cas de pénurie d'eau, la famine peut frapper les populations et leur bétail.

Les habitants de nombreux petits États insulaires dépendent des récifs coralliens pour vivre. Ils garantissent la sécurité alimentaire des populations grâce à la pêche, des recettes issues du tourisme, la prévention de l'érosion et la protection contre les phénomènes météorologiques extrêmes.

Sur la côte du Kerala en Inde, de nombreuses communautés vivent à proximité des mangroves. Les mangroves protègent les populations et leurs installations côtières des vagues de l'océan. Elles fournissent également du bois de chauffe et de construction. Les habitants pêchent dans la mer proche pour leur propre consommation domestique.

SÉANCE D2 RÉSEAUX TROPHIQUES ET ÉCOSYSTÈMES

DISCIPLINE CONCERNÉE

SVT

DURÉE

- ~ Préparation : 25 min
- ~ Activité : 1 h – 1 h 30

RÉSUMÉ

Les élèves étudient les réseaux trophiques marins et polaires dans le cadre d'un jeu de rôle. Ils apprennent qu'au sein des écosystèmes, tous les organismes vivants interagissent entre eux et dépendent les uns des autres pour survivre.

IDÉES À RETENIR

- ~ Les organismes marins vivants sont impactés par les changements touchant l'océan et de la cryosphère.
- ~ Les écosystèmes sont fragiles.
- ~ La disparition ne serait-ce que d'un élément d'un écosystème peut perturber tout un réseau trophique.

MOTS-CLÉS

Écosystème, fragile, équilibre, réseau trophique

MÉTHODE D'INVESTIGATION

Jeu de rôle/peinture murale interactive

PRÉPARATION 25 MIN

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

- FICHES D2.1, D2.2, D2.3, D2.4, D2.5, D2.6, D2.7, D2.8, D2.9, D2.10, D2.11, D2.12, D2.13
- De la laine (afin que chaque espèce du réseau trophique représentée sur les fiches soit accrochée autour du cou des élèves).
- De la ficelle (de la laine peut convenir aussi) à dérouler entre les groupes d'élèves. Elle devra être suffisamment longue, de 2 m minimum. Compter plusieurs morceaux par élève.

Ressources multimédia : vidéos (« Acidification de l'océan » et « Mangroves »), animation interactive (« Réseaux trophiques »). Se référer à la page 192.

EN AMONT DE LA SÉANCE

- **Option 1:** Choisir un ou plusieurs réseaux trophiques sur lequel travailler et imprimer les fiches correspondantes : récif corallien (FICHES D2.1, D2.2, D2.3), forêt de kelp (FICHES D2.4 et D2.5), Océan Arctique (FICHES D2.6 et D2.7), mangrove



(FICHES D2.8 et D2.9), Mer du Nord (FICHES D2.10 et D2.11) et Antarctique (FICHES D2.12 et D2.13).

Fabriquer un collier pour chaque espèce du réseau trophique (par exemple en collant l'image représentant l'espèce sur un morceau de carton et en y accrochant un fil de laine) qu'un élève représentera en l'accrochant autour de son cou. Ils auront ainsi les mains libres pour tenir les ficelles qui les relient aux autres espèces.

→ **Option 2:** Utilisez l'animation disponible en ligne (se référer à la page 192). En cas de connexion internet trop faible ou inutilisable, elle peut être téléchargée à l'avance. Se référer aux instructions sur le site internet de l'OCE.

CONSEIL À L'ENSEIGNANT

Cette séance a pour objectif d'explorer les conséquences du changement climatique sur les réseaux trophiques, sans pour autant étudier ces réseaux dans le détail. Pour que les élèves se familiarisent avec la notion de réseau trophique, il serait pertinent de fournir des explications sur les différentes espèces en amont.

INTRODUCTION 10 MIN

Récapitulez les diverses répercussions du changement climatique sur l'océan et la cryosphère. Demandez aux élèves : *quelles peuvent être les conséquences des différents phénomènes liés au changement climatique (par ex: fonte de la cryosphère, hausse du niveau marin, acidification de l'océan, etc.) sur les animaux qui vivent dans les écosystèmes océaniques et dans ceux de la cryosphère ?* Écrivez leurs suggestions au tableau.

DÉROULEMENT 35 – 70 MIN

OPTION 1 (35 MIN) : JEU DE RÔLE

- Expliquez aux élèves qu'ils vont maintenant jouer au jeu des écosystèmes. Donnez à chaque élève une carte correspondant à une espèce appartenant à un réseau trophique (fournies dans les FICHES) et plu-

sieurs bouts de ficelle. Différents écosystèmes sont mis à votre disposition pour que vous puissiez adapter le niveau de difficulté de l'exercice en fonction du niveau de votre classe. Les réseaux trophiques peuvent être sélectionnés en fonction du niveau de vos élèves, de leurs connaissances préalables en matière d'écosystèmes et en fonction de la zone géographique où ils se trouvent.

Attribuez à chaque élève une espèce, en veillant à respecter les proportions :

→ **Exemple 1 – Réseau trophique de récifs coralliens**

FICHES D2.1, D2.2, D2.3

- Un élève par espèce: crevette, baliste, poisson perroquet, poisson-papillon, zancle cornu, poisson demoiselle, pieuvre, tortue, mérou, requin.
- 2 élèves représentent l'éponge et le corail.
- Pour le reste des élèves: $\frac{1}{3}$ joue le phytoplancton, $\frac{1}{3}$ les macroalgues, $\frac{1}{3}$ la matière organique.

→ **Exemple 2 – Réseau trophique d'une forêt de kelp**

FICHES D2.4 et D2.5

- Un élève par espèce: crabe, étoile de mer, bar, loutre de mer, lion de mer, orque.
- 2 élèves jouent l'ormeau, l'oursin, la palourde.
- Pour le reste des élèves: la moitié joue le phytoplancton, l'autre moitié la forêt de kelp.

→ **Exemple 3 – Réseau trophique de l'Arctique**

FICHES D2.6 et D2.7

- Un élève par espèce: phoque, morse, ours polaire, baleine boréale, mergule nain.
- 2 élèves représentent les copépodes, le krill, la morue polaire et la palourde.
- Pour le reste des élèves: la moitié joue le phytoplancton, l'autre moitié les algues de glace.

→ **Exemple 4 – Réseau trophique de mangroves**

FICHES D2.8 et D2.9

- Un élève par espèce: vivaneau des mangroves, pélican brun, ibis rouge, périophthalmus, crocodile.
- 3 élèves jouent la crevette, le crabe, le bigorneau des mangroves et l'annélide.
- Le reste des élèves joue des arbres de mangroves.

→ **Exemple 5 – Réseau trophique de la Mer du Nord**

FICHES D2.10 et D2.11

- Un élève par espèce: hareng, maquereau commun, aiguillat commun, phoque gris, goéland argenté, moule bleue, huîtrier.
- 2 élèves jouent la crevette et la méduse.
- 3 élèves représentent le krill.
- Pour le reste des élèves: la moitié joue le phytoplancton, l'autre moitié la matière organique.

→ **Exemple 6 – Réseau trophique de l'Antarctique**

FICHES D2.12 et D2.13

- Un élève par espèce: légine, manchot, albatros, seiche, phoque de Weddel, léopard de mer, orque, baleine à bosse.
- Pour le reste des élèves: $\frac{2}{3}$ jouent le phytoplancton et $\frac{1}{3}$ joue le krill.

Assurez-vous que les élèves comprennent que le phytoplancton, les algues de glace, les macroalgues, les mangroves et les forêts de kelp sont les organismes les plus abondants et le tout premier maillon du réseau trophique. Les grands prédateurs sont toujours moins nombreux mais nécessitent une population abondante de proies pour se nourrir en quantité suffisante.

2. Lisez le texte présentant toutes les espèces avec les élèves.

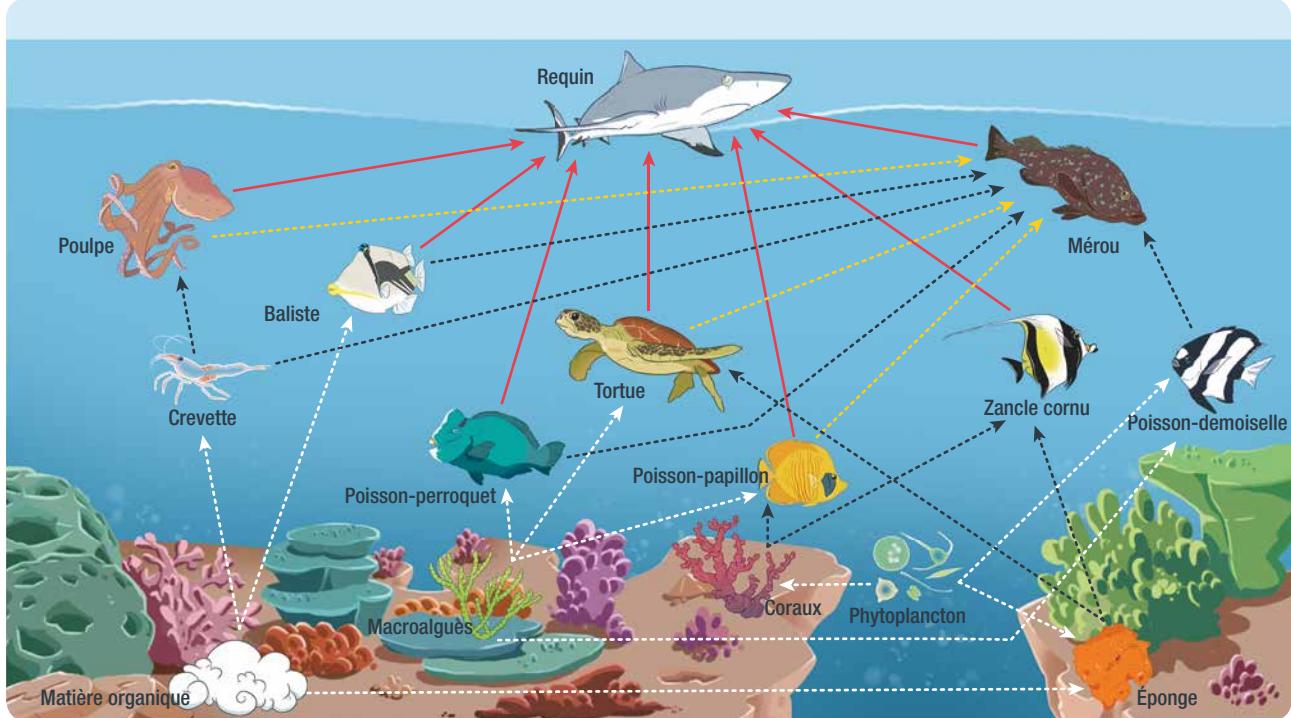
3. Les élèves doivent déterminer les relations trophiques («qui mange qui»). Commencez au début du réseau trophique (phytoplancton, macroalgues, algues de glace, mangroves ou forêts de kelp) et remontez les maillons du réseau jusqu'aux prédateurs. Ils devront tenir autant de bouts de ficelles que d'espèces dont ils dépendent. Ces dernières tiendront l'autre extrémité des ficelles. Demandez aux élèves d'expliquer, chacun leur tour, les connections qu'ils ont établies.



"Elève krill" se connectant au reste du réseau alimentaire.

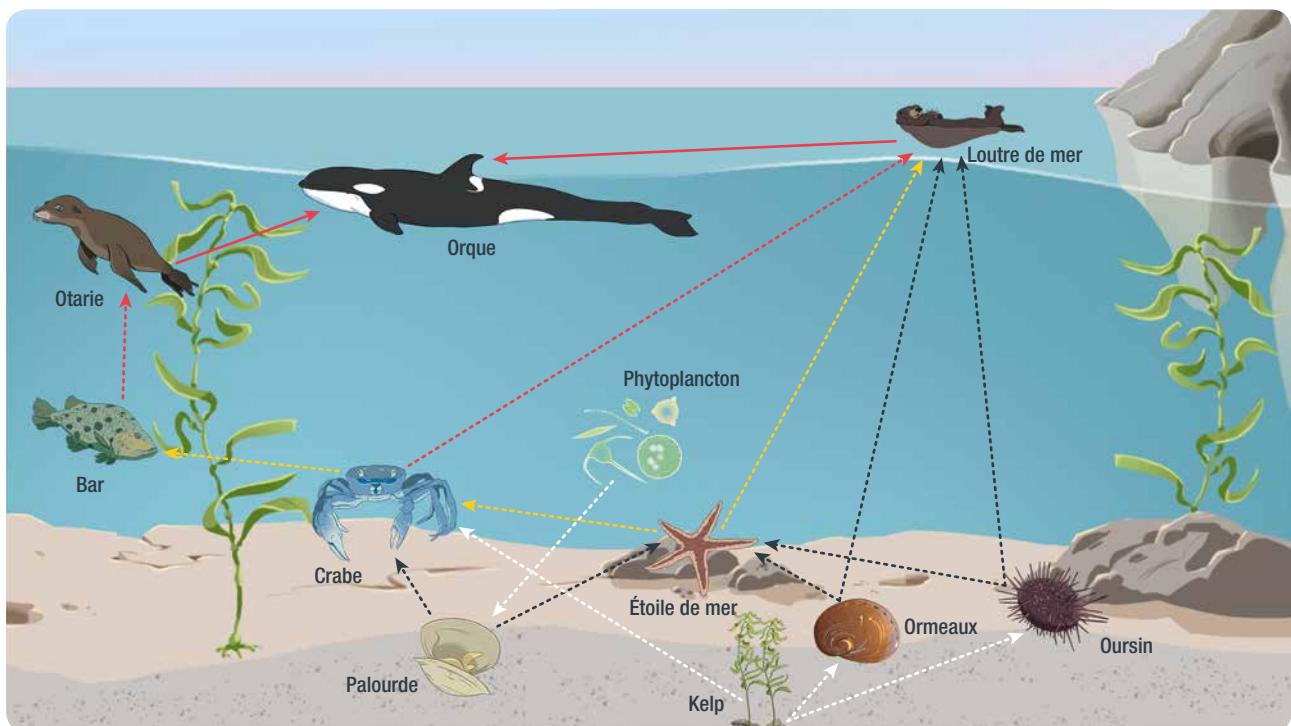
Solution pour les FICHES D2.1, D2.2, D2.3

Exemple 1 : Réseau trophique de récifs coralliens



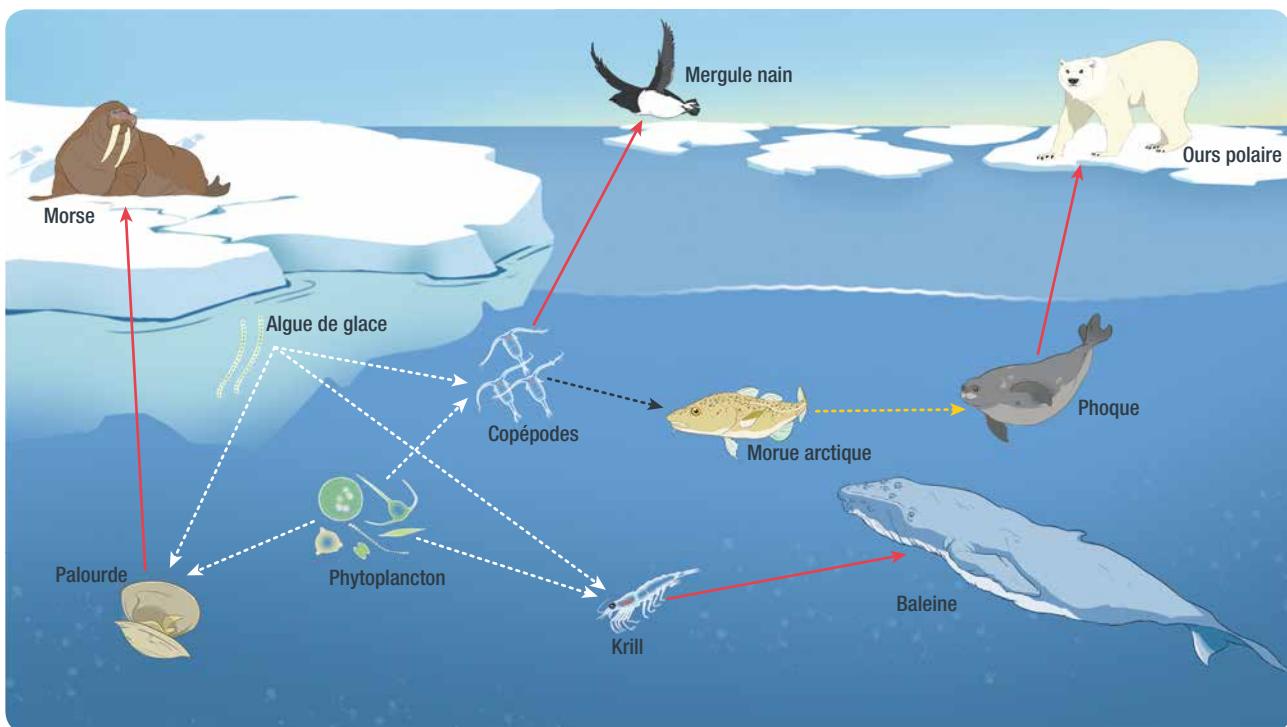
Solution pour les FICHES D2.4 et D2.5

Exemple 2 : Réseau trophique de forêts de kelp



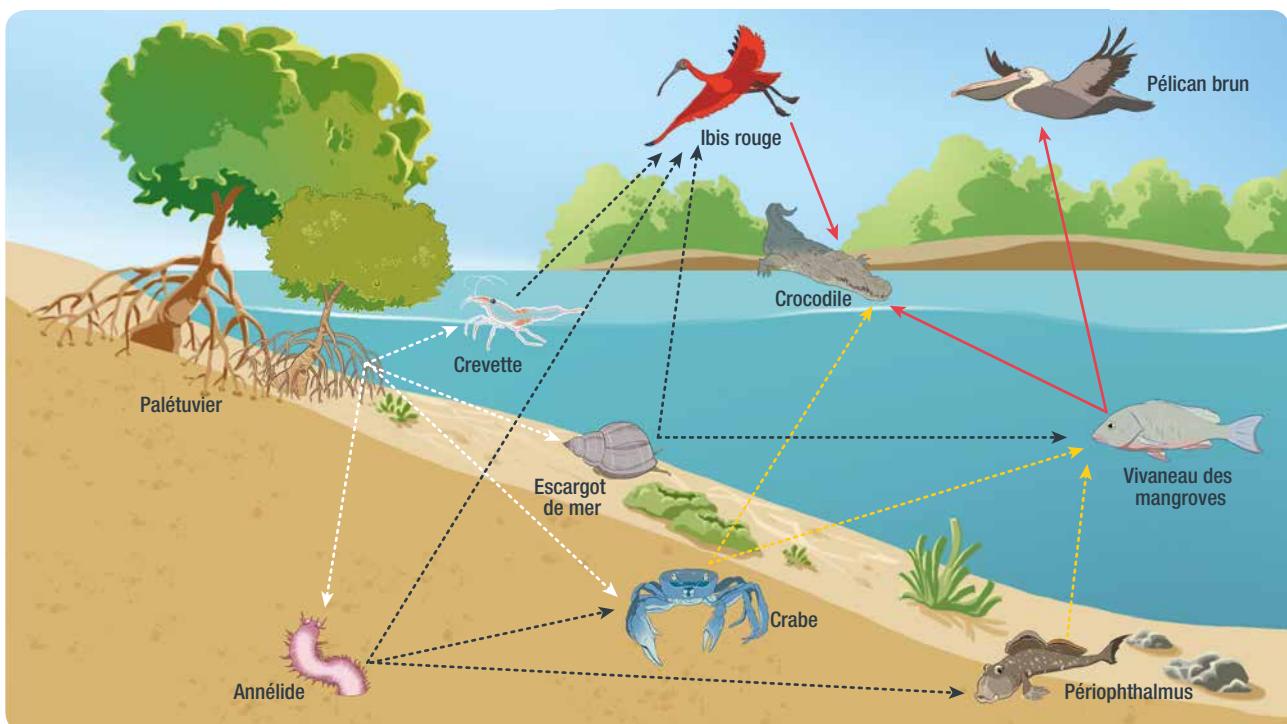
Solution pour les FICHES D2.6 et D2.7

Exemple 3 : Réseau trophique de l'Arctique



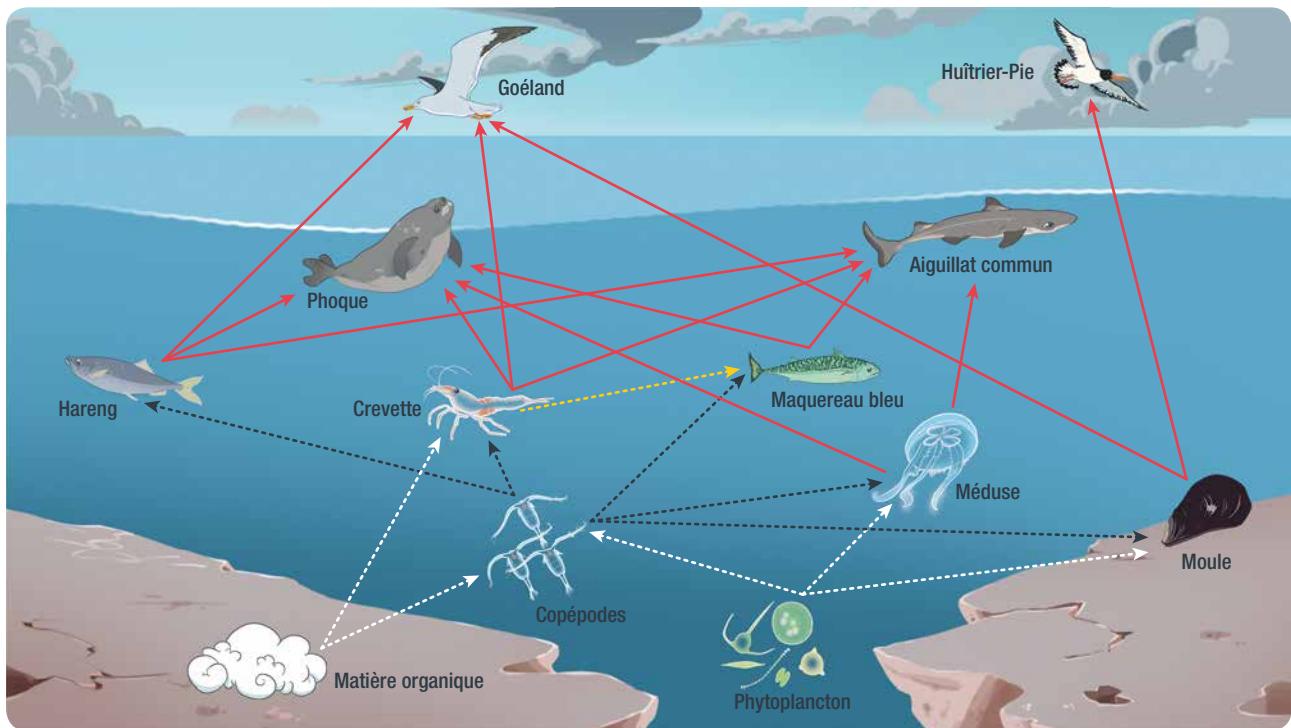
Solution pour les FICHES D2.8 et D2.9

Exemple 4 : Réseau trophique des mangroves



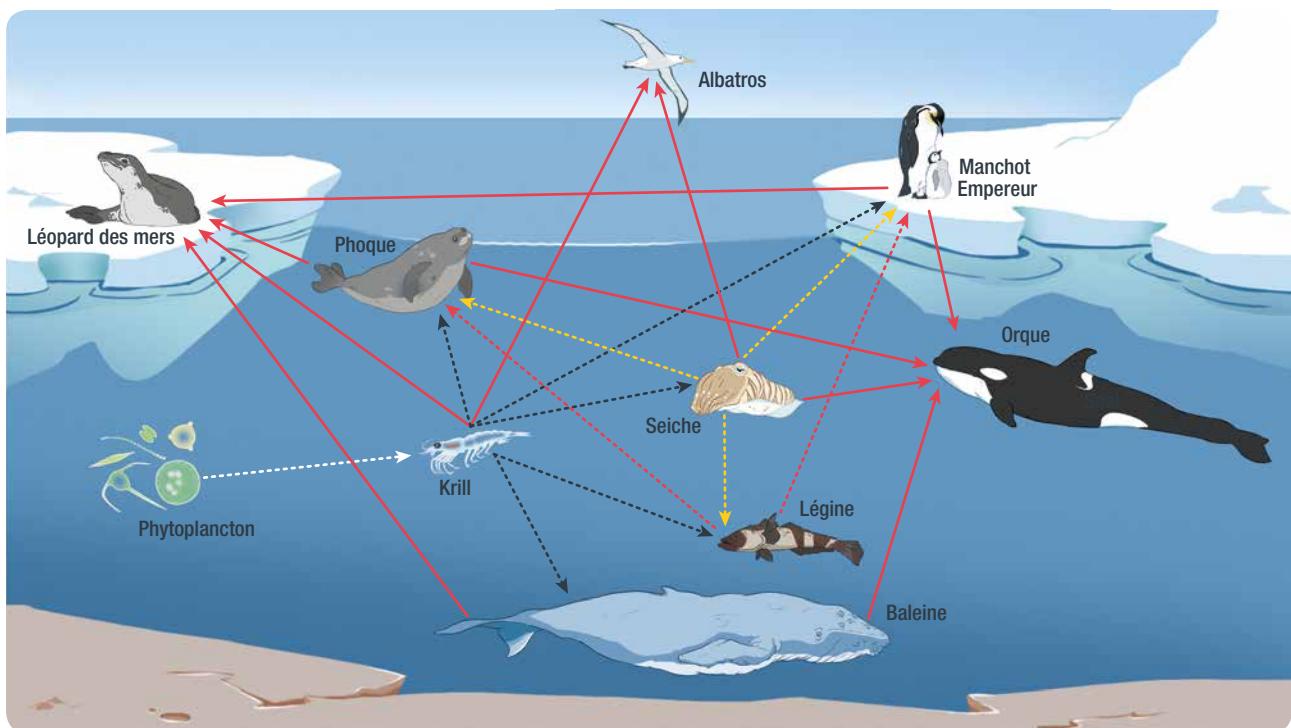
Solution pour les FICHES D2.10 et D2.11

Exemple 5 : Réseau trophique de la Mer du Nord



Solution pour les FICHES D2.12 et D2.13

Exemple 6 : Réseau trophique de l'Antarctique





Colliers de phytoplancton

4. Une fois le réseau alimentaire établi, c'est-à-dire que toutes les espèces sont reliées et que tout le monde est d'accord, vous pouvez proposer des éléments qui perturbent ces écosystèmes. Vous pouvez examiner les suggestions des élèves que vous avez écrites au tableau et vous pouvez ajouter celles suggérées ci-dessous pour le réseau trophique correspondant. Si une espèce meurt à cause d'une perturbation dans son écosystème, l'élève concerné s'assoit par terre, relâche la ficelle qui le relie à tous ses prédateurs et ses proies. Une espèce peut aussi mourir de faim en cas d'absence de nourriture; dans ce cas, toutes les espèces prédatrices s'assoient par terre.

→ Exemple 1: Réseau trophique des récifs coralliens

- Une température de l'eau inhabituellement élevée (par ex. pendant les «vagues de chaleur» ou «canicules marines») peut provoquer le blanchissement des coraux. Sous l'effet de cette température élevée, les polypes du corail évacuent les micro-algues avec lesquels ils vivent en symbiose. Ce blanchissement provoque de véritables ravages sur les récifs coralliens, qui abritent environ 25% de toutes les espèces marines. Les coraux blanchis vivent encore pendant un temps, mais meurent de faim si la température de l'eau ne retombe pas et qu'ils n'ont pas le temps de régénérer leurs algues symbiotiques.
- Tout comme de nombreux organismes formant des récifs, les coraux sont faits de carbonate de calcium les rendant très vulnérables aux variations de pH de l'eau de mer. En raison de l'absorption des émissions anthropiques de CO₂ dans l'atmosphère, le pH de l'eau de mer diminue, entraînant l'acidification de l'océan. Cela se répercute particulièrement sur les coraux qui ont des difficultés à former leurs squelettes solides, ce qui compromet alors toutes les structures récifales; cela a également des conséquences sur certaines espèces de phytoplancton.

- D'autres aspects du changement climatique peuvent aussi avoir un impact sur les écosystèmes coralliens, comme la hausse du niveau marin, des phénomènes météorologiques extrêmes de plus en plus fréquents accompagnés de tempêtes tropicales ou encore l'altération des régimes de circulation océanique.
- Accumulés, ces impacts ont des répercussions dramatiques sur le fonctionnement écosystémique de ces récifs ainsi que sur les services qu'ils rendent à l'espèce humaine dans le monde entier.

→ Exemple 2: Réseau trophique des forêts de kelp

- Les températures optimales pour la survie du kelp oscillent entre 10 °C et 15 °C. Il ne survit pas dans une eau dont la température dépasse 20 °C. La hausse de la température de l'eau de mer induite par le changement climatique aura probablement un impact sur la production primaire assurée par le kelp, provoquant un effet boule de neige sur l'ensemble du réseau trophique.
- Certaines espèces d'oursins, privilégiant les eaux chaudes, risquent de voir leur population augmenter considérablement au gré du réchauffement de l'eau et de la disparition progressive des loutres de mer, leur prédateur, exerçant ainsi des pressions sur les populations de kelp et sur l'ensemble de l'écosystème.

→ Exemple 3: Réseau trophique de l'Arctique

- La hausse des températures océaniques provoque la fonte de la banquise, habitat des morses et des phoques, source d'alimentation préférée des ours polaires. Tous ces animaux dépendent de la glace pour survivre.
- La banquise, en plus d'être un habitat pour ces grands animaux, abrite également un certain type de microalgues qui ne se développent que dans la glace: les algues de glace. Bien qu'elles soient microscopiques, les algues de glace forment de grandes colonies sous la glace qui peuvent mesurer plusieurs mètres. Dans les zones recouvertes de glace, ces algues servent de source d'alimentation principale au reste du réseau trophique de l'Arctique. La diminution de la banquise sous l'effet du changement climatique mène à une réduction de leur nombre, ce qui a des répercussions sur l'ensemble du réseau trophique.
- Le mergule nain se nourrit d'espèces de copépodes que l'on trouve dans les eaux froides. Le réchauffement des eaux dans lesquelles il évolue va modifier son régime alimentaire. Les oiseaux auront alors des difficultés à se nourrir et leur population diminuera.



Exemple d'une fresque du réseau alimentaire de l'Antarctique réalisée par des étudiants (APECS-France).

→ Exemple 4: Réseau trophique des mangroves

- Ces 50 dernières années, près de la moitié des mangroves ont disparu au profit de l'élevage de crevettes, du développement côtier et de l'exploitation des arbres pour servir de carburant. Le réchauffement climatique et le recul des côtes dû à l élévation du niveau marin accroît le stress des forêts de mangroves, entraînant leur disparition. Néanmoins, les mangroves ont beau ne représenter qu'1% des forêts mondiales, elles ont le mérite de stocker une grande quantité de carbone. Leur disparition pourrait libérer une quantité considérable de CO₂ dans l'atmosphère.
- Les mangroves procurent un habitat aux crevettes et aux poissons juvéniles. Leur disparition pourrait avoir des retombées considérables sur les pêcheries.

→ Exemple 5: Réseau trophique de la Mer du Nord

- À cause du réchauffement de l'eau de mer, les populations de phytoplancton ont déjà commencé à se déplacer vers le nord. Cela pourra mener à la diminution des stocks de zooplancton (copépodes).
- Suivant le déplacement de leur nourriture vers le nord, les poissons migreront aussi vers le nord.
- Ainsi, les oiseaux marins auront peut-être des difficultés à trouver de la nourriture, ce qui pourrait entraîner le déclin de leur population.

→ Exemple 6: Réseau trophique de l'Antarctique

- Le krill se nourrit d'organismes qu'il trouve sous la banquise, étendue qui lui permet de se protéger contre ses prédateurs. Si le réchauffement climatique provoque le recul de la banquise, le krill en souffrira.
- L'acidification de l'océan aura des répercussions sur les coquilles existantes et la formation de nouvelles coquilles constituées de carbonate de calcium, particulièrement vulnérable aux variations de pH. À mesure que le pH chute et que l'océan s'acidifie, ce sont les espèces de phytoplancton qui en subissent aussi les conséquences.
- La glace sert d'habitat aux manchots et aux phoques. Le recul de celle-ci sous l'effet du changement climatique met leurs vies en péril.

- 5.** Vous pouvez jouer au même jeu avec plusieurs réseaux trophiques. Les élèves devraient s'apercevoir que tous les êtres vivants sont interconnectés et qu'il est important de maintenir l'équilibre de l'écosystème.

→ CONSEIL À L'ENSEIGNANT

Les producteurs primaires, tels que le phytoplancton, sont en quelque sorte « nourris » par le soleil, grâce à la photosynthèse. Les élèves les représentant n'ont donc pas à s'assoir par terre, sauf s'ils sont directement touchés par les effets du changement climatique.

- 6.** Après avoir simulé les différents écosystèmes et les répercussions du changement climatique, accrochez toutes les cartes de jeu au tableau. Demandez aux élèves de représenter par des flèches les liens entre les espèces qu'ils ont mises en scène pendant le jeu de rôle, en commençant par les espèces à la base des réseaux trophiques.

OPTION 2 (35 MIN) : OUTILS INTERACTIFS

Au lieu de procéder au jeu de rôle, vous pouvez utiliser les animations fournies (« réseau trophique »).

CONCLUSION 10 MIN

Débattez autour de l'interdépendance qui existe entre tous les organismes des écosystèmes, de la fragilité de l'équilibre de ces écosystèmes et de sa préservation ainsi que des conséquences sur l'espèce humaine si cet équilibre venait à être mis en péril.

PROLONGATION FACULTATIVE (2H): PEINTURE MURALE DU RÉSEAU TROPHIQUE D'UN ÉCOSYSTÈME

Chaque élève dessine une espèce du réseau trophique choisi, seule ou accompagnée de ses prédateurs/proies sur une feuille de papier A4, sur un fond bleu représentant l'océan. Dans la classe, le rapport prédateur/proie doit être respecté afin d'éviter d'avoir 30 orques et seulement 5 manchots par classe par exemple. À l'aide des dessins de vos élèves, vous pourrez alors créer une grande fresque représentant un écosystème et les espèces y évoluant.

ÉCLAIRAGE SCIENTIFIQUE

ÉCOSYSTÈME

Le botaniste britannique Arthur Tansley a suggéré le terme d'«**écosystème**» au début du 20^e siècle pour désigner l'ensemble des êtres vivants et des éléments «non vivants» (tels que le climat, le type de sol, les propriétés chimiques du milieu, etc.) qui sont en interaction dans un milieu donné. Cet ensemble est l'unité écologique de base. Le terme de «biotope», lui aussi proposé par Tansley, décrit un milieu et les conditions qui le caractérisent. Les êtres vivants qui évoluent dans un biotope sont regroupés sous le terme de biocénose. Ainsi:

$$\text{écosystème} = \text{biotope} + \text{biocénose}$$

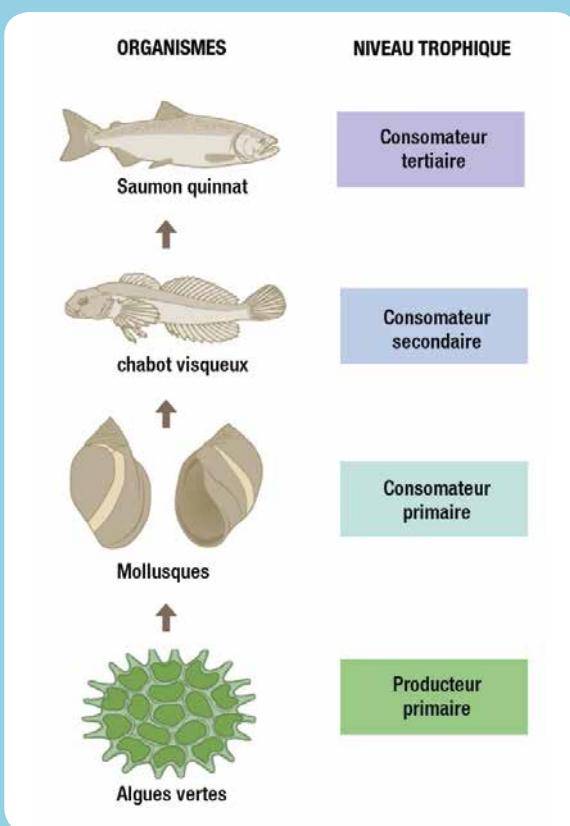
Il existe une multitude d'écosystèmes marins et côtiers: écosystèmes estuariens, récifs coralliens, plages, planchers océaniques, mangroves, etc. La cryosphère peut également faire partie intégrante d'écosystèmes marins, comme c'est le cas pour les écosystèmes arctique et antarctique. Toutefois, elle est aussi présente dans de nombreux écosystèmes terrestres, comme dans l'Himalaya et la toundra, par exemple. Chacun de ces écosystèmes présente une association unique entre facteurs abiotiques et biosphère.

Outre les variations saisonnières, les écosystèmes subissent également les effets des divers aléas réguliers ou sporadiques (niveau des marées, tempêtes, chutes de neige, etc.) qui bouleversent les équilibres biologiques. Avec le temps, les écosystèmes évoluent jusqu'à atteindre l'état final le plus stable, qualifié de «climax». Cet équilibre peut néanmoins facilement être mis en péril si le fonctionnement de l'écosystème est entravé par l'activité humaine ou le changement climatique par exemple.

RÉSEAUX TROPHIQUES

Chaque écosystème est structuré par des **relations trophiques**, au sein desquelles tout organisme représente la **proie** ou le **prédateur** d'un autre. Ces liens d'interdépendance peuvent être considérés comme des chaînes symbolisant «qui est mangé par qui». Cependant, la réalité est plus complexe; en effet, les chaînes alimentaires sont en fait des **réseaux trophiques**, ce qui signifie qu'un organisme peut se nourrir de plusieurs espèces et qu'une espèce peut être la proie de plusieurs organismes.

À la base d'un réseau trophique, on trouve toujours les organismes **autotrophes**. Comme les



Exemple d'une chaîne alimentaire

végétaux et le phytoplancton, ces organismes peuvent produire leur propre matière organique à partir de lumière, d'eau, de dioxyde de carbone et d'autres éléments minéraux. On les appelle aussi les «**producteurs primaires**». Les autotrophes sont mangés par les hétérotrophes, quant à eux incapables de produire leur propre matière organique sans apport extérieur de matière organique. On peut répartir les organismes **hétérotrophes** en plusieurs catégories: les **consommateurs primaires, secondaires ou tertiaires**, en fonction de leur rang au sein du réseau trophique (s'ils mangent directement les autotrophes ou s'ils mangent des hétérotrophes qui mangent des autotrophes, etc.). Pour représenter un réseau trophique, on utilise des flèches symbolisant «est mangé par».

Toutes les espèces étant interconnectées dans un écosystème, la moindre perturbation d'une population ou la disparition d'une seule espèce peut perturber toutes les autres espèces qui en dépendent. Étant donné que chaque espèce a besoin de conditions environnementales bien particulières, tout bouleversement de ces conditions peut créer un déséquilibre de l'ensemble du réseau trophique et entraîner des répercussions généralisées sur l'écosystème.

FICHE D2.1



RÉSEAU TROPHIQUE DES RÉCIFS CORALLIENS 1/3



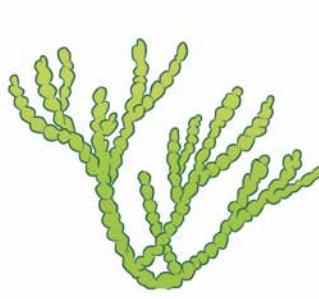
PHYTOPLANCTON

Le phytoplancton est un ensemble d'organismes microscopiques qui flottent dans la couche supérieure ensoleillée de l'océan. Comme les végétaux, le phytoplancton exploite la lumière du soleil, l'eau, le CO₂ et les minéraux dissous pour réaliser la photosynthèse et produire des composés organiques. Il s'agit donc d'un producteur primaire, se situant à la base du réseau trophique.



MATIÈRE ORGANIQUE

La matière organique désigne un ensemble de composés riches en carbone libérés dans l'eau de mer. Elle est issue de restes de végétaux et d'animaux ainsi que de leurs déchets. Les amas de carbone organique en train de tomber rappellent des flocons de neige, d'où leur appellation de « neige marine ». Les crevettes et les balistes se nourrissent de matière organique.



ALGUES

Les algues, comme les herbiers marins, apprécient généralement les eaux peu profondes où elles trouvent suffisamment de lumière pour se développer. Ce sont également des producteurs primaires, comme le phytoplancton.

Elles constituent une source de nourriture et un habitat pour les crustacés et les mollusques, mais aussi pour les poissons tels que le poisson perroquet, le poisson-papillon et le poisson demoiselle (qui récolte les macroalgues) ou encore les tortues.



CORAIL

Les coraux sont des animaux. Ils possèdent de minuscules bras ressemblant à des tentacules qu'ils utilisent pour capturer le phytoplancton, leur nourriture, dans l'eau afin de l'acheminer jusqu'à leur bouche. La plupart des structures que nous appelons des « coraux » sont en fait composés de centaines de milliers de minuscules créatures coraliennes appelées des polypes. Chaque polype à corps mou sécrète une ossature extérieure solide en carbonate de calcium. La plupart des coraux renferment des algues. Logées dans les tissus coralliens, elles retiennent les déchets des coraux. Les coraux, quant à eux, tirent profit de l'oxygène et des produits organiques que lui fournissent les algues.



ÉPONGE

On confond souvent les éponges avec des plantes du fait de leurs formes et couleurs très variées. Ce sont des animaux constitués principalement de pores et de canaux qui laissent passer l'eau. En circulant à travers

leurs pores, le mouvement de l'eau entraîne les éponges vers l'avant, leur apporte nourriture (sous forme de phytoplancton) et oxygène et les débarrasse de leurs déchets. Les éponges constituent une source de nourriture pour les zanzles cornus et les tortues.



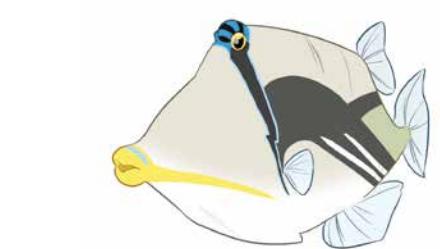
CREVETTE

Les crevettes habitent le plancher océanique et les eaux peu profondes près des côtes et estuaires. Elles se nourrissent de matière organique qu'elles trouvent en profondeur et se dissimulent sous le sable pour échapper à leurs prédateurs, comme les pieuvres et les mérous.

FICHE D2.2

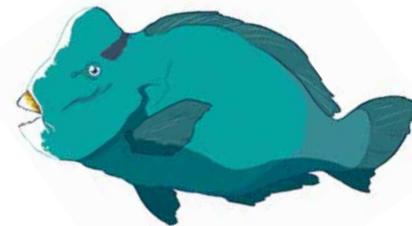


RÉSEAU TROPHIQUE DES RÉCIFS CORALLIENS 2/3



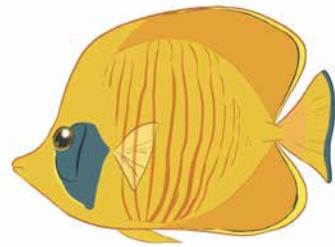
BALISTE

Les balistes sont des poissons aux couleurs vives qui vivent dans les eaux tropicales peu profondes. Ils se nourrissent de matière organique et sont mangés par les requins et les mérous.



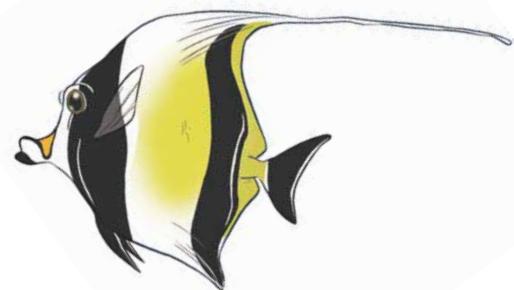
POISSON-PERROQUET

Les poissons-perroquets vivent dans les eaux tropicales et subtropicales. Grâce à leur bec similaire à celui du perroquet, ils consomment des algues en grattant les coraux et les substrats rocheux. Ils sont mangés par les requins et les mérous.



POISSON-PAPILLON

Le poisson-papillon est un petit poisson osseux aux couleurs vives. Il se sert des coraux pour se dissimuler et se nourrir, mais consomme aussi des algues. Ils sont mangés par les requins et les mérous.



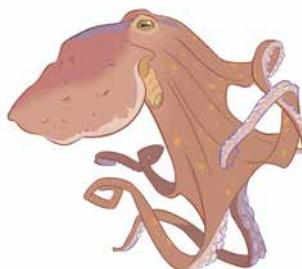
ZANCLE CORNU

On reconnaît le zancle cornu à son corps en forme de disque et à ses rayures. Il se nourrit d'éponges et de coraux. Il est mangé par les requins.



POISSON DEMOISELLE

Le poisson demoiselle est un petit poisson aux couleurs vives qui vit dans ou près des récifs coralliens. Il se nourrit d'algues, qu'il récolte, ainsi que de phytoplancton et est mangé par les mérous.



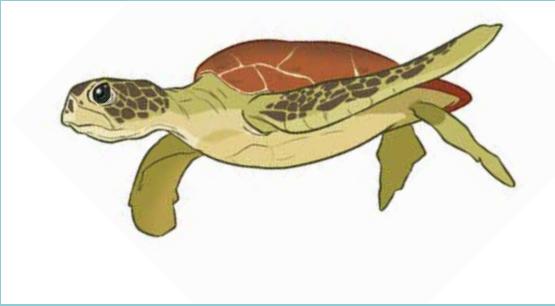
PIEUVRE

La pieuvre est un mollusque qui dispose de huit bras musclés équipés de deux rangées de ventouses. Elle se nourrit principalement de crevettes et est mangée par les requins et les mérous.

FICHE D2.3



RÉSEAU TROPHIQUE DES RÉCIFS CORALLIENS 3/3



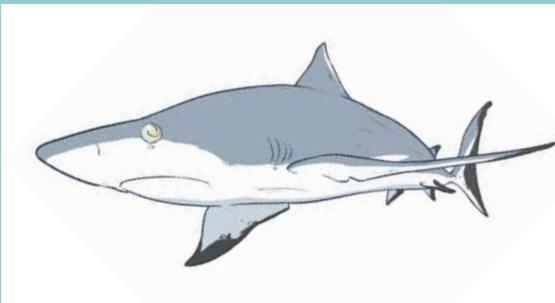
TORTUE

Les tortues sont des reptiles à nageoires et à carapace osseuse ou tannée, qui vivent dans l'océan mais qui, chaque année, viennent jusque sur nos plages pour pondre leurs œufs dans le sable. Elles se nourrissent d'algues et d'éponges. Leurs prédateurs sont les requins, et les mérous pour les jeunes tortues.



MÉROU

Le mérou est un gros voire très gros poisson de la famille du bar avec une grande tête et une large bouche. Il se nourrit généralement de poisson (tels que le poisson demoiselle, le poisson-papillon, le poisson perroquet et le baliste), de crustacées (tels que des crevettes) et de pieuvres. Les gros mérous peuvent même manger de jeunes tortues.



REQUIN

On trouve souvent le requin bordé dans les eaux du littoral tropical et subtropical, notamment dans des habitats saumâtres. Il se nourrit de tous types de poissons, de pieuvres et de tortues.



RÉSEAUX TROPHIQUES DE LA FORÊT DE KELP 1/2



PHYTOPLANCTON

Le phytoplancton est un ensemble d'organismes microscopiques qui flottent dans la couche supérieure ensoleillée de l'océan. Comme les végétaux, le phytoplancton exploite la lumière du soleil, l'eau, le CO_2 et les minéraux dissous pour réaliser la photosynthèse et produire des composés organiques. Il s'agit donc d'un producteur primaire, se situant à la base du réseau trophique.



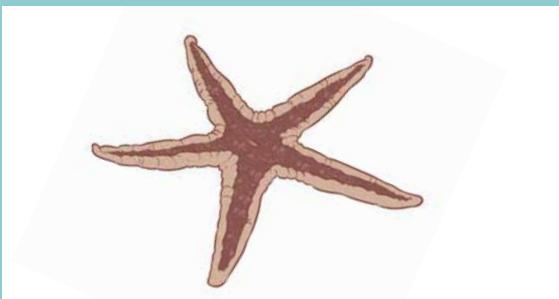
KELP

Le kelp est un type d'algue brune de grande taille qui vit dans les eaux arctiques et tempérées. Comme d'autres macroalgues, il apprécie généralement les eaux peu profondes où il trouve suffisamment de lumière pour se développer. Ce sont également des producteurs primaires, comme le phytoplancton. Il constitue une source de nourriture et un habitat pour les oursins, les ormeaux et les crabes.



OURSIN

Les oursins sont de petits animaux épineux qui vivent dans les fonds marins. Ils mesurent généralement 3 à 10 cm. Ils se déplacent lentement et se nourrissent d'algues. Ils représentent la population herbivore la plus importante des forêts de kelp. Leurs prédateurs sont les loutres de mer et les étoiles de mer.



ÉTOILE DE MER

Les étoiles de mer vivent dans les fonds marins. Elles sont constituées d'un disque central et de cinq bras. Elles se nourrissent d'oursins, d'ormeaux, de palourdes et d'autres mollusques. Elles constituent une source de nourriture pour les crabes et les loutres de mer.



CRABE

Ce crabe vit en profondeur dans les forêts de kelp. En été, il se nourrit de kelp et d'algues. En hiver, lorsque les algues meurent, il passe à une alimentation animale et se nourrit alors de palourdes et d'étoiles de mer. Les loutres de mer sont de sérieux prédateurs pour les crabes, de même que les bars.



ORMEAU

Les ormeaux sont des escargots marins. Ils vivent en profondeur et se nourrissent de kelp et d'autres algues. Les loutres de mer et les étoiles de mer sont leurs prédateurs.

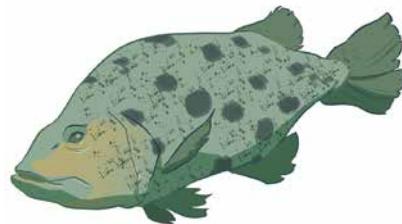


RÉSEAUX TROPHIQUES DE LA FORÊT DE KELP 2/2



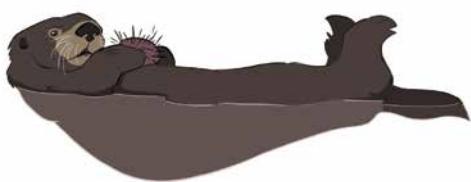
PALOURDE

Les palourdes font partie de la famille des mollusques. Elles mesurent 5 cm de largeur. Elles se nourrissent de phytoplancton et sont mangées par les crabes et les étoiles de mer.



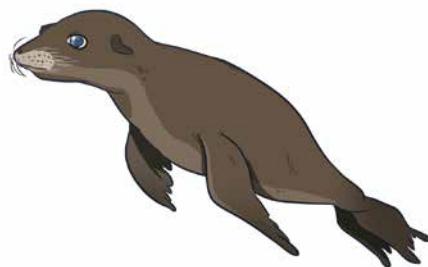
BAR

Ce bar est une espèce de poisson marin qui vit dans les forêts de kelp. Il se nourrit de crustacés, comme le crabe et est mangé par les lions de mer.



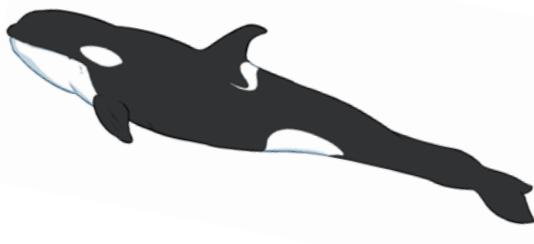
LOUTRE DE MER

La loutre de mer est le plus petit mammifère de ces écosystèmes, pesant entre 14 et 45 kg. Elle reste au chaud grâce à son manteau de fourrure.



LION DE MER

Le lion de mer est un mammifère marin apparenté aux phoques et aux morses. Un mâle pèse en moyenne 300 kg tandis qu'une femelle ne pèsera qu'environ 100 kg. Ils se nourrissent de poisson, comme le bar, et sont mangés par les épaulards.



ORQUE

On trouve l'épaulard à la fois dans l'Arctique et dans l'océan Austral mais il peut se déplacer jusque dans les eaux tropicales. Il s'agit d'un animal très sociable qui vit en meute. Ses techniques de chasse sont très développées et lui permettent de se nourrir de loutres et de lions de mer.

FICHE D2.6

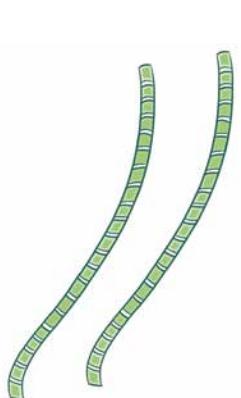


RÉSEAU TROPHIQUE DE L'ARCTIQUE 1/2



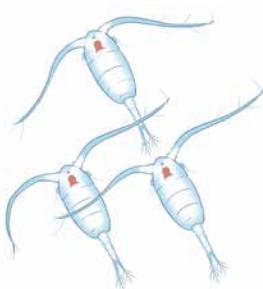
PHYTOPLANCTON

Le phytoplancton est un ensemble d'organismes microscopiques qui flottent dans la couche supérieure ensoleillée de l'océan. Comme les végétaux, le phytoplancton exploite la lumière du soleil, l'eau, le CO_2 et les minéraux dissous pour réaliser la photosynthèse et produire des composés organiques. Il s'agit donc d'un producteur primaire, se situant à la base du réseau trophique.



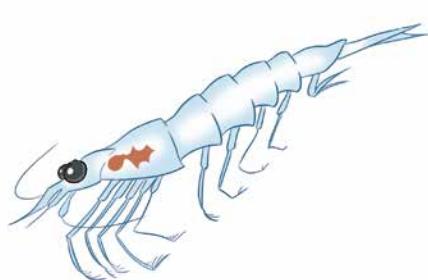
ALGUES DE GLACE

Les algues de glace sont des producteurs primaires qui se développent dans la banquise. Elles exploitent la lumière du soleil, le CO_2 et l'eau pour produire de la matière organique. Malgré leur taille microscopique, elles peuvent former des chaînes de plusieurs mètres de long. Les animaux les préfèrent souvent au phytoplancton du fait de leurs propriétés nutritionnelles. C'est pourquoi elles sont mangées par les palourdes, les copépodes et le krill.



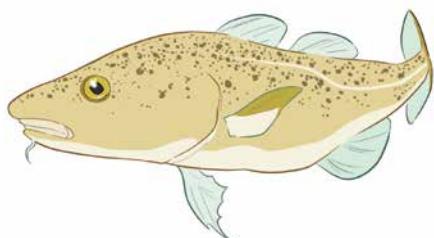
COPÉPODES

Les copépodes sont un élément constitutif du zooplancton, formés de petits animaux qui dérivent au gré des courants océaniques. Ils mesurent 1 à 5 mm de long. Ils se nourrissent de phytoplancton et d'algues de glace. Ils sont mangés par des poissons comme la morue polaire et par des oiseaux comme le mergule nain.



KRILL

Le krill, comme le copépode, fait partie du zooplancton. Il peut mesurer jusqu'à plusieurs centimètres de long et peser jusqu'à 2 g. Il s'agit d'un macrophage suspensivore, c'est-à-dire qu'il se nourrit en filtrant le phytoplancton de l'eau. Il consomme également des algues de glace et est mangé par les baleines.



MORUE ARCTIQUE

La morue polaire mesure environ 30 cm de long et vit dans les eaux froides de l'océan Arctique et près du Groenland. Elle se nourrit de copépodes et est mangée par les phoques.



PALOURDE

Les palourdes sont des mollusques mesurant 5 cm de largeur, faisant partie du même groupe que les escargots et la pieuvre. Elles filtrent le phytoplancton et les algues de glace qui atterrissent sur le plancher océanique pour s'en nourrir, et sont mangées par les morses.



RÉSEAU TROPHIQUE DE L'ARCTIQUE 2/2



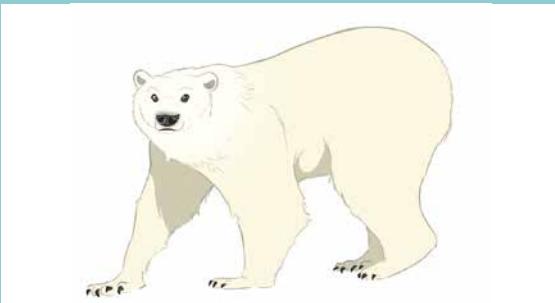
PHOQUE

L'Océan Arctique abrite plusieurs espèces de phoques : les phoques rubané, barbu, annelé, commun, à capuchon et du Groenland. La principale source d'alimentation de ces grands mammifères est le poisson (morue polaire). Ils sont mangés par les ours polaires.



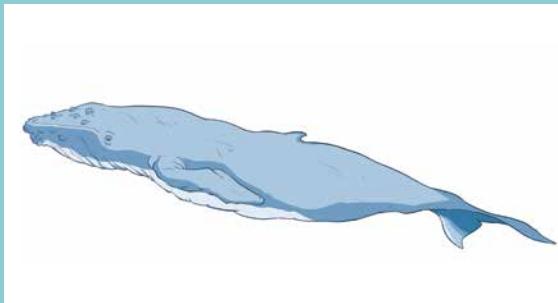
MORSE

Les morses sont de gros mammifères marins qui pèsent jusqu'à 1 700 kg et habitent dans les eaux arctiques. On les reconnaît facilement à leurs défenses et à leur graisse qui leur permet de passer beaucoup de temps dans les eaux arctiques en quête de leur nourriture de prédilection : les palourdes.



OURS POLAIRE

L'ours polaire est le plus gros carnivore terrestre avec un poids pouvant atteindre 650 kg. Il est doté d'une épaisse fourrure blanche qui le protège du froid. Il passe la plupart de son temps sur la banquise pour chasser les phoques.



BALEINE BORÉALE

Il existe 17 types de baleines différents dans les eaux arctiques. La baleine boréale, une baleine dépourvue de dents qui filtre la nourriture présente dans l'eau de mer, est la seule à y vivre toute l'année. Elle se nourrit exclusivement de krill.

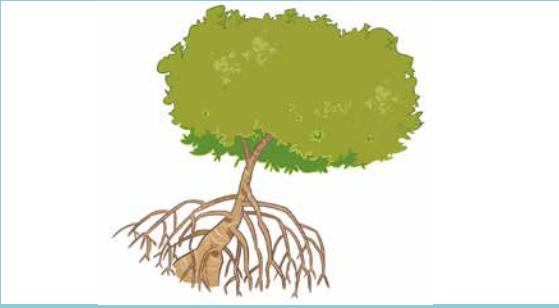


MERGULE NAIN

Le mergule nain fait partie des oiseaux marins les plus petits (150 g seulement) et les plus courants dans l'Atlantique nord. Il privilégie les zones aux courants froids et évite les eaux plus tempérées. Il se nourrit de copépodes.



RÉSEAU TROPHIQUE DE LA MANGROVE 1/2



PALÉTUVIER

Les palétuviers se développent en colonies dans les zones côtières tropicales et subtropicales baignées par les marées. Le grand nombre de détritus (feuilles, brindilles, écorces, fleurs et graines) qu'ils génèrent est une source d'alimentation pour les crabes, les crevettes, les escargots de mer et les annélides.



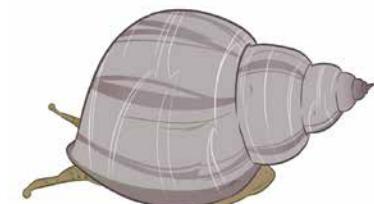
CREVETTE

Les crevettes élisent domicile dans les fonds vaseux de l'océan. Elles se nourrissent des détritus des palétuviers présents sur le plancher océanique et se dissimulent dans le sable pour échapper à leurs prédateurs, comme l'ibis rouge.



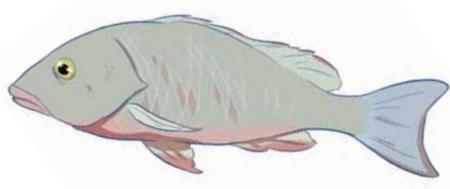
CRABE

Le crabe est l'animal le plus abondant des mangroves. Il sort de son terrier à marée basse pour se nourrir de détritus des palétuviers et d'annélides. Ils sont mangés par les crocodiles et les vivaneaux des mangroves.



BIGORNEAU DES MANGROVES

Cette espèce de bigorneau vit principalement au-dessus du niveau marin, juché sur les branches et les racines des palétuviers. Ils se nourrissent de leurs détritus et sont mangés par des vivaneaux des mangroves et des ibis rouges.



VIVANEAU DES MANGROVES

Généralement rouge gris, le vivaneau des mangroves mesure jusqu'à 40 cm de longueur et se nourrit surtout de petits poissons comme le périophthalmus, les bigorneaux, comme le bigorneau des mangroves, et les crabes. Il peut être mangé par les pélicans bruns et les crocodiles.



PÉLICAN BRUN

Le pélican brun est le plus petit de ses congénères. Il niche dans des régions enclavées comme les mangroves. Il se nourrit surtout de poisson comme le vivaneau des mangroves.

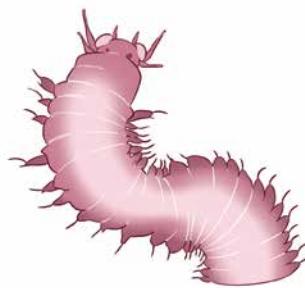


RÉSEAU TROPHIQUE DE LA MANGROVE 2/2



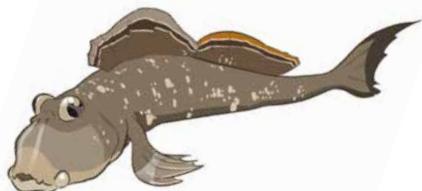
IBIS ROUGE

L'ibis rouge se déplace facilement dans la vase grâce à ses pieds caractéristiques. Il se nourrit à l'aide de son long bec fin incurvé de crevettes, d'annélides et de bigorneaux, comme le bigorneau des mangroves, qu'il débusque dans la vase. Les crocodiles peuvent capturer des ibis rouges pendant qu'ils se nourrissent.



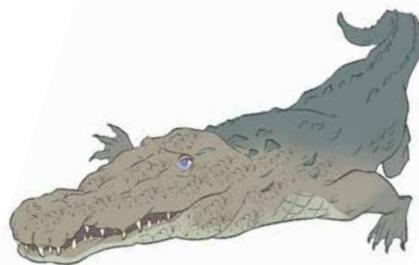
ANNÉLIDE

Les annélides sont des vers microscopiques qui vivent dans des terriers dans la vase. Ils se nourrissent des détritus de palétuviers qui s'y déposent et sont mangés par les périophthalmus, les crabes et l'ibis rouge.



PÉRIOPHTHALMUS

Le périophthalmus vit surtout dans les fonds vaseux et sablonneux mais aussi sur les branches des palétuviers puisqu'il est capable de vivre temporairement à l'air libre. Il se nourrit d'annélides et est mangé par les vivaneaux des mangroves.



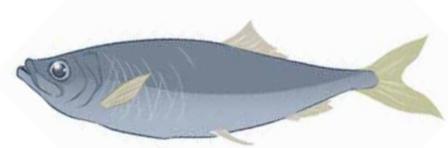
CROCODILE

Le crocodile est un prédateur carnivore opportuniste. Il chasse généralement sa proie en lui tendant une embuscade, puis la noie sous l'eau ou l'avale d'un seul coup. Il peut manger une multitude de proies, des poissons (vivaneaux des mangroves), des oiseaux (ibis rouge) et des crabes.

FICHE D2.10

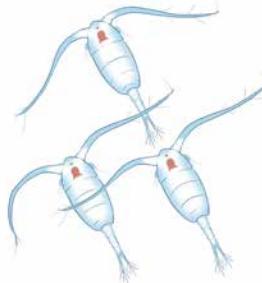


RÉSEAU TROPHIQUE DE LA MER DU NORD 1/2



HARENG

Le hareng vit au grand large près de la surface. Il nage en formant d'énormes bancs et se nourrit de krill. Il constitue la source d'alimentation de nombreuses espèces allant de l'aiguillat commun aux phoques gris en passant par les goélands argentés.



COPÉPODES

Le copépode est un type de zooplancton, de petits animaux qui dérivent au gré des courants océaniques. Il peut mesurer 1 à 5 mm de long. Il se nourrit de phytoplancton et ses prédateurs sont la crevette, le hareng, le maquereau commun et la moule commune.



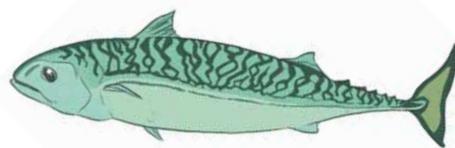
MATIÈRE ORGANIQUE

L'océan est très riche en matière organique grâce aux végétaux et animaux morts ou à leurs déjections. Celle-ci s'accumule pour former les sédiments du plancher océanique. Des amas de carbone organique en train de tomber rappellent des flocons de neige, d'où leur appellation de «neige marine». Ils constituent une source d'alimentation pour les copépodes et les crevettes.



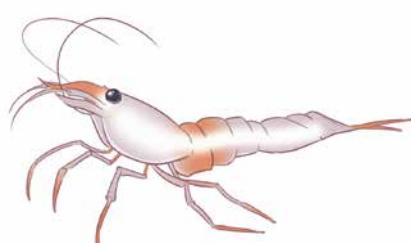
PHYTOPLANCTON

Le phytoplancton est un ensemble d'organismes microscopiques qui flottent dans la couche supérieure ensoleillée de l'océan. Comme les végétaux, le phytoplancton exploite la lumière du soleil, l'eau, le CO_2 et les minéraux dissous pour réaliser la photosynthèse et produire des composés organiques. Il s'agit donc d'un producteur primaire, se situant à la base du réseau trophique.



MAQUEREAU BLEU

Le maquereau bleu vit au grand large entre la surface et 200 m de profondeur, ainsi que dans les eaux côtières. Les énormes bancs qu'il forme sont constamment en mouvement et se nourrissent de copépodes et de crevettes. Ses prédateurs sont le phoque gris et l'aiguillat commun.

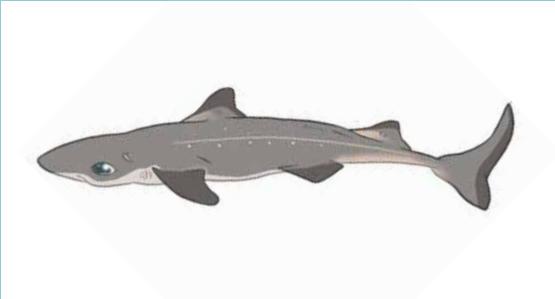


CREVETTE

Les crevettes habitent le plancher océanique et les eaux peu profondes près des côtes et estuaires. Elles se nourrissent de copépodes. Les crevettes se dissimulent dans le sable pour échapper à leurs prédateurs : aiguillat commun, phoque gris, maquereau commun et goéland argenté.



RÉSEAU TROPHIQUE DE LA MER DU NORD 2/2



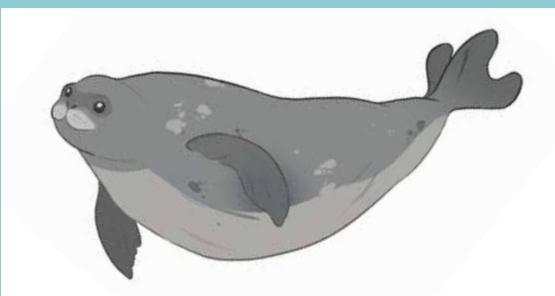
AIGUILLAT COMMUN

L'aiguillat commun est un petit requin mesurant environ 1 m de long, qui vit au grand large à des profondeurs situées entre 50 et 200 m. Il chasse en bancs et se nourrit d'autres poissons, comme le hareng ou le maquereau commun, et de méduses, de crevettes ou d'huîtriers.



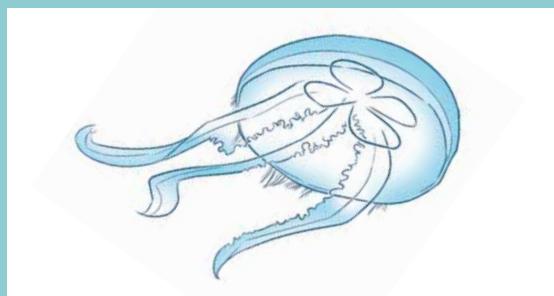
GOÉLAND ARGENTÉ

Le goéland argenté est le goéland le plus abondant des côtes de la Mer du Nord. Il se reproduit de préférence sur des falaises abruptes pour protéger ses œufs et ses poussins contre les prédateurs terrestres. Il est omnivore et se nourrit par exemple de harengs, de maquereaux communs, de crevettes et de moules communes.



PHOQUE GRIS

Le phoque gris vit en colonies sur le sable ou les rochers le long de la côte. Ce sont des carnivores et de très bons nageurs capables de plonger jusqu'à 70 m de profondeur pour attraper leur proie. Le phoque gris mange de tout ou presque : du poisson, comme le hareng ou le maquereau commun, mais aussi des crevettes ou des méduses.



MÉDUSE

La méduse peut nager mais le plus souvent elle se laisse dériver au gré des courants océaniques. Elle appartient donc à la famille du zooplancton. Elle attrape sa proie à l'aide de ses quatre tentacules, se nourrissant de phytoplancton et de zooplancton comme le copépodes. Elle compte l'aiguillat commun et les phoques gris parmi ses prédateurs.



La moule commune est un mollusque bivalve qui vit dans la zone intertidale. Elle s'attache aux rochers ou à ses congénères pour former de grands îlots de moules. Elle est macrophage suspensivore, c'est-à-dire qu'elle filtre le phytoplancton et le zooplancton (comme les copépodes) pour s'en nourrir. Parmi ses prédateurs, on trouve les huîtriers ou les mouettes, comme le goéland argenté.



HUÎTRIER-PIE

Les huîtriers-pie sont répandus dans la Mer des Wadden et d'autres zones intertidales peu profondes. Grâce à leur long bec orange, ces oiseaux parviennent à ouvrir la coquille des moules communes pour les manger.

FICHE D2.12



RÉSEAU TROPHIQUE DE L'ANTARCTIQUE 1/2



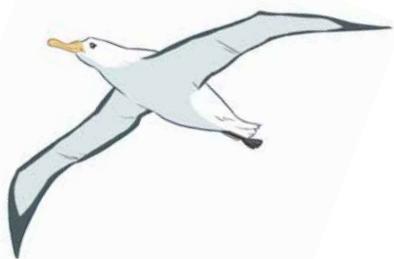
PHYTOPLANCTON

Le phytoplancton est un ensemble d'organismes microscopiques qui flottent dans la couche supérieure ensoleillée de l'océan. Comme les végétaux, le phytoplancton exploite la lumière du soleil, l'eau, le CO_2 et les minéraux dissous pour réaliser la photosynthèse et produire des composés organiques. Il s'agit donc d'un producteur primaire, se situant à la base du réseau trophique.



SEICHE

La seiche est un mollusque à croissance rapide. Elle a huit bras et deux tentacules plus longs qu'elle utilise pour attraper ses proies. La seiche mange du krill et est la source d'alimentation des phoques, des orques, des albatros, des manchots et des gros poissons comme les légines.



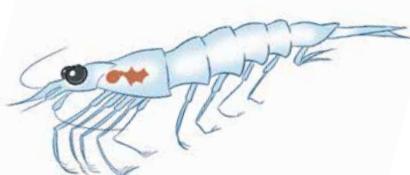
ALBATROS

L'albatros est un oiseau marin. Il détient le record de la plus grande envergure parmi toutes les espèces d'oiseaux actuelles, pouvant atteindre plus de 3 m. Il niche en colonies sur des îles reculées et mange de la seiche et du krill.



LÉGINE

Ce poisson des mers australes est présent à 2 000 m de profondeur. Il se nourrit de krill et de seiche et est mangé par les phoques et les manchots.



KRILL

Le krill est un élément constitutif du zooplancton, formé de petits animaux qui dérivent au gré des courants océaniques. Il peut mesurer jusqu'à plusieurs centimètres de long et peser jusqu'à 2 g. Le krill de l'Antarctique est l'une des espèces pluricellulaires les plus prolifiques au monde (env. 500 millions de tonnes). Il s'agit d'une espèce macrophage suspensivore, c'est-à-dire qu'elle filtre le phytoplancton de l'eau pour se nourrir. Il constitue la source d'alimentation de l'ensemble du réseau trophique de l'Antarctique, à l'exception de l'orque.

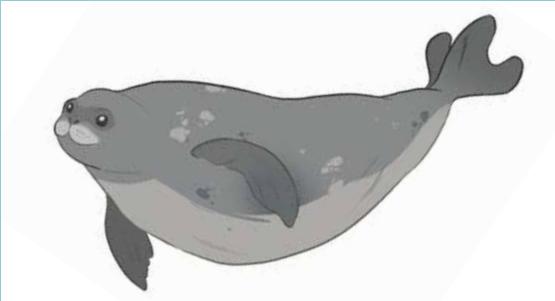


MANCHOT EMPEREUR

Les manchots se reproduisent sur la banquise antarctique pendant l'hiver. Les femelles pondent un œuf que les adultes gardent au chaud entre leurs pattes tout en se relayant pour aller chasser en mer. Leur forme élancée et leurs ailes ressemblant à des nageoires (ils ne volent pas) leur permettent de nager sous l'eau. Ils mangent du krill, de la seiche et de la légine et sont mangés par les phoques léopards et les orques.

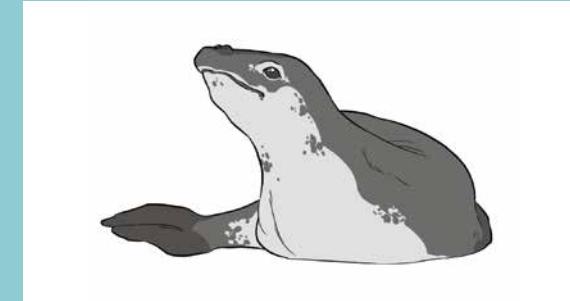


RÉSEAU TROPHIQUE DE L'ANTARCTIQUE 2/2



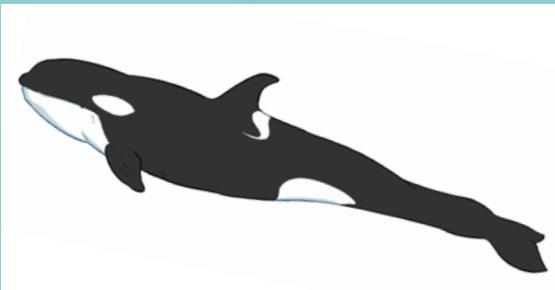
PHOQUE DE WEDDELL

Le phoque de Weddell mesure entre 2 et 3 m de long et a une espérance de vie de 20 ans environ. C'est un très bon plongeur capable de rester sous l'eau plus d'une heure en quête de nourriture (krill, seiche et légine).



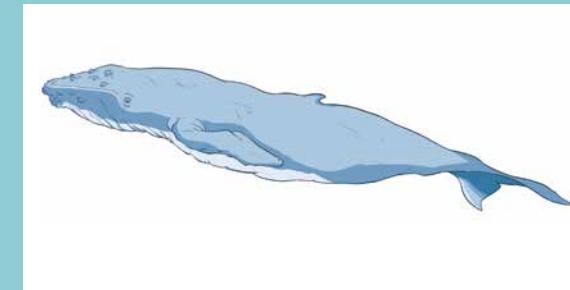
LÉOPARD DE MER

Le léopard de mer est un prédateur redoutable qui peut mesurer 4 à 5 m de long et peser jusqu'à 500 kg. C'est un animal solitaire qui peut vivre plus de 20 ans. Le phoque léopard se nourrit de manchots, de krill et de phoques de Weddell.



ORQUE

On trouve l'orque à la fois dans l'Arctique et l'océan Austral, mais il peut se déplacer jusque dans les eaux tropicales. Il s'agit d'un animal très sociable qui vit en meute. Ses techniques de chasse sont très développées et lui permettent de se nourrir de grands animaux comme les phoques, les baleines, les seiches et les manchots.



BALEINE À BOSSE

La baleine à bosse mesure en général 14 à 15 m de long et pèse environ 25 tonnes. Elle vit dans les océans du monde entier et se reproduit près de l'équateur. Elle migre soit vers l'Arctique soit vers l'Antarctique à l'approche de l'été et de la fonte de la banquise. Elle se nourrit de krill et est mangée par les orques.

SÉANCE D3

ACTIVITÉ HUMAINE, OCÉAN ET CRYOSPHERE

DISCIPLINE CONCERNÉE

Sciences Sociales/Arts visuels et du spectacle

DURÉE

- ~ Préparation : 20 min
- ~ Activité : 2 h

RÉSUMÉ

Cette partie est à adapter au contexte local: un exemple de situation concrète est fourni.

Dans le cadre d'une recherche documentaire et/ou d'une création artistique/d'un spectacle, les élèves découvrent l'importance culturelle de l'océan et de la cryosphère pour l'espèce humaine à travers l'histoire.

IDÉES À RETENIR

- ~ L'océan et la cryosphère ont toujours influencé et influencent encore notre histoire, notre culture et notre économie.
- ~ L'huile de baleine constituait une importante source d'énergie, bien avant l'utilisation du charbon, du gaz et du pétrole.
- ~ L'exploration polaire et le secteur de la chasse à la baleine sont étroitement liés: avec la découverte du Spitzberg et de l'Antarctique, les chasseurs de baleines ont repoussé les limites de leur terrain de chasse, multipliant ainsi leurs prises.
- ~ Depuis, la population de baleines a considérablement diminué. Cependant, le nombre de baleine est à nouveau en hausse aujourd'hui.

MOTS-CLÉS

Industrie baleinière, exploration polaire, économie, huile de baleine

MÉTHODE D'INVESTIGATION

Analyse documentaire



PRÉPARATION 20 MIN

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

- FICHES D3.1, D3.2, D3.3;
- Une longue feuille de papier (pour constituer une frise chronologique)
- Un ordinateur/tablette/téléphone portable avec un accès à internet
- Un planisphère

EN AMONT DE LA SÉANCE

1. Dressez une liste des sites internet pouvant être utilisés dans l'étude documentaire (une première liste est disponible ci-dessous).
2. Imprimez les FICHES D3.1, D3.2, D3.3, en un exemplaire par élève ou groupe d'élèves.

INTRODUCTION 10 MIN

Commencer par poser la question suivante aux élèves: *quelles étaient les principales sources d'énergie avant le pétrole, le gaz ou le charbon ? Qu'utilisait-on pour alimenter les lampadaires urbains avant le gaz et l'électricité ?* La réponse est l'huile de baleine.

DÉROULEMENT 1 H 40

PARTIE 1 (50 MIN): L'HUILE DE BALEINE

1. Calculez le nombre de baleines nécessaires pour alimenter, tous les jours, 5 000 lampadaires urbains de la ville de Londres en 1740, en sachant que:
 - un cachalot fournissait environ 30 barils d'huile (un baril contenant 158 litres d'huile);
 - un lampadaire consommait environ 2 litres d'huile toutes les 10 heures.

Réponse: environ une baleine par nuit était « brûlée » dans la ville de Londres.

2. Demandez aux élèves d'établir une chronologie de l'industrie baleinière, en commençant par la chasse au large du Pays Basque puis la chasse en Antarctique et en Géorgie du sud. Utilisez les liens fournis dans la FICHE D3.1. Les élèves peuvent mener leurs recherches de manière indépendante, en s'appuyant sur la FICHE D3.1.

3. En utilisant les informations collectées, identifiez le lien entre l'exploration de l'Arctique et de l'Antarctique et l'industrie baleinière. Réfléchir à l'impact des campagnes d'exploration sur l'économie. Les élèves peuvent rédiger un paragraphe ou prendre la parole. N'oubliez pas de discuter de la fiabilité des différentes sources d'information fournies.

PARTIE 2 (50 MIN) : LE PÉTROLE D'AUJOURD'HUI

4. Avec l'aide des FICHES D3.2 et D3.3 les élèves peuvent analyser et répondre aux questions sur les nouvelles routes maritimes qui se sont ouvertes suite à la fonte de la banquise Arctique.

En suivant les questions de la FICHE D3.3, débattre avec la classe autour des raisons et des conséquences de l'ouverture de ces nouvelles routes maritimes.

CONCLUSION 10 MIN

Discutez du parallèle entre, d'une part, l'utilisation de l'huile de baleine et des combustibles fossiles d'aujourd'hui (deux exemples de ressources exploitées) et, d'autre part, la recherche de nouvelles routes maritimes permettant d'accéder à de nouveaux gisements pétroliers. L'Arctique recèle nombre de gisements pétroliers intacts, dont l'exploitation aujourd'hui est rendue trop onéreuse à cause de leur inaccessibilité. Mais les choses sont en train de changer avec la fonte de la banquise et l'ouverture de nouvelles routes maritimes qui en faciliteront l'exploitation ; ainsi, la fonte de la banquise profitera non seulement aux entreprises de transport maritime, mais aussi aux groupes pétroliers.

ÉCLAIRAGE SCIENTIFIQUE

Du 11^e au 17^e siècle, l'exploration maritime a façonné l'économie mondiale. Du 16^e au 19^e siècle, le principal combustible utilisé était le bois. Toutefois, l'huile de baleine était employée pour alimenter les lampes à huile, afin de se chauffer et de cuisiner. En outre, l'huile de cachalot servait de lubrifiant pour les moteurs de haute qualité. Les fanons des baleines étaient utilisés dans la fabrication des corsets, tandis que leur viande était souvent directement consommée.

Pourchassées sans relâche pour leurs nombreuses qualités, les baleines ont vu leur population fortement chuter jusqu'au début du 20^e siècle. Les chasseurs ont été contraints d'aller dénicher de nouveaux terrains de chasse loin des côtes européennes afin de répondre à la demande croissante en huile. Par exemple, la découverte du Spitsberg (qui fait partie du l'archipel du Svalbard, au nord de la Norvège), connu pour ses populations importantes de baleines, a attiré des foules entières de chasseurs. Cette

compétition a donné lieu à des litiges, en particulier entre les baleiniers néerlandais, anglais et français. Plus tard, le déclin des populations de baleines provoqué par la surpêche ainsi que l'exploration de nouveaux territoires et de régions polaires, ont poussé les flottes de baleiniers à se tourner vers les zones de migration des baleines, en Géorgie du Sud et en Antarctique notamment.

Aujourd'hui, la chasse à la baleine n'existe presque plus et les populations se rétablissent peu à peu.

On peut comparer la demande en produits issus des baleines de la fin du 20^e siècle à celle en combustibles fossiles aujourd'hui : ces ressources sont utilisées dans tous les secteurs de notre société et notre économie en dépend fortement. Or, ce sont aussi des ressources limitées et leur utilisation a de nombreuses répercussions sur les écosystèmes de notre planète.

FICHE D3.1



EXPLORATION POLAIRE :

- https://fr.wikipedia.org/wiki/Histoire_de_l%27Antarctique
- <http://www.cosmovisions.com/ChronoPolesExplorN.htm>
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Exploration_polaire
- <https://www.cafe-sciences.org/la-course-au-pole-sud-exploration-de-lantarctique/>

CHASSE À LA BALEINE :

- https://fr.wikipedia.org/wiki/Chasse_%C3%A0_la_baleine
- <https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/zooologie-cetaces-nos-cousins-mers-782/page/8/>
- https://www.persee.fr/doc/estat_0423-5681_1955_num_10_10_9016
(pages 24 + 25 pour les prix et la consommation)
- <https://www.nationalgeographic.fr/histoire/2018/08/quand-tout-était-bon-dans-la-baleine>
- <https://laurelineenmer.wordpress.com/balade-au-svalbard-2016/huile-de-baleine-lodyssée-des-européens/>

ROUTES MARITIMES :

- https://fr.wikipedia.org/wiki/Passage_du_Nord-Est
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Passage_du_Nord-Ouest
- <https://www.geo.fr/environnement/louverture-de-la-route-du-nord-de-larctique-bouscule-le-fret-mondial-192791>
- <https://baleinesendirect.org/ouverture-du-passage-du-nord-ouest-mammifères-marins-a-risque/>
- <https://www.bateaux.com/article/30182/passage-nord-ouest>



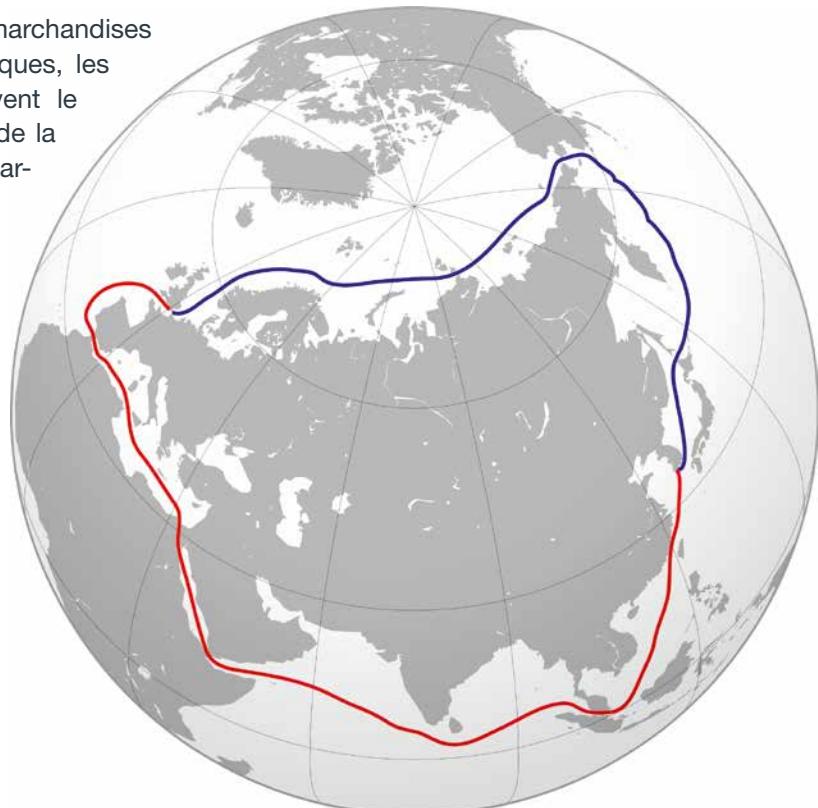
FICHE D3.2

L'image ci-dessous représente un navire porte-conteneur.
Une grande partie du transport maritime se fait grâce à ces navires.



Aujourd'hui, pour acheminer des marchandises entre les côtes européennes et Asiatiques, les grands navires porte-conteneurs suivent le tracé rouge (appelé la route maritime de la soie), sur environ 21 200 km, qu'ils parcourront en une cinquantaine de jours !

- À votre avis, pourquoi ne peuvent-ils pas suivre le tracé bleu (la voie maritime Arctique) ? Elle ne fait qu'environ 14 062 km et le temps de trajet serait raccourci de deux semaines.





FICHE D3.3

Observez une fois encore ces images que vous avez déjà vues dans une séance précédente.

- ➔ Vous rappelez-vous de la différence entre ces deux images ?
- ➔ Pouvez-vous dessiner le tracé bleu de l'image précédente sur ces deux images ?
- ➔ Selon vous, les grands navires porte-conteneurs pouvaient-ils suivre le tracé bleu en 1979 ? Et en 2015 ?



Source : NASA – <https://svs.gsfc.nasa.gov/4435>

Aujourd’hui, certains navires empruntent déjà la voie maritime arctique, mais sont généralement escortés par des brise-glaces, qui sont de puissants navires capables de briser la banquise afin de créer un passage. Cette pratique étant dangereuse et onéreuse, peu d’entreprises de transport maritime choisissent d’emprunter cette route. Jusqu’à il y a peu, il était presque impossible pour les navires porte-conteneurs d’emprunter la voie maritime Arctique : en septembre 2018, le navire Venta Maersk (image sur la fiche D3.2), « certifié glace », a réussi la traversée. Il fut le premier porte-conteneur à emprunter la voie maritime arctique (le tracé bleu) et n’eut besoin d’être escorté que par un seul brise-glace, et ce, pendant quelques jours à peine.

- ➔ À votre avis, pourquoi le Venta Maersk a-t-il réussi la traversée en 2018 presque sans escorte de brise-glaces ?
- ➔ Est-ce une bonne ou une mauvaise chose ? Pourquoi ?
- ➔ Selon vous, à qui cela profitera le plus ?

Remarque : un navire certifié glace est capable de naviguer à travers 1 mètre d’épaisseur de glace.

SÉQUENCE E

QUE PEUT-ON FAIRE ?

Une fois que sont assimilés les enjeux et les conséquences du changement climatique sur l'océan et la cryosphère, il ne reste plus qu'une étape avant de passer à l'action: accepter que nous sommes responsables de ce qu'il se passe. C'est l'objectif de cette dernière séquence, qui précède la partie «Agir». Les élèves découvriront quelle est leur part de responsabilité, celle de leur famille et de leur pays, ainsi que leur degré d'exposition et de vulnérabilité face au changement climatique. Ils apprendront que les inégalités sociales sont inhérentes au change-

ment climatique et étudieront le concept de justice climatique. Enfin, ils découvriront que, partout dans le monde, de nombreuses personnes agissent déjà pour atténuer ce changement et s'y adapter, et pourront décider de ce qu'ils peuvent faire à leur échelle. Cette séquence est profondément ancrée dans les sciences sociales et a pour but d'inciter les élèves à réfléchir au-delà des questions cantonnées aux incidences du changement climatique sur l'environnement et à ses capacités de survie.

LISTE DES SÉANCES

 Séances principales

 Séances facultatives

	E1	Calculer notre empreinte carbone Sciences sociales/SVT Les élèves calculent leur bilan carbone et débattent de ce qu'ils peuvent faire pour réduire leur empreinte.	 page 140
	E2	Justice climatique : un débat Sciences sociales Les élèves débattent autour des questions portant sur la justice climatique.	 page 143
	E3	Justice climatique : un jeu de rôle Sciences sociales (<12 ans) Dans le cadre d'un jeu de rôle, les élèves découvrent les inégalités entre les pays en termes de richesse et d'émissions de gaz à effet de serre. Un autre jeu de rôle leur permet de réaliser que les pays ne présentent pas tous la même vulnérabilité au changement climatique; les plus vulnérables n'ayant pas toujours la plus grande part de responsabilité.	 page 147
	E4	Mesures d'adaptation et d'atténuation Sciences sociales/SVT Les élèves réalisent qu'il existe de nombreuses solutions, d'adaptation ou d'atténuation, pour faire face au changement climatique et que de nombreuses personnes et organisations sont déjà actives. Les élèves choisissent un projet d'adaptation/d'atténuation sur lequel travailler.	 page 155

SÉANCE E1

CALCULER NOTRE EMPREINTE CARBONE

DISCIPLINE CONCERNÉE

Sciences sociales / SVT

DURÉE

- ~ Préparation : 10 min
- ~ Activité : 2 h

RÉSUMÉ

Les élèves calculent leur bilan carbone et débattent de ce qu'ils peuvent faire pour réduire leur empreinte.

IDÉES À RETENIR

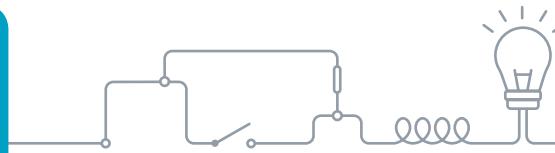
- ~ Chacun d'entre nous a une empreinte carbone ; cependant, nous pouvons atténuer les effets du changement climatique en réduisant nos émissions individuelles de gaz à effet de serre.
- ~ Chaque pays et chaque individu a une empreinte carbone différente.

MOTS-CLÉS

Empreinte carbone, émissions de gaz à effet de serre

MÉTHODE D'INVESTIGATION

Collecte de données



➔ CONSEIL À L'ENSEIGNANT

Cette session est obligatoire pour les classes qui ont choisi de mener un projet d'atténuation (voir la partie 2 de ce manuel), mais elle peut aussi s'inscrire dans le cadre d'un projet d'adaptation. Elle est de loin plus adaptée aux classes des pays développés, où les émissions de CO₂ par habitant sont plus élevées que dans les pays en développement.

INTRODUCTION 10 MIN

Expliquez que pour réduire nos émissions de gaz à effet de serre, il est nécessaire de comprendre quels sont, parmi nos comportements quotidiens, ceux qui génèrent les émissions les plus importantes. C'est pourquoi nous devons calculer notre «empreinte carbone».

Pour commencer la séance, vous pouvez vous servir de la FICHE E1.1 pour débattre autour des différentes quantités de gaz à effet de serre émis, selon eux, par leurs différentes activités du quotidien. Puisqu'ils ne connaîtront probablement pas cet exercice, vous pouvez commencer par leur dire qu'une voiture émet 20 kg d'eq-CO₂ tous les 100 km.

DÉROULEMENT 30 MIN

1. Expliquez le but de cette activité et la nécessité de répondre honnêtement à toutes les questions (il ne s'agit pas d'une course pour savoir «qui émet le moins de carbone», mais d'un outil leur permettant de comprendre comment agir à leur échelle.)
2. Laissez les élèves remplir le questionnaire en ligne et discuter en groupes.
3. Comparez les résultats et discutez des actions à mener pour réduire l'empreinte carbone des individus, des écoles, des familles, etc. Distribuez la FICHE E1.1 à chaque élève afin qu'ils la ramènent chez eux et en discutent avec leurs famille et amis.

PRÉPARATION 10 MIN

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

- FICHE E1.1 et/ou le questionnaire interactif en ligne
- Des ordinateurs (au moins 1 pour 2 élèves)

Ressources multimédia : animation interactive («Empreinte carbone»). Se référer à la page 192.

EN AMONT DE LA SÉANCE

1. Imprimez la FICHE E1.1 (une par élève)
2. L'animation interactive peut être utilisée à la fois en ligne et hors ligne (vous pouvez donc la télécharger en amont). Si l'école ne dispose pas d'ordinateurs, les calculs peuvent être faits à la main, sur une feuille de calcul imprimée, ou à la maison si les élèves disposent d'une connexion internet chez eux.

➔ CONSEIL À L'ENSEIGNANT

N'oubliez pas que les valeurs des émissions de gaz à effet de serre de cette séance ne sont communiquées qu'à titre indicatif, étant donné qu'elles dépendent de nombreux facteurs, tels que le pays/la région, l'individu, l'année concernée, etc. Vous pouvez toujours chercher des valeurs plus précises pour votre pays/région si vous le souhaitez.

CONCLUSION 20 MIN

Comparez l'empreinte carbone moyenne de la classe et l'empreinte carbone moyenne des différents pays. Discutez du besoin de réduire les émissions de carbone à l'échelle mondiale et questionnez la responsabilité des pays où les émissions de carbone par tête sont plus élevées. Ces pays émetteurs doivent prioritairement mettre en œuvre de mesures d'atténuation visant à réduire leurs émissions, tandis que d'autres pays peuvent se concentrer plutôt sur l'adaptation.

➔ CONSEIL À L'ENSEIGNANT

L'empreinte carbone ne mesure qu'un seul des nombreux impacts, à savoir nos émissions de gaz à effet de serre, que nous avons sur l'environnement. Les élèves doivent prendre conscience des autres impacts environnementaux liés aux biens et aux services que nous utilisons. Des arbres ont-ils été abattus ou des polluants ont-ils été relâchés pour fabriquer tel produit alimentaire ou tel autre produit ? Les agriculteurs ont-ils été rémunérés de manière équitable ?

ÉCLAIRAGE SCIENTIFIQUE

L'empreinte carbone est généralement définie comme la quantité totale des émissions de CO₂ et autres gaz d'une entité, d'une personne, d'un pays, d'une activité ou d'un produit et est exprimée en kilogrammes d'équivalent CO₂ (eq-CO₂).

L'eq-CO₂ est une mesure basée sur le Potentiel de Réchauffement Global de chaque gaz à effet de serre (se référer à l'Éclairage scientifique de la séance B3) qui sert à exprimer la quantité de CO₂ nécessaire pour produire le même réchauffement que ce gaz.

Dans le cas d'un produit par exemple, l'eq-CO₂ mesure l'effet des différents gaz à effet de serre émis pendant tout le cycle de vie de ce produit, depuis la phase de production en passant par le transport et l'utilisation jusqu'à la phase d'élimination/recyclage.

Calculer votre empreinte carbone vous permettra, à vous ainsi qu'aux camarades de votre groupe, d'identifier quelles activités produisent le plus d'eq-CO₂ et, ainsi, lesquelles doivent être ciblées en priorité. L'objectif est d'avoir une idée générale de chacune de vos contributions relatives à l'empreinte carbone, plutôt qu'une évaluation précise de celles-ci, afin d'identifier les plus importantes sur lesquelles agir. L'Éclairage scientifique des pages 22 à 25 vous donne des astuces pour savoir comment réduire votre empreinte carbone.



FICHE E1.1

ÉMISSIONS DE CO₂ MOYENNES GÉNÉRÉES PAR...

LES ORDINATEURS¹

- Un ordinateur de bureau utilisé 8 heures par jour produit 175 kg de CO₂ / an
- Un ordinateur portable utilisé 8 heures par jour produit entre 44 et 88 kg de CO₂ / an
- Un ordinateur en mode veille consomme 1/3 de la consommation d'un ordinateur allumé

INTERNET^{2,3}

- Un courriel avec une pièce-jointe d'1 Mo émet 20 g de CO₂, équivalant à une ampoule de 60W utilisée pendant 25 minutes
- Un courriel (texte uniquement, sans pièce-jointe) émet 4 g de CO₂
- Un message texte via le réseau de téléphonie mobile (SMS) produit 0,002 g de CO₂
- Un message texte via Internet (réseaux sociaux) produit 4 g de CO₂
- Une personne qui navigue sur Internet et fait 2,6 recherches par jour émet environ 10 kg de CO₂/an

LES TRANSPORTS⁴

- Une voiture émet 20 kg de CO₂/100 km/passager
- Un avion émet 10 kg de CO₂/100 km/passager
- Un scooter émet 8,4 kg de CO₂/100 km/passager
- Un bus émet 10 kg de CO₂/100 km/passager
- Un train émet de 0,6 à 4 kg de CO₂/100 km/passager

LA NOURRITURE⁵

- 1 kg de bœuf = 20 kg de CO₂ émis
- 1 kg de poulet = 6,2 kg de CO₂ émis
- 1 kg de bœuf brésilien consommé en Europe = 335 kg de CO₂ émis
- 1 kg de patates = 0,08 kg de CO₂ émis

UNE TONNE DE CO₂ ÉQUIVAUT À⁶

- 1 vol aller/retour entre Pékin (Chine) et Moscou (Russie) pour une personne
- près de 10 vols aller/retour entre Buenos Aires et Cordoue (Argentine) pour une personne
- 5 000 km parcourus en voiture
- La consommation moyenne d'une personne vivant en France durant une année pour son installation de chauffage
- Un arbre séquestrera 1 tonne de CO₂ au cours de sa vie

Note : Pour simplifier, les émissions de carbone sont ici exprimées en kg de CO₂. Les scientifiques mesurent en réalité les émissions en unités de eq-CO₂, qui tient compte à la fois du pouvoir réchauffant du CO₂, mais aussi de celui des autres gaz à effet de serre.

1 Sibelga - <https://www.energuide.be/>

2 Sibelga - <https://www.energuide.be/>

3 How bad are bananas ? The carbon footprint of everything, Mike Berners-Lee

4 <https://www.carbonfootprint.com/>

5 Recueil de l'analyse du cycle de vie, ADEME

6 Direction Générale de l'Aviation Civile

SÉANCE E2

JUSTICE CLIMATIQUE (POUR LES ÉLÈVES AVANCÉS)

DISCIPLINE CONCERNÉE

Sciences sociales

DURÉE

- ~ Préparation : 1 h
- ~ Activité : 1 h 30

RÉSUMÉ

Les élèves débattent autour de la problématique de justice climatique.

IDÉES À RETENIR

- ~ Tous les pays n'émettent pas la même quantité de gaz à effet de serre et n'ont pas la même vulnérabilité face aux effets du changement climatique.
- ~ Les pays les plus riches sont les principaux émetteurs de gaz à effet de serre.
- ~ Les sécheresses, les tempêtes et les inondations exacerbées par le changement climatique affectent principalement les habitants des pays en voie de développement, qui ont le moins contribué au changement climatique.
- ~ La majorité des habitants de la planète vit dans des pays qui connaissent un développement rapide ; cela aura des conséquences sur les futures émissions de gaz à effet de serre.
- ~ On observe une prise de conscience croissante quant à l'urgence d'agir à grande échelle pour limiter le changement climatique et protéger les plus vulnérables.
- ~ La science peut expliquer les origines et les mécanismes du changement climatique, mais ce sont les choix de chaque citoyen et les législations des pays qui font réellement la différence.

MOTS-CLÉS

Responsabilité, vulnérabilité, inégalité, justice climatique

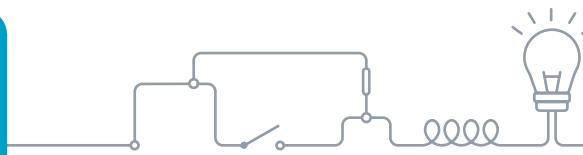
MÉTHODE D'INVESTIGATION

Debat

PRÉPARATION 1 H

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

- Documents préparés en lien avec la question qui a été choisie (voir point 3 du « Déroulement » ci-dessous)
- Magnétophone
- Un « bâton de parole »



EN AMONT DE LA SÉANCE

1. Préparez les documents en lien avec la question qui a été choisie.
2. Disposez toutes les chaises de la classe en cercle sans les tables.

→ CONSEIL À L'ENSEIGNANT

Cette séance est présentée sous la forme d'un « atelier philosophique ». Dans la mesure du possible, n'intervenez pas trop durant une séance de ce type pour ne pas orienter la discussion. L'objectif n'est pas de parvenir à une conclusion spécifique ou de distinguer le vrai du faux, mais plutôt de faire prendre conscience aux élèves de la difficulté des dilemmes auxquels notre société est confrontée. Dans ce contexte, la science et les faits nourrissent la réflexion, mais ce sont les choix moraux ou éthiques qui permettent à chacun de se forger sa propre opinion.

L'organisation du débat vise à faciliter la liberté d'expression. La question qui ouvre le débat doit être choisie en fonction du contexte local, des événements actuels, etc. Les questions que nous proposons ne sont que des exemples.

INTRODUCTION 10 MIN

Nous avons acquis des connaissances sur l'effet de serre et les conséquences du changement climatique. Nous avons vu que de nombreux services écosystémiques dont nous dépendons pourraient être bouleversés. Nous allons maintenant réfléchir aux éventuelles conséquences du point de vue de la justice sociale.

DÉROULEMENT 1H10

1. Les élèves s'assoient en cercle. Vous restez en dehors du cercle.
2. Expliquez aux élèves les règles du débat philosophique :
 - Un bâton de parole circulera d'élève en élève. Chaque élève a le droit de présenter ses réflexions sur la question qui sera posée, mais seulement lorsqu'il a le bâton en main.

- Il n'y a pas de bonne ou de mauvaise réponse.
- Personne n'a le droit de parler en même temps que celui / celle qui tient le bâton.
- Personne n'a le droit de juger ou de se moquer de celui / celle qui parle. Chacun est tenu d'écouter et de respecter les idées des autres.
- Personne n'est obligé de parler quand son tour arrive. L'élève peut simplement passer le bâton s'il / elle ne souhaite pas prendre la parole.
- Vous pouvez enregistrer les réponses.

3. Demandez aux élèves de réfléchir à l'une des problématiques suivantes (choisissez une seule question, celle qui semble la plus pertinente pour votre classe) :

- *Est-ce que nous devrions accueillir des réfugiés climatiques d'autres pays ?*
- *Les pays développés devraient-ils payer davantage pour atténuer le changement climatique que les pays en voie de développement, même si aujourd'hui, certains pays en voie de développement émettent plus de gaz à effet de serre ?*
- *Pourquoi devrions-nous agir ? N'est-ce pas aux gouvernements ou aux entreprises de faire quelque chose plutôt qu'à nous ?*
- *Le coût de la lutte contre le changement climatique devrait-il être supporté par les plus responsables ou par ceux qui bénéficieront le plus de la limitation de ses conséquences ?*
- *Afin d'aider les pays les plus pauvres, est-il plus efficace de lutter contre le changement climatique ou de continuer à maximiser la croissance économique ?*
- *Pourquoi devrions-nous faire un effort si d'autres, pays ou individus, ne sont pas prêts à y consentir eux-mêmes ?*
- *Lutter contre le changement climatique implique des changements drastiques dans notre mode de vie. Ces changements drastiques ne vont-ils pas entraîner des problèmes sociaux encore plus graves ?*
- *Pourquoi devrions-nous payer pour les conséquences d'actions de nos parents et grands-parents ?*

4. Après quelques minutes, donnez le bâton à un élève au hasard et demandez-lui de partager ses réflexions sur le sujet. Lorsque le bâton a fait un tour complet, demandez aux élèves qui n'ont pas parlé s'ils veulent le faire. À la fin, arrêtez l'enregistrement.

5. Demandez aux élèves s'ils veulent donner leur opinion sur la façon dont s'est déroulé l'exercice : *chacun a-t-il été entendu et respecté ? Était-ce un exercice difficile ? Les opinions étaient-elles intéressantes ?*

6. Faites écouter les enregistrements aux élèves et dites-leur ensuite de relever tous les arguments pour et contre mentionnés. Écrivez-les au tableau.

7. Distribuez les documents que vous avez préparés à chaque élève. *Au regard de la précédente discussion, quels arguments dans les documents confortent ou réfutent chaque point de vue ?*

CONCLUSION 10 MIN

Terminez la séance en demandant aux élèves : *En réfléchissant à ce que vous avez appris autour de la responsabilité et de la vulnérabilité face au changement climatique, pensez-vous que le changement climatique soit « juste » ?* Les questions de la richesse, des émissions de gaz à effet de serre et des différences d'exposition aux conséquences climatiques devraient être discutées. Ainsi, les pays les plus riches sont les principaux émetteurs de gaz à effet de serre par personne, mais ils sont moins exposés et vulnérables aux effets du changement climatique. Cela s'explique par leur situation géographique et les moyens dont ils disposent pour s'adapter à et y faire face.

ÉCLAIRAGE SCIENTIFIQUE

Les émissions actuelles de gaz à effet de serre ne sont pas réparties de façon homogène entre les pays. En 2017, 58% des émissions mondiales de CO₂ d'origine fossile étaient produites par la Chine (27%), les États-Unis (17%), l'Union européenne (10%) et l'Inde (7%). Si l'on considère les émissions par habitant, le classement change : États-Unis 16,2 tonnes/personne ; Chine et Union européenne 7 tonnes/personne ; Inde 1,8 tonne/personne. Cela signifie notamment que même si la Chine est le premier émetteur, étant le pays le plus peuplé au monde, les émissions par personne sont inférieures à celles des États-Unis, qui comptent environ 1 milliard d'individus en moins, mais où chaque habitant émet en moyenne davantage que le citoyen chinois moyen.

Au cours de leur développement, les pays aujourd'hui industrialisés ont largement contribué à la concentration actuelle de CO₂ : au cours de la période 1880-1980, les États-Unis et l'Europe ont émis chacun 30% des émis-

[...]

[...] sions de CO₂ du fait de la combustion d'énergies fossiles. Aujourd'hui encore, les pays développés restent les principaux émetteurs de gaz à effet de serre. La contribution du continent Asiatique (Chine et Inde) a commencé à augmenter vers l'an 2000, en raison de leur industrialisation et de leur croissance démographique.

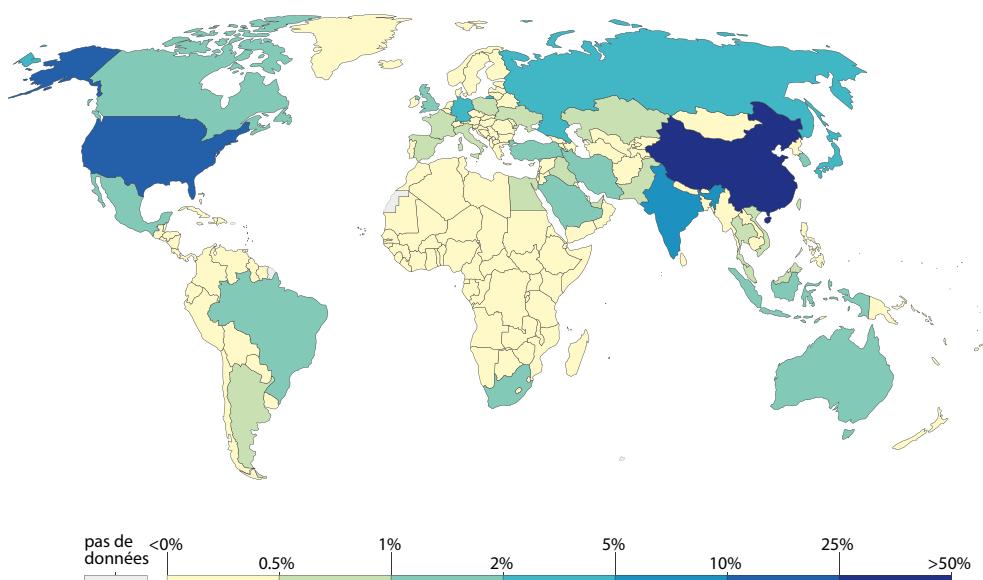
Tous les pays ne possèdent pas la même responsabilité dans les émissions de gaz à effet de serre et tous les pays ne sont pas touchés de la même manière par les conséquences du changement climatique; souvent, les premières victimes ne sont pas les plus grands émetteurs (se référer aux pages 20-26 de l'Éclairage scientifique général pour de plus amples informations sur l'exposition et la vulnérabilité). Prendre une mesure concrète qui veille aussi à la **justice climatique** nécessite donc de pondérer les différents facteurs: les pays les plus industrialisés, qui ont bâti et continuent de créer leur richesse grâce aux énergies fossiles, doivent-ils être considérés comme responsables des dommages causés par le changement climatique dans les pays moins riches? Supposons qu'une taxe carbone soit mise en place pour réduire les émissions de CO₂ (sur l'utilisation des véhicules à moteur thermique par exemple), comment garantir qu'elle ne détériore pas davantage

les conditions de vie de la frange la moins aisée de la population? Si de nouvelles centrales électriques «zéro carbone» sont installées dans des pays en voie de développement qui ont énormément besoin d'énergie, qui devra supporter les surcoûts, par rapport à des installations plus classiques, comme les centrales électriques à gaz?

Ces questions, et la recherche de solutions, illustrent la complexité du système Terre qui, à l'anthropocène, inclut les sociétés humaines. Tout ou presque y est interconnecté et interdépendant, une action peut alors avoir des rétroactions nulles, négatives, ou encore positives. Dans le dernier cas, elles aggravent la situation générale. La science peut et doit apporter les faits et les éléments de preuve, ajuster les prévisions, estimer la probabilité des phénomènes de même qu'elle fait de son mieux pour tirer des conclusions rationnelles et les communiquer au plus grand nombre. Néanmoins, **la science à elle seule ne peut ni fixer les règles du jeu, ni déterminer catégoriquement ce qui est juste, ni démontrer la pertinence d'une solidarité internationale**. Face à des problématiques éminemment complexes et d'envergure mondiale, **les valeurs éthiques et morales des individus et des sociétés sont, en fin de compte, à la base des décisions et de nos choix**.

PART (EN%) DES ÉMISSIONS MONDIALES CUMULÉES DE CO₂ EN 2017

Part de chaque pays dans les émissions mondiales de dioxyde de carbone (CO₂). Elle est mesurée en divisant les émissions de chaque pays par la somme des émissions de tous les pays au cours d'une année donnée, auxquelles s'ajoutent l'aviation et le transport maritime internationaux (appelés "bunkers") ainsi que les "différences statistiques" dans les calculs des émissions de carbone.



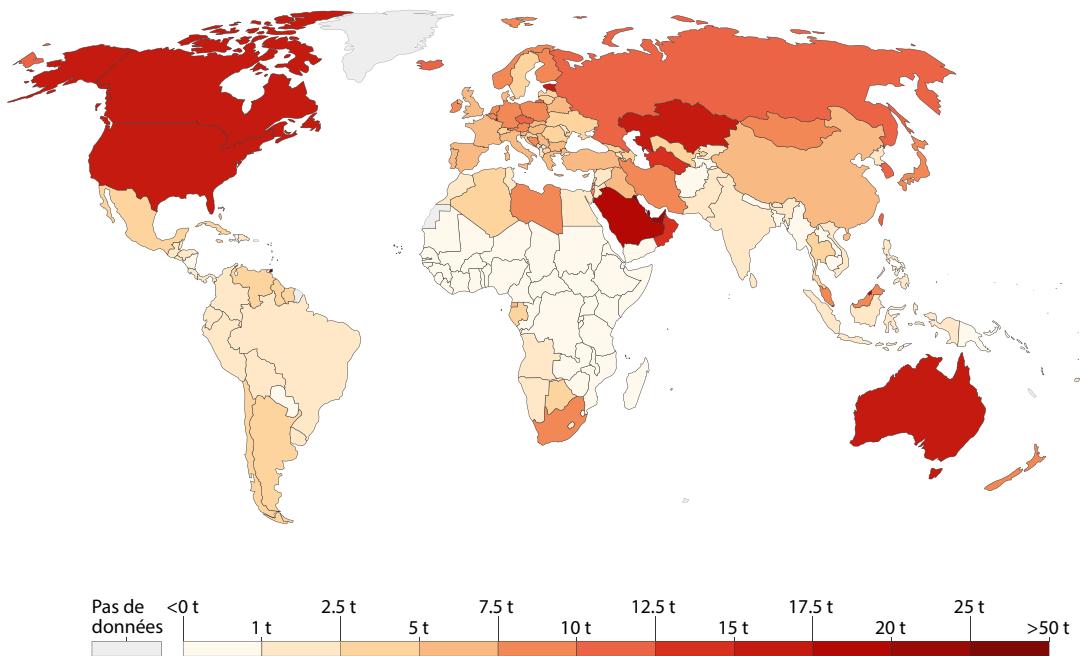
Source : Our World in Data based on Global Carbon Project (2018) – CC BY.
<http://OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>

[...]

[...]

ÉMISSIONS DE CO₂ PAR HABITANT EN 2017

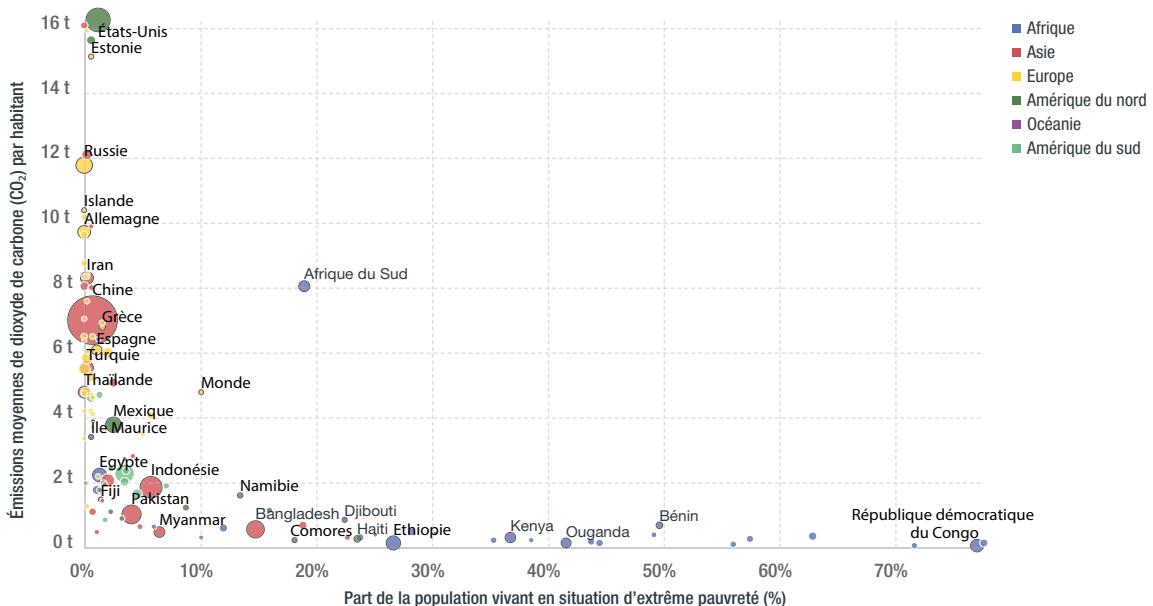
Émissions moyennes de dioxyde de carbone (CO₂) par habitant, mesurées en tonnes par an.



Source : OWID based on CDIAC; Global Carbon Project; Gapminder & UN.
<http://OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/>

ÉMISSIONS DE CO₂ PAR HABITANT EN 2017 VS. PART DES PERSONNES VIVANT EN SITUATION D'EXTRÊME PAUVRETÉ

Les émissions moyennes de CO₂ par habitant sont mesurées en tonnes/an. «L'extrême pauvreté» se définit comme le fait de vivre avec ou de percevoir moins de 1,9 «dollars internationaux» par jour. Les dollars internationaux tiennent compte des différences de prix selon les pays et de l'inflation..



Source : Global Carbon Project; World Bank; Gapminder & UN.
<http://OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/>

SÉANCE E3

JUSTICE CLIMATIQUE¹

DISCIPLINE CONCERNÉE

Sciences sociales

DURÉE

- ~ Préparation : 15 min
- ~ Activité : 2 h

RÉSUMÉ

Dans le cadre d'un jeu de rôle, les élèves découvrent les inégalités entre les pays en termes de richesse et d'émissions de gaz à effet de serre. Un autre jeu de rôle leur permet de réaliser que les pays ne présentent pas tous la même vulnérabilité au changement climatique; les plus vulnérables n'ayant pas toujours la plus grande part de responsabilité.

IDÉES À RETENIR

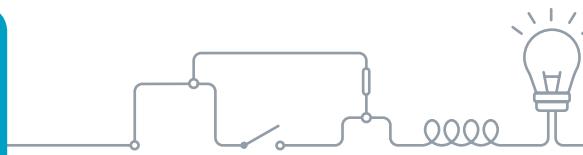
- ~ Les pays émettent différentes quantités de gaz à effet de serre. Leur vulnérabilité face au changement climatique est très variable.
- ~ Les pays riches émettent la plus grande quantité de gaz à effet de serre.
- ~ Rendus plus dévastateurs sous l'effet du changement climatique, les phénomènes de sécheresse, orages et inondations touchent en majorité les populations des pays en voie de développement, qui pourtant ont le moins contribué au changement climatique.
- ~ La majorité des habitants de la planète vivent dans des pays qui connaissent une très forte croissance économique, ce qui aura des répercussions sur les futures émissions de gaz à effet de serre.
- ~ On observe une prise de conscience croissante quant à l'urgence d'agir à grande échelle pour limiter le changement climatique et protéger les populations les plus vulnérables.
- ~ La science peut expliquer les origines et les mécanismes du changement climatique, mais ce sont les choix de chaque citoyen et la législation des pays qui font réellement la différence.

MOTS-CLÉS

Changement climatique, gaz à effet de serre, responsabilité, vulnérabilité, injustice, justice climatique

MÉTHODE D'INVESTIGATION

Jeu de rôle



PRÉPARATION 15 MIN

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

- FICHES E3.1², E3.2 (ou des petites voitures (jouets), E3.3, E3.4, E3.5
- Du papier et des crayons
- Un planisphère (facultatif)

EN AMONT DE LA SÉANCE

Cette séance comprend deux activités distinctes, qui peuvent être réalisées séparément ou conjointement, en fonction des besoins.

Première activité

- Veillez à ce qu'il n'y ait qu'une seule chaise par élève dans la salle.
- Imprimez la FICHE E3.1 (un exemplaire pour vous).
- Distribuez une petite voiture à chaque élève ou imprimez la FICHE E3.2 (un exemplaire pour toute la classe).
- Répartissez des étiquettes «continents» dans la salle (sur le sol ou contre les murs).

Deuxième activité

Imprimez les FICHES E3.3, E3.4, and E3.5 (une par groupe de 6 élèves).

CONSEIL À L'ENSEIGNANT

Se référer à l'Eclairage scientifique de la séance E2.

INTRODUCTION 20 MIN

Nous avons traité la question des gaz à effet de serre et les conséquences du changement climatique. Nous savons que bon nombre de services rendus par l'écosystème pourraient être bouleversés. Débattez avec les élèves autour de la responsabilité et de la vulnérabilité des pays face au changement climatique.

1 Cette séance s'inspire de la Séance 4 du manuel «Creating Futures» (Bâtir l'avenir), élaboré dans le cadre de l'initiative Education for a Just World (Éducation pour un monde juste) de Trócaire et du Centre pour les Droits de l'Homme et l'Éducation Citoyenne (CHRC), l'Institut d'Éducation DCU (Dublin, Irlande). Elle s'inspire également du manuel éducatif «Ma maison, ma planète et moi!», produit par la fondation La main à la pâte. L'OCE en remercie vivement les auteurs.
2 Une version Excel est disponible sur le site internet de l'OCE si une adaptation ou une mise à jour est nécessaire (data-chair-game.ods): <https://www.oce.global/fr/resources/activites-de-classe/le-climat-entre-nos-mains-ocean-et-cryosphere>

DÉROULEMENT 1 H 20

PREMIÈRE ACTIVITÉ (45 MINUTES): QUI SONT LES PLUS GRANDS POLLUEURS?

→ CONSEIL À L'ENSEIGNANT

Il est possible de remplacer les chaises par des figurines qu'on place sur une table.



1. Demandez aux élèves de former un cercle: ils représentent les 8 milliards (ou presque) d'êtres humains sur Terre. Pour mieux faire passer le message, vous pouvez d'abord interroger les élèves sur la proportion d'hommes et de femmes dans le monde et leur demander de diviser la classe en conséquence, indépendamment du sexe des élèves. Pour simplifier les choses, vous pouvez facilement répartir les 8 milliards d'êtres humains en deux groupes de part et d'autre de la classe: 4 milliards d'hommes et 4 milliards de femmes.



Les élèves répartis en cercle.

2. Demandez ensuite aux élèves de former un autre cercle. Ils doivent se répartir entre les continents, représentés par des étiquettes placées dans la salle, selon ce qu'ils pensent être les proportions réelles en termes de population; à ce stade, ils ne disposent pas encore de statistiques.

3. En vous appuyant sur le tableau de la FICHE E3.1, donnez les proportions réelles entre les continents aux élèves, qui peuvent se réorganiser le cas échéant. Chaque élève représente maintenant une partie de la population d'un continent. L'Océanie est si peu peuplée, par rapport aux autres continents, que ce continent n'a même pas un élève «complet» pour le représenter. L'élève représentera le même continent durant toute l'activité. Discutez de la proportion réelle des habitants des différents continents.

4. Chaque élève va ensuite chercher une chaise et s'assied devant l'étiquette de son continent avec les autres élèves de son groupe. Dites aux élèves que les chaises représentent toutes les richesses de la planète. Chaque groupe d'élèves doit maintenant s'interroger sur la répartition des chaises entre les continents, puis partager avec la classe ses conclusions. La classe entière doit maintenant décider de disposer différemment les chaises ou non entre les continents. Attention, les élèves ne doivent pas changer de continents.



Les élèves représentant la population d'Afrique et ses richesses



Les élèves représentant la population d'Europe et ses richesses

5. En vous appuyant sur le tableau de la FICHE E3.1, donnez aux élèves la répartition réelle des richesses dans le monde. Disposez les chaises différemment, le cas échéant. Demandez aux élèves de s'assoir sur une chaise sans quitter leur continent. Certains élèves n'auront pas de chaises, ou devront partager, alors

que d'autres en auront trop, suffisamment même pour s'en servir de repose-pied.

6. Demandez aux élèves de faire part de leur ressenti. Faites le lien avec la réalité en parlant des conflits, de la migration, de la justice et des inégalités.

7. Les élèves, toujours à leur place avec leur part de chaises, doivent maintenant se poser la question de savoir si les quantités d'émissions de gaz à effet de serre entre et au sein des continents sont réparties de manière homogène. Les élèves réfléchissent également aux différentes quantités d'émissions par habitant entre les continents (qui sont les plus grands et les plus petits pollueurs).



Vous pouvez résumer l'activité en demandant aux élèves de faire figurer la population, les richesses et les émissions de gaz à effet de serre sur un planisphère. Cette carte est fournie à titre d'exemple : elle a été réalisée par une classe il y a plusieurs années, les répartitions ne sont donc plus à jour.

8. Les petites voitures (ou les images de voitures de la FICHE E3.2) représentent la quantité moyenne d'émissions de gaz à effet de serre par année. Répartissez les voitures entre les continents selon la proportion réelle d'émissions (se référer au 3e tableau de la FICHE E3.1). *Combien y a-t-il de petites voitures par personne sur chaque continent ?*

Débattez autour des émissions de gaz à effet de serre ramenées au nombre d'habitants et aux richesses de leur continent. Insistez sur le fait que les émissions de gaz à effet de serre par tête diffèrent d'un continent à l'autre. Que se passera-t-il quand les autres populations du monde accéderont aux mêmes conditions de vie que celles des européens et des nord-américains ? Les habitants d'un même continent émettent-ils tous la même quantité de gaz à effet de serre ? (Comparez le nombre de chaises et le nombre de voitures de chaque groupe).

DEUXIÈME ACTIVITÉ (35 MINUTES) : QUI EST LE PLUS VULNÉRABLE FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE ?

9. Après avoir discuté de la responsabilité face au changement climatique, les élèves vont se pencher sur la question de la vulnérabilité. Divisez la classe en groupes de 6 élèves maximum et distribuez à chaque élève une carte des FICHES E3.3 et E3.4 représentant un rôle à jouer.

10. Demandez aux élèves de se mettre en rangs au milieu de la classe et de tenir leur carte de manière à ce que les autres élèves puissent voir quel rôle ils jouent. Lisez les séries d'affirmations « Pas en avant » et « Pas en arrière » de la FICHE E3.5 et demandez aux élèves de :

- faire un pas en avant si chacune des affirmations de la première série est vraie pour le personnage qu'ils incarnent,
- faire un pas en arrière si chacune des affirmations de la deuxième série est vraie pour le personnage qu'ils incarnent.



Ici, les élèves réalisent la deuxième activité

11. Discutez avec les élèves de la situation des populations les plus vulnérables face au changement climatique et des raisons qui l'expliquent.

CONCLUSION 20 MIN

Terminez la séance en demandant aux élèves : *en réfléchissant à ce que vous avez appris autour de la responsabilité et de la vulnérabilité face au changement climatique, pensez-vous que le changement climatique soit « juste » ?* Les questions de la richesse, des émissions de gaz à effet de serre et des différences d'exposition aux conséquences climatiques devraient être discutées. Ainsi, les pays les plus riches sont les principaux émetteurs de gaz à effet de serre par personne, mais ils sont moins exposés et vulnérables aux effets du changement climatique. Cela s'explique par leur situation géographique et les moyens dont ils disposent pour s'adapter à et y faire face.

FICHE E3.1



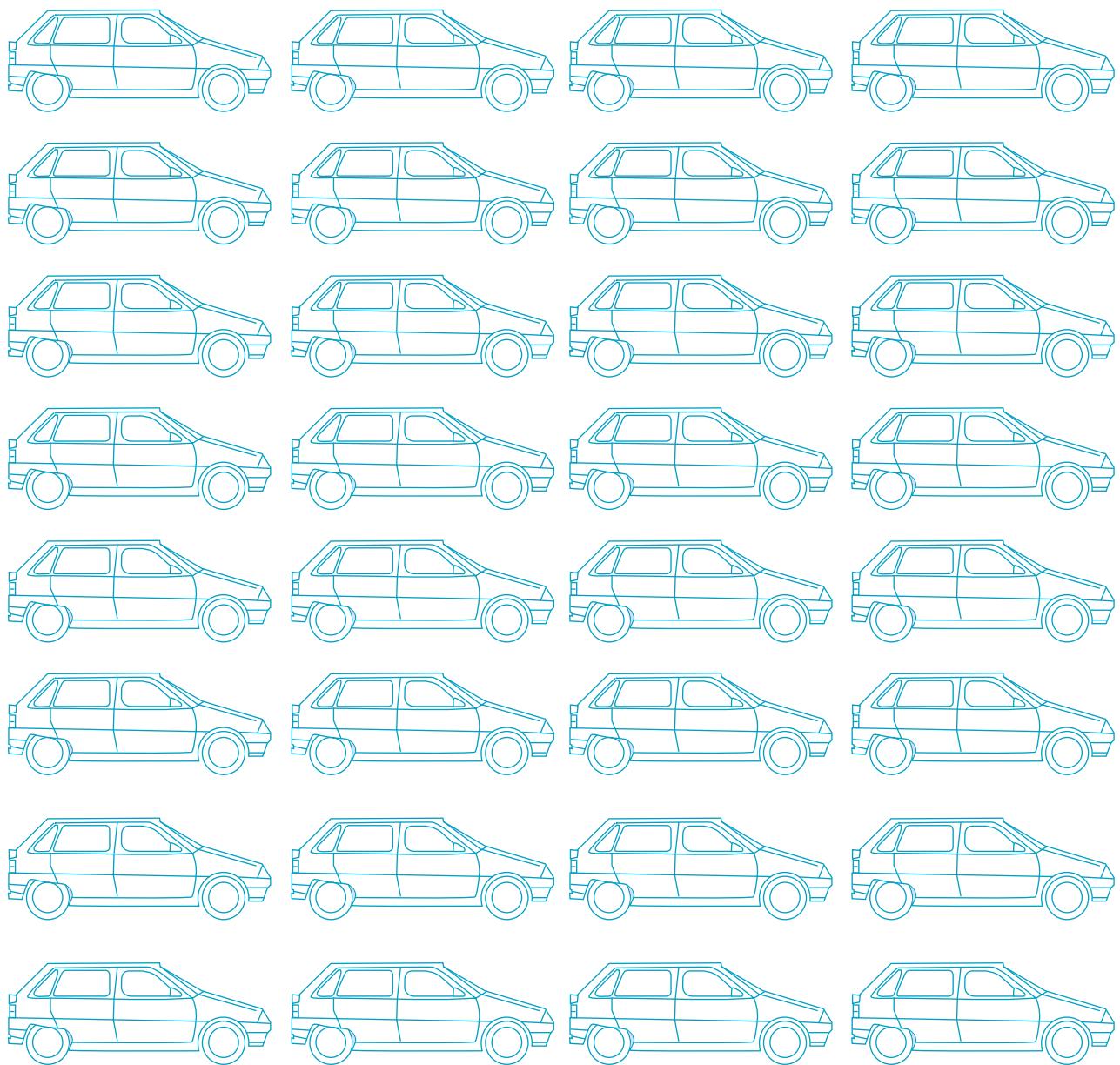
CONTINENT	POPULATION %	NOMBRE D'ÉLÈVES PAR CONTINENT																	
		Classe de 15 élèves	Classe de 16 élèves	Classe de 17 élèves	Classe de 18 élèves	Classe de 19 élèves	Classe de 20 élèves	Classe de 21 élèves	Classe de 22 élèves	Classe de 23 élèves	Classe de 24 élèves	Classe de 25 élèves	Classe de 26 élèves	Classe de 27 élèves	Classe de 28 élèves	Classe de 29 élèves	Classe de 30 élèves		
Afrique	17%	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5		
Asie	59%	9	9	10	11	11	12	12	13	14	14	15	16	17	18	18	18		
Europe	10%	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	
Amérique Latine	8%	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Amérique du N.	5%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	
Océanie	1%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Total	100%	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		

CONTINENT	POPULATION %	NOMBRE DE CHAISES PAR CONTINENT																	
		Classe de 15 élèves	Classe de 16 élèves	Classe de 17 élèves	Classe de 18 élèves	Classe de 19 élèves	Classe de 20 élèves	Classe de 21 élèves	Classe de 22 élèves	Classe de 23 élèves	Classe de 24 élèves	Classe de 25 élèves	Classe de 26 élèves	Classe de 27 élèves	Classe de 28 élèves	Classe de 29 élèves	Classe de 30 élèves		
Afrique	5%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	
Asie	49%	7	8	8	9	10	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14	15		
Europe	21%	3	3	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6		
Amérique Latine	7%	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
Amérique du N.	17%	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5		
Océanie	1%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Total	100%	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		

CONTINENT	POPULATION %	NOMBRE DE VOITURES PAR CONTINENT																	
		Classe de 15 élèves	Classe de 16 élèves	Classe de 17 élèves	Classe de 18 élèves	Classe de 19 élèves	Classe de 20 élèves	Classe de 21 élèves	Classe de 22 élèves	Classe de 23 élèves	Classe de 24 élèves	Classe de 25 élèves	Classe de 26 élèves	Classe de 27 élèves	Classe de 28 élèves	Classe de 29 élèves	Classe de 30 élèves		
Afrique	4%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Asie	49%	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14	15		
Europe	16%	2	2	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5		
Amérique Latine	12%	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4		
Amérique du N.	18%	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5		
Océanie	1%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Total	100%	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		

Sources : Population : <https://www.worldometers.info/world-population/#region> – Richesse : <https://www.dsw.org/landerdatenbank/>
 Émissions de GES : Notre monde en données, basé sur le « Projet mondial sur le carbone » des Nations Unies et la Banque Mondiale (<https://ourworldindata.org/co2-by-income-region>)

FICHE E3.2





FICHE E3.3

JIAO LONG (CHINE)

Je m'appelle Jiao Long et j'ai 10 ans. Je vis avec ma maman dans un petit appartement tout en haut d'un immeuble de 40 étages dans la ville de Shanghai. Ma mère dit que Shanghai est la deuxième ville la plus peuplée au monde.

Le soir, j'adore observer les lumières des immeubles, les voitures et les panneaux publicitaires dans les grandes avenues. J'aime aussi beaucoup les nouilles au poulet! Si seulement j'avais un frère, je pourrais jouer aux jeux vidéo avec lui... On pourrait aller ensemble au festival des technologies, ce serait vraiment super.

Depuis que je suis tout petit, ma maman m'accompagne à l'école tous les matins. On prend le métro. J'aime bien le métro, mais parfois il y a trop de gens et je me sens un peu à l'étroit. Il y a des gens partout dans ma ville. Parfois, j'aimerais qu'ils soient moins nombreux, comme dans le village de mon grand-père. Là-bas, je peux courir autant que je veux. Maman dit que de plus en plus de gens viennent à Shanghai parce que la vie à la campagne devient difficile et qu'ils cherchent une vie meilleure.



MAHLET (ÉTHIOPIE)

Je m'appelle Mahlet. J'ai 13 ans et je vis avec ma famille dans un petit village au Nord de l'Éthiopie. Ma sœur s'appelle Shewit et mon frère Samuel. J'aime aller à l'école. Ma matière préférée est la biologie. Plus tard, je veux devenir médecin.

Ma famille fait pousser des légumes sur notre terrain : du maïs, du sorgho, des pommes de terre et des tomates. On en mange une partie et on vend l'autre au marché pour gagner un peu d'argent. Avec cet argent, on achète des graines, des livres pour l'école et du matériel pour la maison. Quand mon père était jeune, il y avait assez de pluie pour que les légumes poussent, mais plus maintenant. Souvent, quand ma famille et mes voisins veulent semer, la terre est trop sèche. Nous avons construit un système d'irrigation : un long canal qui achemine de l'eau de très loin. Comme ça, les plantes peuvent pousser.



ARIANNE (PHILIPPINES)

Je m'appelle Arianne. Je vis dans une maison avec ma mère, mon père et mon petit frère. Quand j'étais petite, on vivait dans une jolie maison au bord de la plage. J'aimais bien jouer avec les coquillages et regarder les bébés tortues éclore et ramper jusqu'à la mer. J'aimais bien regarder de ma fenêtre mon père arriver sur son bateau après une longue journée de pêche.

Un jour, alors que la marée était haute, l'eau est montée très haut et notre maison a été inondée. Je me souviens, il y avait beaucoup de vent ce jour-là. Durant les mois qui ont suivis, les inondations sont devenues plus fréquentes.

On a décidé de déménager et maintenant on habite dans une nouvelle maison un peu plus loin de la plage. Cette maison est construite sur pilotis pour éviter les inondations. On est plus en sécurité comme ça. J'aime beaucoup habiter près de la plage et j'espère qu'on ne devra pas déménager encore plus loin.





RORY (IRLANDE)

Je m'appelle Rory et j'ai 8 ans. Je vis avec ma maman, mon papa et mon frère Eoin dans un petit village. On va à l'école en voiture dans un autre petit village près de Downpatrick.

J'aime aller à l'école, faire du sport et jouer de la musique. Je joue au football gaélique dans mon village. Il pleut beaucoup en Irlande, et souvent, quand le terrain est trop humide, on doit annuler les entraînements. L'automne dernier, l'allée devant notre maison a été inondée par la crue. Personne ne pouvait plus sortir, ni rentrer !

Pratiquement chaque année, l'école ferme parce qu'il y a trop de neige. Ici, les routes ne sont pas salées, donc conduire sur la neige peut être dangereux. Mais pour moi c'est pas grave, parce que quand l'école ferme, je vais faire de la luge sur la colline derrière la maison. C'est vraiment marrant. On fait toujours un bonhomme de neige dans le jardin.

L'été dernier, on est allés en vacances en Espagne. Il faisait beau et chaud. Parfois, je me dis que ça serait bien s'il faisait beau plus souvent ici. Mais ma maman dit que si c'était le cas, on n'appellerait pas l'Irlande « l'île d'Émeraude ».



RENATA (CHILI)

Je m'appelle Renata et j'ai 9 ans. Je vis à Valparaíso avec ma maman, mon frère, ma sœur et mon chien, Gasparín. Je ne vois pas mon papa tous les jours parce qu'il travaille dans les mines au nord du Chili. Il ne rentre à la maison que quelques week-ends par an, mais il nous apporte à chaque fois des bonbons.

Pendant les vacances d'été, on prend la voiture et on roule longtemps avec nos oncles et cousins pour aller jusqu'à une jolie maison en bois à la campagne, près des montagnes. Gasparín aime bien cet endroit aussi, parce qu'il peut s'y défouler. Mon frère va pêcher avec mon oncle. Ma grande sœur ne vient pas à chaque fois parce qu'elle préfère rester en ville et sortir avec ses amis ou regarder des vidéos sur internet.

Les personnes âgées qui vivent dans les montagnes disent qu'avant il y avait toujours de la neige aux sommets, même en été. Mais maintenant, c'est plus rare.



WESTON (ÉTATS-UNIS)

Je m'appelle Weston et j'ai 11 ans. Je vis à Boston avec ma maman, mon papa et mes sœurs jumelles, Anna et Mélissa. Notre maison est située dans un joli quartier. J'ai beaucoup d'amis, ici. Mes parents nous amènent à l'école tous les jours en voiture.

J'aime bien jouer au baseball dans mon quartier avec mes amis. On adore aller manger mexicain dans le grand centre commercial le samedi après les matchs. Quand il n'y a pas de match le samedi, on reste à la maison pour jouer aux jeux vidéo.

Chaque année toute la famille va en avion en Californie pour les vacances d'été. J'adore aller à la plage là-bas. Avec mes sœurs, on a même déjà fait du surf et, en plus, au restaurant de la plage, il y a d'énormes hamburgers !

L'été dernier on est allés dans la Silicon Valley, en Californie. C'était vraiment impressionnant. J'aimerais bien travailler pour ces grandes entreprises quand je serai grand. J'ai entendu à la radio la semaine dernière qu'il y avait beaucoup de feux de forêt en Californie. C'est triste, je trouve. Parce que j'aime beaucoup y aller en vacances !



FICHE E3.5



FAIRE QUELQUES « PAS EN AVANT » ET « PAS EN ARRIÈRE » AVEC LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Certains contribuent au changement climatique plus que d'autres.

Certains sont plus vulnérables au changement climatique que d'autres.

Dites aux élèves d'essayer de s'identifier à leur personnage.

PREMIÈRE SÉRIE D'AFFIRMATIONS

Faites un pas en avant si les affirmations suivantes sont vraies pour votre personnage et sa famille :

- ils voyagent en voiture,
- ils prennent l'avion pour aller en vacances,
- ils mangent à leur faim,
- ils mangent autant de viande qu'ils le souhaitent,
- ils ont changé leur mode de vie à cause du changement climatique,
- ils vivent dans un pays où le gouvernement peut les aider à s'adapter,
- ils utilisent quotidiennement les technologies.

DEUXIÈME SÉRIE D'AFFIRMATIONS

Faites un pas en arrière si les affirmations suivantes sont vraies pour votre personnage et sa famille :

- ils dépendent de la nourriture qu'ils font pousser pour survivre,
- leur maison pourrait être inondée en cas de hausse du niveau marin,
- si les écosystèmes coralliens souffrent de l'acidification de l'océan, ils pourraient ne plus avoir assez à manger,
- ils pourraient souffrir de la sécheresse, si la température augmente,
- en cas de sécheresse, ils ne mangeront plus à leur faim,
- si les glaciers continuent de fondre, il se peut qu'ils n'aient plus suffisamment d'eau à boire.

SÉANCE E4

MESURES D'ADAPTATION ET D'ATTÉNUATION

DISCIPLINE CONCERNÉE

Social sciences/SVT

DURÉE

- ~ Préparation : 10 - 30 min
- ~ Activité : 1 h

RÉSUMÉ

Les élèves réalisent qu'il existe de nombreuses solutions (d'adaptation ou d'atténuation) pour faire face au changement climatique et que de nombreuses personnes et organisations sont déjà actives. Les élèves choisissent un projet d'adaptation/d'atténuation sur lequel travailler.

IDÉES À RETENIR

- ~ Nous devons nous adapter aux effets du changement climatique et faire au mieux pour réduire nos émissions de gaz à effet de serre.
- ~ De nombreuses personnes, populations et organisations à travers le monde mettent en œuvre des mesures d'adaptation et d'atténuation. Nous pouvons aussi agir à notre échelle.
- ~ Les mesures d'adaptation ont des retombées positives sur le court terme, alors que les mesures d'atténuation sont capitales sur le long terme. Les deux doivent être conjuguées.
- ~ Les mesures d'adaptation contribuent à diminuer la vulnérabilité et/ou l'exposition au changement climatique, ce qui réduit les risques de subir les effets du changement climatique.
- ~ Nous pouvons mettre en œuvre des solutions d'adaptation pour faire face aux différentes répercussions du changement climatique.
- ~ Nous devons diminuer notre empreinte carbone, c'est-à-dire réduire nos émissions à effet de serre, afin d'atténuer les effets du changement climatique.

MOTS-CLÉS

Adaptation, atténuation, solutions, vulnérabilité, exposition

MÉTHODE D'INVESTIGATION

Analyse documentaire



PRÉPARATION 10 - 30 MIN

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

- Projecteur + ordinateur + connexion Internet
- **Ressources multimédia:** animation interactive «Solutions». Se référer à la page 192.
- Si vous ne pouvez pas utiliser cette animation, distribuez un exemplaire des FICHES E4.1, E4.2, E4.3, E4.4 par élève

EN AMONT DE LA SÉANCE

Vous pouvez tout à fait utiliser d'autres supports pour illustrer les mesures d'adaptation et d'atténuation. Il peut être particulièrement judicieux de proposer des mesures qui ont été mises en œuvre dans la région ou le pays dans lesquels vivent les élèves.

→ CONSEIL À L'ENSEIGNANT

Cette séance constitue une introduction à la partie 2 du module pédagogique. La durée d'une heure est donc purement indicative, car votre classe et vous pouvez avoir besoin de plus de temps pour choisir le projet à réaliser.

INTRODUCTION 10 MIN

Après avoir rappelé aux élèves les différents effets du changement climatique sur l'océan et la cryosphère ainsi que leurs conséquences sur les écosystèmes et les sociétés humaines, demandez-leur de réfléchir aux actions qui peuvent être menées pour faire face à ces problèmes.

DÉROULEMENT 40 MIN

1. Les élèves présentent leurs mesures devant la classe. Prenez-en note au tableau, sans faire de commentaire. Ces actions doivent pouvoir être mises en œuvre par les élèves, à leur échelle, à celle de leur famille ou d'une population (école, village, etc.). Cela permettra d'éviter de parler des mesures que d'autres acteurs plus importants (gouvernements, entreprises, etc.) devraient ou pourraient prendre.

2. Une fois qu'une dizaine d'actions ont été identifiées, demandez aux élèves de les classer en définissant les critères adéquats. Différents classements sont possibles : les solutions d'atténuation et d'adaptation (certaines actions visent à réduire les émissions de gaz à effet de serre et, par conséquent, l'ampleur du réchauffement climatique. D'autres mesures visent à réduire les effets du changement climatique sur nos sociétés), les actions individuelles ou collectives, les actions à domicile/à l'école/au supermarché/dans les transports/etc.

3. Pendant cette activité, laissez les élèves discuter librement de la pertinence de chaque action : ils doivent en donner les raisons. Il se peut qu'ils rencontrent quelques difficultés à classer les différentes actions. En effet, certaines mesures peuvent être justifiées en vue de s'adapter au changement climatique, sans pour autant l'être du point de vue de l'atténuation. Par exemple, utiliser la climatisation pour se rafraîchir peut être une bonne manière de s'adapter, mais sa consommation d'énergie importante en fait une mesure peu justifiée du point de vue de l'atténuation.

4. Lorsque les élèves ont débattu et classé toutes les mesures, ils peuvent utiliser les ressources interactives pour connaître les initiatives qui sont déjà mises en œuvre.

5. Expliquez aux élèves qu'ils devraient agir de manière pratique. Aidez-les à choisir des mesures à mettre en œuvre dans la classe, dans toute l'école, ou même dans leur quartier ou village.

CONCLUSION 10 MIN

En guise de conclusion, déterminez le projet qui sera entrepris par la classe. Certains exemples sont proposés ci-dessous.

ÉCLAIRAGE SCIENTIFIQUE

En vue de réduire les effets de changement climatique sur les sociétés humaines et les écosystèmes de la planète, deux types de mesures existent: les mesures d'**atténuation** et les mesures d'**adaptation**, présentées de manière plus exhaustive de la page 22 à 25 dans l'Éclairage scientifique général.

Ces deux stratégies complémentaires doivent être pensées à plusieurs échelles : individuelle, locale (établissement scolaire, ville...), nationale, régionale, internationale, ou encore à l'échelle des grands acteurs internationaux (Nations Unies, Traités internationaux). Tous les acteurs, quel que soit leur champ d'action, ont un rôle à jouer, bien que leur impact soit différent en fonction des échelles concernées. La mise en place de mesures d'atténuation et d'adaptation nécessite de solides connaissances, de l'ingénierie et implique des changements sociaux.

Même si l'on agit à petite échelle (dans le cadre de l'école, par exemple), la temporalité et les multiples retombées d'une action donnée ont une importance certaine et doivent être prises en compte.



AGRICULTURE ET ALIMENTATION

Permaculture (Lac Atitlan, Guatemala)

Sur les rives du lac Atitlan, l'Institut Mesoaméricain de Permaculture a pour but de sensibiliser et d'éduquer les populations locales à la permaculture, sur les traces de leurs ancêtres mayas.

La permaculture est une technique qui combine différentes cultures au sein d'une même parcelle, exploitant les interactions biologiques entre les différentes espèces végétales. Particulièrement efficace, elle ne nécessite pas d'engrais chimiques polluants et contribue à la conservation de la biodiversité.



ÉNERGIE

Le vélo (Amsterdam, Pays-Bas)

Amsterdam est sans doute la capitale la plus accueillante pour le cyclisme. Les installations encouragent cette pratique (pistes cyclables, stationnement gratuit pour bicyclettes, voies à double sens), alors que l'utilisation de la voiture est, elle, fortement déconseillée. Résultat, dans cette ville d'un million d'habitants, plus de 60% des déplacements se font à vélo.

Le vélo ne coûte pas cher, n'émet pas de gaz à effet de serre, ne contribue pas à la pollution de l'air et permet un effort physique modéré qui est très bon pour la santé. C'est aussi l'un des moyens de transport les plus rapides en ville.



ÉNERGIE

Football (Espagne)

Ces adolescents, qui jouent au football dans les rues espagnoles, ne réalisent probablement pas qu'ils économisent de l'énergie (et ça n'est sûrement pas leur objectif). Et pourtant, lire un livre, faire du sport ou rencontrer des amis sont des activités bien meilleures pour l'environnement (mais aussi pour la santé, le moral ou les interactions sociales) que rester les yeux rivés sur l'écran de son ordinateur ou de son téléphone portable.

Le stockage et la transmission des données à partir d'ordinateurs et de smartphones nécessitent beaucoup d'énergie : à peu près autant que le trafic aérien mondial.

Alors pourquoi ne pas débrancher un peu de temps en temps ?





FICHE E4.2

ÉNERGIE

Repair Café (Quimper, France)

Jeter ? Pas question !

A l'heure du tout jetable et de l'obsolescence programmée, certains font le choix d'une consommation plus durable.

Les « Repair cafés », inventés aux Pays Bas, se multiplient dans le monde entier. Il y en a plus de 1500, sur tous les continents. On les installe dans des établissements scolaires, des auberges, des cafés, des salles municipales, etc.

Par exemple, à Quimper, en France, les petits débrouillards organisent un vendredi par mois des ateliers où chacun peut apporter un objet du quotidien à réparer (vélo, machine à café, ordinateur, jouet...); on y fait des rencontres, on trouve de l'aide... et on réapprend des gestes simples pour donner une deuxième vie à nos produits. La démarche de ces ateliers est aussi reprise pour des stages de vacances adaptés aux jeunes, qui y expérimentent le fait de démonter, comprendre comment cela fonctionne puis détourner et réutiliser.

Cela permet d'économiser de l'énergie, des matières premières... et aussi de l'argent !



HABITAT

Construction « low-tech » en matériaux bioclimatiques (Burkina Faso)

Contrairement aux autres écoles du Burkina Faso, cette école primaire de Gando n'est pas construite en ciment... mais en terre crue. Ne nécessitant pas d'être transportée ni transformée, la terre crue offre un grand confort thermique. Elle permet également d'économiser beaucoup d'énergie par rapport au ciment et est entièrement recyclable.

Adobe, pisé, torchis.... ces techniques de construction en terre crue existent depuis des millénaires et reviennent à la mode. Habitations, écoles, gares.... il n'y a presque pas de limites !



L'architecture bioclimatique tient compte de l'environnement local pour offrir aux occupants un bâtiment confortable, fonctionnel, économique en eau et en énergie. Certains bâtiments sont très sophistiqués, mais d'autres, comme cette école utilisent des matériaux et des techniques ancestrales et peu coûteuses.

HABITAT

Cuiseurs solaires (Soudan)

La collecte du bois de chauffage comme combustible pour la cuisine est dangereuse, chronophage et participe de façon importante à la déforestation.

Ceci peut être évité en utilisant des cuiseurs solaires. Dans un cuiseur solaire, la lumière du soleil est réfléchie par des miroirs et concentrée sur la marmite ou la poêle. Leur utilisation permet donc de cuisiner avec une énergie gratuite et sans émission de gaz à effet de serre ou d'autres polluants. L'air est ainsi de meilleure qualité, et cela permet de boire de l'eau potable (car elle peut être bouillie facilement), tout en gagnant du temps.



Certaines ONG ont contribué à accroître l'utilisation des fours solaires par les populations locales, contribuant ainsi à la conservation des forêts et donc à la protection du climat ainsi qu'à l'amélioration de la santé.



RÉSILIENCE URBAINE

Re-végétalisation (Brisbane, Australie)

Alors que les villes ont remplacé les arbres et l'herbe par des bâtiments et du béton, les habitants cherchent de plus en plus à se reconnecter avec la nature et un environnement plus vert. A Brisbane (Australie), les autorités locales ont donc encouragé la replantation d'arbres et d'herbe dans le centre-ville. Au-delà de son attrait esthétique, la revégétalisation permet de développer la biodiversité : ainsi, la population d'oiseaux urbains s'est nettement développée. Elle a également eu comme effet d'améliorer la qualité de l'air, de contribuer au rafraîchissement de la ville en limitant l'effet « îlot de chaleur urbain », et a ainsi permis de s'adapter aux conséquences du changement climatique. De nombreuses villes encouragent désormais leurs habitants pour qu'ils initient des projets de reboisement. Parfois, ce sont même les écoles qui sont à l'origine de tels projets.



ÉCOSYSTÈMES

Culture de coraux (Malaisie)

Alors qu'ils ne couvrent que moins de 0,1% de la surface de l'océan, les récifs coralliens abritent 30% de la biodiversité mondiale. En outre, ils sont d'une grande importance pour les populations locales, car ils assurent la sécurité alimentaire et la protection des côtes contre l'érosion causée par les vagues.

Entre les années 1980 et 2019, environ 30% des récifs coralliens ont déjà disparu (Liste rouge de l'IUCN). Dans ce contexte, de nombreuses ONG, entreprises et scientifiques travaillent avec les populations locales, par exemple sur l'île de Tioman en Malaisie, pour restaurer les récifs coralliens. Certains de ces programmes sont financés par des compensations volontaires de carbone (pensez-y la prochaine fois que vous prendrez l'avion !)



SENSIBILISATION

Félix et son organisation « Plant for the Planet » (Allemagne)

En 2007, Felix Finkbeiner, un garçon bavarois de neuf ans, a fait une présentation sur le changement climatique devant sa classe. Il a planté un premier arbre avec ses camarades et a décidé de créer le projet « Plant-for-the-Planet ». A l'âge de 10 ans, Felix s'est adressé aux membres du Parlement européen et, à 13 ans, il a prononcé un discours devant l'Assemblée générale des Nations Unies.

10 ans plus tard, Felix est toujours impliqué, bénévolement, dans le développement de « Plant-for-the-Planet », qui compte maintenant 130 employés et 70 000 membres dans 67 pays. En 2019, près de 14 milliards d'arbres ont été plantés dans le cadre de ce projet.

En moyenne, chaque arbre absorbe 10 kg de CO₂ par an, et un arbre planté sous les tropiques absorbe plusieurs fois cette quantité.





FICHE E4.4

ÉCOSYSTÈMES

Programme de surveillance de la plage – Sandwatch (Trinité-et-Tobago)

L'école primaire Mayaro a rejoint le programme «Sandwatch», aux côtés de beaucoup d'autres écoles partout dans le monde. En «adoptant», surveillant et protégeant la plage à proximité de l'école, en participant à des opérations régulières de nettoyage, en étudiant l'évolution de la plage, sa biodiversité, ses courants et ses marées, le projet a complètement changé le regard que portent les élèves, mais aussi leurs parents et toute la communauté sur l'écosystème côtier.



Beaucoup d'anciens élèves de cette école se sont par la suite engagés dans des études et des activités environnementales.

Le projet a également appris aux parents, aux élèves et aux enseignants que l'éducation va au-delà des quatre murs de la salle de classe.

SENSIBILISATION

L'école de l'Amazonie (Brésil)

Le Brésil possède l'une des plus importantes biodiversités au monde, mais ses forêts sont parmi les plus menacées. Le président d'une fondation écologique et deux biologistes ont créé Escola da Amazônia en 2002, pour sensibiliser la jeunesse brésilienne

Le programme «Une journée en forêt» a pour but de mettre les jeunes de 11 à 14 ans en contact direct avec la forêt amazonienne, et de leur faire observer la faune et la flore. Les adolescents plus âgés (15-19 ans) peuvent participer à des ateliers sur l'écotourisme, l'élevage durable ou encore le développement socio-économique.



Un programme de jumelage relie les écoles urbaines à celles situées à l'orée de la forêt.

AGRICULTURE ET ALIMENTATION

Éco-école (Île Maurice)

Loreton College, sur l'île Maurice, fait partie du réseau «Eco-écoles», qui regroupe plus de 50 000 écoles, collèges et lycées dans le monde. Les étudiants ont construit une petite ferme aquaponique, qui combine l'élevage de salades et la pisciculture, évoluant en symbiose. Les excréments de poisson fournissent des nutriments aux plantes, qui à leur tour filtrent l'eau de l'aquarium. C'est un moyen efficace et durable de produire des aliments, en particulier dans les zones urbaines.



L'école reçoit le label Eco-Ecole de la Fondation pour l'éducation environnementale (FEE) si elle engage les élèves dans des projets écologiques et durables au sein de l'école ou de la communauté. Les thèmes de l'éco-école sont la biodiversité et la nature, le changement climatique, l'énergie, la citoyenneté mondiale, la santé et le bien-être, les déchets, la mer et la côte, les cours d'école, les transports, les déchets et enfin l'eau.

Découvrez des histoires de projets réussis menés par des étudiants du monde entier: <https://www.ecoschools.global/stories-news>



AGIR

MODULE PÉDAGOGIQUE - PARTIE II

AGIR #PROJETS

La deuxième partie de ce manuel correspond à la partie « pédagogie de projet » et se concentre sur les solutions à apporter. Elle est consacrée à la planification et à la mise en place d'un projet permettant aux élèves d'apporter leur contribution aux solutions ou aux mesures d'adaptation et d'atténuation du changement climatique. Les différents projets sont adaptés aux contextes locaux, ainsi qu'aux contraintes de temps et de ressources de chaque classe. Ici, nous vous en proposons trois ; bien qu'ils ne soient pas nécessairement les plus adaptés à votre contexte particulier, ils peuvent néanmoins vous donner une idée du type de projet que vos élèves pourront mener. La séance E4 fournit également des exemples de nombreuses solutions déjà mises en œuvre à travers le monde et qui peuvent être source d'inspiration pour la conception de votre propre projet.

Le premier exemple porte sur l'adaptation locale aux conséquences du changement climatique (le projet « adaptation), le second sur l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre (le projet « atténuation ») et, enfin, le troisième est un exemple de projet de sensibilisation des populations locales (le projet « sensibilisation »). Un projet peut couvrir une ou plusieurs des trois catégories. Notez que les projets d'atténuation des effets du changement climatique sont souvent aussi des projets d'adaptation (par ex. améliorer l'isolation d'un bâtiment peut aider à composer avec des canicules – adaptation – tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre des climatiseurs – atténuation).

Afin d'élaborer votre propre projet, inspirez-vous du plan d'action du projet de développement durable présenté ci-dessous¹.

PLAN D'ACTION POUR CONSTRUIRE UN PROJET DURABLE

PROJECTION	ÉTAT INITIAL	COMPOSANTES DU CHANGEMENT	
Quel est le résultat souhaité pour notre école ?	Quelles sont les caractéristiques de notre établissement aujourd'hui ?	Que va t-il être nécessaire de changer pour parvenir au résultat souhaité ?	
FREINS ET DÉFIS	ACTEURS	LEADERS D'OPINION ET ACTEURS DU CHANGEMENT	OUTILS
Qu'est-ce qui se met en travers de notre chemin ?	Qui sera touché par ce changement ?	Qui peut nous aider et faire en sorte que les choses changent ?	Par quels procédés peut-on y parvenir ?
COURT TERME	MOYEN TERME	LONG TERME	
Que va-t-on faire dans les semaines à venir ?	Que va-t-on faire dans les mois à venir ?	Que va-t-on faire dans les années à venir ?	

¹ Inspiré de Redman (2013) *Opportunities and challenges for integrating sustainability education into k-12 schools: case study phoenix, az. Journal of Teacher Education for Sustainability* (Opportunités et menaces pour intégrer l'éducation au développement durable au sein des établissements scolaires K-12 : étude de cas phoenix, Revue sur la formation des enseignants pour le développement durable). 15 (2) pp.5-24.

LISTE DES PROJETS

Rendre les plages plus résilientes au changement climatique Adaptation Les plages aux écosystèmes sains sont plus résilientes. À travers ce projet, les élèves aident «leur» plage à devenir plus résiliente au changement climatique. Ils la surveillent, déterminent le problème à résoudre, puis élaborent et mettent en place les solutions adaptées. Trois versions de ce projet vous sont proposées en fonction du contexte local : un premier visant à mettre en place des solutions pour réduire l'érosion des plages, un second visant à s'attaquer au problème du blanchissement des coraux et un dernier visant à contribuer au rétablissement des écosystèmes côtiers.	page 164
Mettre en place un pédibus Atténuation Dans le cadre de ce projet, les élèves des zones urbaines planifient, organisent et mettent en place un pédibus afin de moins utiliser la voiture pour se rendre à l'école. Ils mènent un sondage dans leur entourage, essaient de déterminer plusieurs itinéraires et abordent diverses problématiques liées à la sécurité, à la signalisation, aux horaires de passage, etc. Ils travaillent aussi sur la communication à employer avec les autorités locales et les parents afin de mettre en place ce projet de pédibus.	page 176
Science en scène Sensibilisation L'objectif de ce projet est de sensibiliser sur les problématiques liées au changement climatique et de réunir la science, la littérature et le théâtre afin de mieux s'approprier le processus de l'investigation en sciences en étudiant les conséquences et l'origine du changement climatique ainsi que les solutions possibles. En mettant en scène une pièce de théâtre, les élèves étudient les caractéristiques d'un texte théâtral, lisent et rédigent des textes sur le thème du climat, découvrent la scène et apprennent l'art théâtral en faisant des exercices qui développent la proprioception mais également les compétences interpersonnelles et de communication.	page 183

PROJET D'ADAPTATION

RENDRE LES PLAGES PLUS RÉSILIENTES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE 1



DISCIPLINE CONCERNÉE

SVT

CLASSE

CP à CM2

CIBLE

Écoles des zones côtières

APERÇU

Les plages aux écosystèmes sains sont plus résilientes. À travers ce projet, les élèves aident «leur» plage à devenir plus résiliente au changement climatique. Ils la surveillent, déterminent le problème à résoudre, puis élaborent et mettent en place les solutions adaptées. Trois versions de ce projet sont proposées en fonction de votre contexte local : un premier visant à mettre en place des solutions pour réduire l'érosion des plages, un second visant à s'attaquer au problème du blanchissement des coraux et un dernier visant à contribuer au rétablissement des écosystèmes côtiers .

ÉTAPES

L'étape 1 est commune aux 3 exemples

ÉTAPE 1 – Choisir une plage et identifier les problèmes potentiels (s'applique à tous les exemples)	Les élèves choisissent la plage à surveiller en se basant sur différents critères et recueillent des informations permettant d'identifier les menaces potentielles liées au changement climatique. Ils choisissent ensuite un problème sur lequel se concentrer.
--	--

Les étapes 2 à 4 sont différentes pour chacun des 3 exemples

ÉTAPE 2 – Surveiller la plage	Les élèves surveillent la plage en recueillant des données sur les modifications observées par rapport au problème précis qu'ils auront identifié.
ÉTAPE 3 – Analyser les données	Les élèves analysent les données recueillies et évaluent avec précision les répercussions du problème identifié sur la plage.
ÉTAPE 4 – Mettre des solutions en œuvre	Une fois que les élèves ont identifié l'impact du changement climatique sur une caractéristique particulière de la plage, ils mettent en œuvre un plan d'atténuation.

1 Ce projet est une version raccourcie et adaptée d'un projet de plus grande envergure proposé par SANDWATCH dans le manuel SANDWATCH intitulé «S'adapter au changement climatique et éduquer pour le développement durable». Une grande partie du projet est tirée de ce manuel. Pour en savoir plus sur d'autres projets de cette envergure autour des plages et des écosystèmes côtiers, l'OCE vous invite à vous référer directement au manuel original SANDWATCH (UNESCO. 2010. Sandwatch: adapting to climate change and educating for sustainable development. Paris: UNESCO), téléchargeable en ligne: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000193754/PDF/193754fre.pdf.multi>.

En fonction du projet que vous choisissez de mener avec vos élèves, vous pourrez intégrer les données collectées lors de vos opérations de surveillance des plages dans la base de données SANDWATCH sur le changement climatique. Informez-vous et participez-y! SANDWATCH, c'est également un réseau permettant à tous les Sandwatchers du monde entier de rester en contact et de s'informer mutuellement de leurs activités. Si vous désirez vous engager, il est conseillé de devenir adhérent.

POINT DE DÉPART

Le projet commence par un débat autour des possibles répercussions du changement climatique sur les plages qui leur sont familières. *À quels genres de changements faut-il s'attendre ?* En fonction de la région, différentes réponses sont possibles :

L'érosion côtière, conséquence de la hausse du niveau marin, qui peut menacer les infrastructures humaines (constructions, routes, etc.) ainsi que les écosystèmes. La disparition des écosystèmes, tels que les mangroves, les récifs coralliens, les herbiers marins et les marais salés, a de nombreuses répercussions sur les moyens de subsistance des popu-

lations. Le rétrécissement des plages pourrait de surcroît avoir une incidence sur le tourisme.

L'acidification de l'océan peut avoir un impact sur les écosystèmes marins et côtiers, avec des conséquences sur la biodiversité, la sécurité alimentaire, etc.

L'augmentation de la température océanique aura des répercussions sur les écosystèmes marins et côtiers, participant, par exemple, au blanchissement des coraux.

Une augmentation de la température atmosphérique dans les régions chaudes pourrait nuire à l'attrait touristique des plages.

ÉTAPE 1

CHOISIR UNE PLAGE ET IDENTIFIER LES PROBLÈMES POTENTIELS

CHOISIR UNE PLAGE

Pour mener ce projet, vous devez commencer par choisir une plage. Pour ce faire, voici quelques facteurs clés à prendre en compte :

- **La sécurité:** la plage doit offrir un cadre sûr aux élèves. Les vagues et les courants puissants peuvent représenter un risque. La sécurité doit toujours prévaloir.
- **La dimension de la plage:** dans certaines régions, les plages sont petites (moins d'1 km de longueur) et entourées par des caps rocheux. Ces plages de fond de baie constituent des sites idéaux pour un projet de surveillance. Si l'on choisit une longue plage à surveiller, il est recommandé de se limiter à un segment particulier, d'environ 1 km.
- **L'importance de la plage dans la vie de quartier:** efforcez-vous de choisir une plage fréquentée par les résidents. Elle aura, de ce fait, une grande valeur à leurs yeux. Les activités de surveillance attiseront ainsi leur curiosité, ce qui sera utile au moment de concevoir et de mettre en œuvre les projets d'amélioration de la plage.
- **Les caractéristiques particulières:** certaines caractéristiques, comme une fréquentation intense en fin de semaine, un site préféré par les résidents, les effets de l'érosion pendant les tempêtes, peuvent déterminer le choix d'une plage plutôt qu'une autre.

Pensez à recueillir des informations auprès de la population locale !

Vous pouvez prendre contact avec les scientifiques, les organisations environnementales ou les autorités locales pour recueillir plus d'informations sur les plages et choisir la plus adaptée à votre projet. Souvent, les plages qui subissent les effets du change-

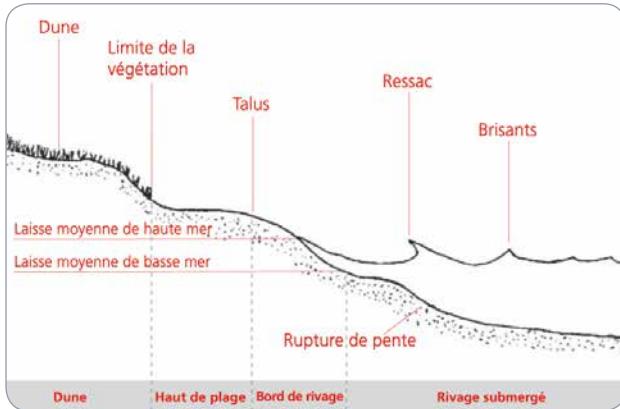
ment climatique sont déjà surveillées. Comparer les données existantes avec les données que vous et vos élèves aurez recueillies peut s'avérer utile : cela vous donnera une idée de l'évolution de votre plage jusqu'à présent. Dans certains cas, vos données peuvent constituer une importante contribution pour les scientifiques à l'échelle locale !

Vous pouvez également songer à démarcher des membres de la communauté locale à proximité de la plage, qui y ont longtemps vécu ou y ont développé leur activité : ils pourront vous fournir d'importantes informations empiriques sur l'évolution de la plage, ainsi que sur les caractéristiques d'une plage en particulier. Les pêcheurs, par exemple, sont souvent conscients que la quantité de poisson varie au fil des ans et combien une plage peut être cruciale pour la reproduction des poissons.

DÉTERMINER LES LIMITES DE VOTRE PLAGE

Une plage est un espace constitué de matériaux meubles qui s'étend de la ligne des basses eaux (niveau de l'eau à marée basse) à une bordure caractérisée par un changement topographique net ou par la présence d'une végétation permanente. Si l'on applique cette définition au diagramme ci-dessous qui représente une coupe transversale de la plage (aussi appelé profil de plage), la plage s'étend de la ligne des basses eaux jusqu'à la limite de la végétation. L'espace terrestre qui s'étend derrière la plage peut être constitué de dunes de sable, comme illustré dans la coupe ci-dessous, ou bien de parois d'une falaise, d'espaces rocheux, de terres basses plantées d'arbres ou de toute autre forme de végétation, ou encore d'une zone urbaine. Lors de l'observation de votre plage, il faudra prendre en compte l'ensemble de son profil.

Les plages sont souvent constituées de particules de sable. Dans de nombreux endroits, ce terme de «plage» ne peut s'appliquer qu'à des étendues de sable. Or une plage peut être formée de terre, de vase, de graviers, de galets ou de rochers, ou encore d'un mélange de tous ces matériaux. Par exemple, les dépôts de boue et d'argile bordant les côtes de Guyane sont aussi des plages.



Coupe transversale d'une plage

Une plage n'est pas seulement un espace de matériaux meubles situé là où terre et mer se rejoignent; c'est également un écosystème côtier. Il arrive que les géologues, écologistes et autres spécialistes considèrent le «système-plage» comme un ensemble et prennent en compte la zone marine s'étendant jusqu'à une profondeur de 12 mètres. Dans les zones tropicales, c'est là que vivent les herbiers marins et les récifs coralliens, des écosystèmes qui alimentent la plage en sable. La plus grande partie du sable de cette zone suit un mouvement de va-et-vient entre la plage et la mer. Il est même possible d'inclure dans ce large ensemble le segment compris entre les terres et la pente situé derrière la plage et le bassin versant, car les ruisseaux et les rivières déversent sur la plage et dans la mer des sédiments et des polluants.

OBSERVER ET CARTOGRAPHIER LA PLAGE

Avant d'entamer une surveillance détaillée de la plage, il faut se faire une idée d'ensemble de cet espace et recueillir autant d'informations que possible, uniquement par l'observation.

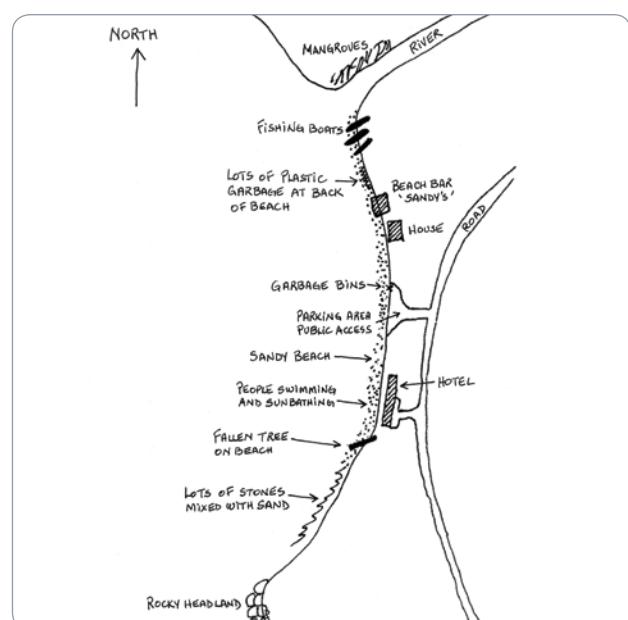
Divisez les élèves en groupes et faites-les parcourir toute la plage en notant tout ce qu'ils voient. Si la plage présente un aspect très varié, les groupes peuvent se voir assigner des repérages différents : l'un pourrait, par exemple, noter les constructions et les routes, un autre la végétation et les arbres, un troisième les types d'activités exercées par les résidents, et ainsi de suite. Étant donné que cette opération doit aboutir à l'élaboration d'une carte, les élèves devront consigner les différents éléments observés et les rattacher au lieu où ils les auront repérés.

Les sujets d'observation peuvent être, par exemple :

- les matériaux de la plage : leur dimension (sable, cailloux, rochers), leur couleur et leur variation le long des différentes sections de la plage ;
- les animaux : crabes, oiseaux, animaux domestiques, coquillages ;
- les plantes et les arbres : algues et herbiers marins, plantes, arbres du haut de plage ;
- les déchets, les ordures, la pollution, les déchets répandus sur la plage ou flottant sur l'eau ;
- les activités humaines : la pêche, les bateaux de pêche sur la plage, les vacanciers prenant un bain de soleil, les promeneurs, coureurs, baigneurs, nageurs ou pique-niqueurs ;
- les constructions derrière la plage, les bars et les restaurants sur la plage, les maisons et hôtels, les points d'accès à la plage ;
- les voies d'accès publiques, les poubelles, les panneaux, les postes de sauvetage, les jetées etc. ;
- l'état de la mer : calme ou agitée ;
- la présence d'objets dans la mer : bouées d'amarrage, bateaux à l'ancre, zones de baignades délimitées par des bouées.

Invitez les élèves à effectuer des observations précises (par exemple, au lieu de signaler trois arbres, qu'ils en nomment les espèces : deux palmiers et du raisin de mer).

Dessinez un croquis ; cela peut être un exercice individuel ou collectif – en groupes ou en classe entière. L'image ci-dessous vous donne un exemple de croquis. Vous pouvez soit utiliser une simple ébauche sur laquelle les élèves noteront leurs observations, soit utiliser un exemplaire de carte topographique. Cette dernière présente l'avantage d'être exacte et de mesurer les distances précisément.



Un croquis.



Un exemple de carte topographique.

Exemple 1 – L'érosion des plages

Les plages changent de forme et de dimension au fil des jours, des mois et des années, essentiellement sous l'effet des vagues, des courants et des marées. Il arrive que les activités humaines jouent elles aussi un rôle dans ce processus, par exemple, lorsque le sable est prélevé à partir de la plage pour servir de matériau de construction ou que des jetées ou autres infrastructures sont aménagées sur la plage. Dans les régions où différents régimes de vagues opèrent tout au long de l'année au gré des saisons (en fonction de la météo ou de l'état des vagues), le profil des plages peut considérablement changer entre l'été et l'hiver. La partie émergée de la plage est généralement plus étendue en été qu'en hiver, particulièrement après de violentes tempêtes. L'érosion est le processus par lequel le sable et d'autres sédiments se retirent de la plage, ce qui a pour effet de provoquer son rétrécissement. Le processus opposé qu'on appelle l'ensablement, c'est à dire l'élargissement de la plage, se produit lorsque le sable et d'autres matériaux s'accumulent.

La hausse du niveau marin, conséquence du changement climatique, contribue elle aussi à la transformation des plages : à mesure que le niveau marin moyen augmente, les plages s'érodent progressivement et leur morphologie s'adapte.

Avant de commencer à surveiller la plage, efforcez-vous de recueillir autant d'informations que possible sur l'état initial de la plage. Si vous avez déjà discuté avec les scientifiques, les organisations et les autorités locales, vous avez probablement des documents et des informations vous permettant d'avoir une idée de l'état de votre plage par le passé et de son évolution jusqu'à présent. Les photos aériennes et les cartes topographiques sont particulièrement utiles à cet effet. Les photos aériennes donnent une

UN PROBLÈME À LA FOIS

Après avoir élaboré une carte de la plage que vous avez choisie, identifiez un problème relatif au changement climatique sur lequel vous concentrer. Voici trois exemples : l'érosion des plages, le blanchissement des coraux et les écosystèmes menacés de la plage.

vue d'ensemble de la plage et sont généralement disponibles dans les services nationaux de l'aménagement du territoire, et parfois dans les agences de planification urbaine et de l'environnement. Vous devriez pouvoir trouver des photos aériennes de la plage datant des années 1960 ou 1970. Comme les cartes topographiques, ces photos peuvent servir à calculer la longueur, la largeur et la superficie de la plage. Comparez-les avec votre croquis actuel et notez tout changement éventuel. Les sites tels que *OpenStreetMap* ou *Google Earth*, disponibles gratuitement sur Internet, vous permettent de consulter et de sauvegarder des cartes et des vues aériennes actuelles de votre plage en quelques minutes, et ce sous un angle différent.

À l'aide des documents susmentionnés, discutez des questions suivantes :

- *Quelles modifications la plage a-t-elle subies ?*
- *Ces changements sont-ils positifs ou négatifs ?*
- *Préférez-vous la plage telle qu'elle était avant ou dans son état actuel ?*
- *À votre avis, à quoi ressemblera la plage dans dix ans ?*
- *À partir de ce que vous avez appris sur le changement climatique, comment vont évoluer ses dimensions à l'avenir, selon vous ?*

Afin de comprendre l'évolution de votre plage, il est nécessaire de régulièrement prendre des mesures d'une année sur l'autre. Il est possible de mener ces projets pendant plusieurs années avec la même classe ou avec des classes différentes chaque année, de façon à mettre les données à jour afin de pouvoir les comparer avec les années précédentes et avec d'autres informations existantes, plus anciennes.

ÉTAPE 2 SURVEILLER LA PLAGE

MESURER L'ÉROSION ET L'ENSABLEMENT AU FIL DU TEMPS

→ Que mesurer

Mesurer la distance entre un objet fixe se situant derrière la plage (un arbre, un bâtiment...) et la ligne des hautes eaux est une façon très simple de déterminer l'évolution (érosion ou ensablement) de la plage. La ligne des hautes eaux représente le niveau le plus haut atteint par les vagues un jour donné et est aisément identifiable par une ligne de débris composée notamment d'algues, de coquillages ou de morceaux de bois, ou par des différences de coloration du sable entre la partie récemment mouillée par l'eau et la partie restée sèche (voir image ci-dessous).

À défaut, dans les pays où les horaires des marées sont publiés au journal local (ou sur Internet, par exemple sur le site de l'institut océanographique national), la visite de la plage peut être programmée de telle sorte qu'elle coïncide avec la marée haute, auquel cas la mesure est prise au bord de l'eau. Rappelons toutefois que dans certaines régions du monde, le marnage (écart entre le niveau de marée haute et de marée basse) est très faible et l'état de la marée – qu'elle soit haute, moyenne ou basse – est à peine perceptible.

Cependant, dans de nombreuses régions du monde, le marnage peut atteindre plus d'un mètre. Dans pareils cas, il sera nécessaire de répéter les mesures au même état de marée (par ex., si la première mesure a été prise à marée haute, les mesures suivantes devront aussi être effectuées à marée haute). Parfois, il peut y avoir plusieurs lignes de débris sur la plage. Dans ce cas, prenez comme référence la ligne la plus proche de l'eau; les autres débris peuvent très bien avoir été déposés par une tempête surve-

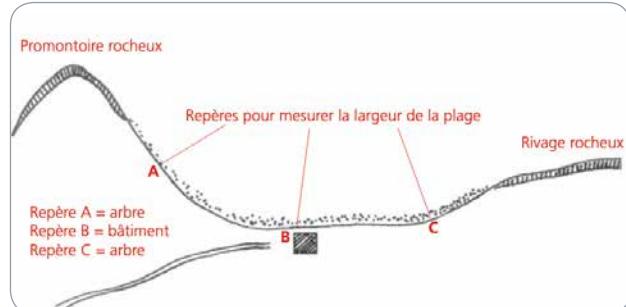
nue quelques semaines ou mois auparavant. Dans la plupart des cas, l'étendue des plages évolue avec le temps sous l'effet de l'érosion et de l'ensablement, entraînant notamment un déplacement du sable d'une extrémité à l'autre de la plage. Par conséquent, il est recommandé de prendre au moins trois points de mesure différents, deux aux extrémités et un au milieu de la plage (voir image ci-dessous).

→ Comment mesurer

Tout d'abord, sélectionnez le bâtiment ou l'arbre que vous allez utiliser comme point de repère et faites-en une description écrite et/ou prenez une photo. Avec l'aide d'une autre personne, déroulez le mètre ruban entre le bâtiment et la ligne des hautes eaux. Enregistrez la mesure, l'heure et la date. Répétez la procédure pour les points suivants. Il est recommandé de prendre au moins trois points de mesure pour une plage d'1 km de long.

→ Quand mesurer

Dans l'idéal, ces mesures seront effectuées chaque mois. Toutefois, des relevés effectués tous les deux ou trois mois seront également utiles.



Points de mesure de la largeur de la plage.



La ligne des hautes eaux délimitée par la bande d'algues.

MESURER LES PROFILS DE PLAGE

→ Que mesurer

Cette activité convient mieux à des collégiens. Un profil de plage ou une section transversale est une mesure précise de la pente et de la largeur de la plage qui, répétée au fil du temps, montre comment la plage s'érode ou s'ensable. Un profil de plage complet inclut la largeur et la pente de la plage. Le graphique ci-dessous, en bas à droite, montre l'érosion d'un profil de plage suite à une tempête tropicale.

→ Comment mesurer

Il existe différentes façons de mesurer les profils de plage, la méthode du manuel Sandwatch décrite à l'Annexe 2 est l'une des plus simples. Vous pouvez également utiliser un GPS.

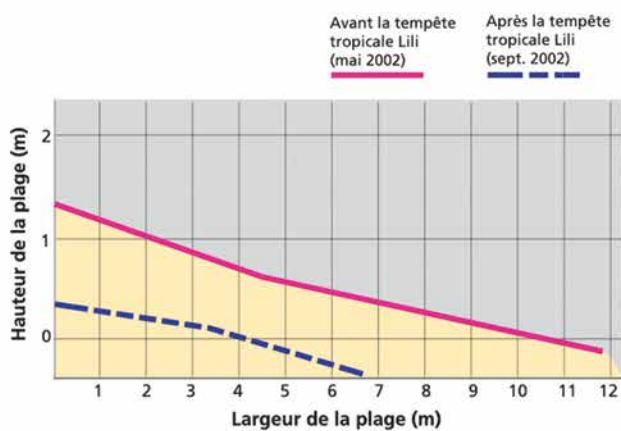
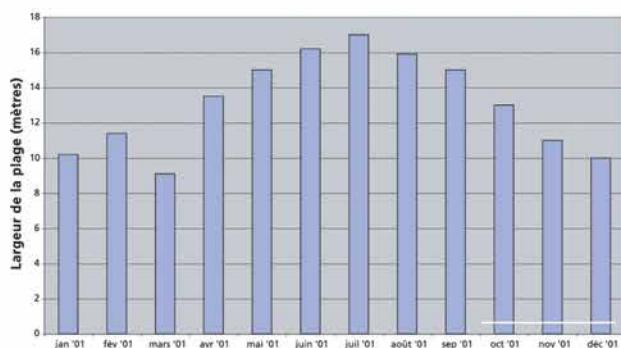
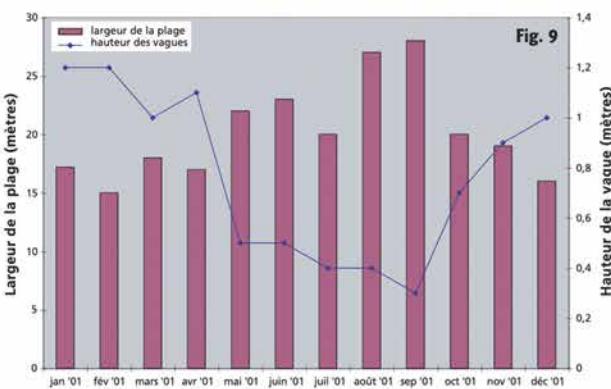
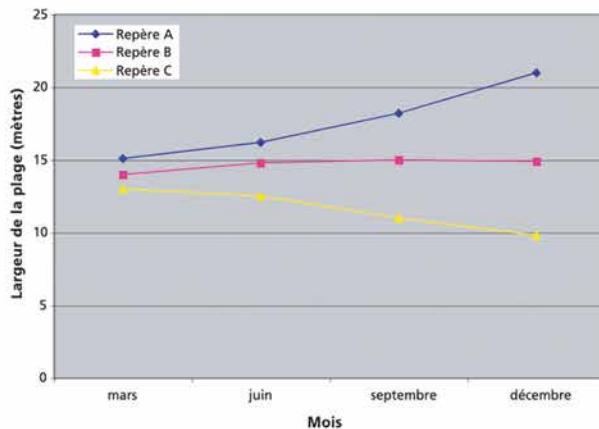
→ Quand mesurer

Les mesures doivent être répétées à trois mois d'intervalle ou plus fréquemment, si le temps le permet, et de préférence à marée basse, afin d'avoir accès à un plus long profil de plage.

ÉTAPE 3 ANALYSER LES DONNÉES

Les données montreront l'évolution de la plage au cours de la période d'observation et si la masse de sable a augmenté ou diminué. La plage peut également avoir progressé à un endroit et diminué à un

autre. Voici des exemples de graphiques pouvant être élaborés à partir de données collectées sur la largeur et la pente de la plage.



Exemples de graphiques pouvant être élaborés à partir de données collectées sur la largeur et la pente de la plage.

En mesurant régulièrement les profils, on peut montrer comment la plage évolue à la suite d'une tempête ou d'un cyclone. En outre, cela permet de déterminer si et comment elle se régénère, ainsi que le degré de rétablissement. Pour constater avec précision l'évolu-

tion de la plage, il faudra procéder à une mesure méticuleuse de ces profils avant et après chaque tempête. Les autorités gouvernementales ainsi que les propriétaires de maisons ou d'hôtels en bord de mer pourraient être intéressés par les informations collectées.

Bon nombre de personnes pensent pouvoir évaluer l'évolution d'une plage simplement en l'observant. La réalité est plus complexe et les souvenirs s'avèrent souvent moins précis qu'on ne le croit.

Analysez vos données et essayez de comprendre comment votre plage évolue :

- *L'érosion s'observe-t-elle sur la totalité de la plage ?*
- *Peut-on constater une érosion d'un côté et un ensablement de l'autre ?*
- *Des bâtiments, des plantes, des animaux ou des usagers de la plage sont-ils menacés par cette érosion ?*

Lorsque vous évaluez les effets du changement climatique sur l'éventuelle érosion de votre plage, vous devez garder deux aspects importants à l'esprit :

- les effets du changement climatique ne sont visibles que sur une période de plusieurs années ;
- le changement climatique n'est pas la seule cause d'érosion. Les mesures effectuées ne vous permettront pas de faire la distinction entre ces différentes causes.

Néanmoins, si vous gardez à l'esprit ces deux aspects, vos données resteront pertinentes. Imaginez par exemple que vous constatez, en les comparant avec des relevés antérieurs ou d'autres données fournies par des institutions, que votre plage s'érode d'année en année. L'important doit être d'essayer de ralentir ou de mettre un terme à cette érosion, même si vous n'êtes pas certain de son origine. Les données précises que vous avez rassemblées, tels que les profils de plage, vous permettront de développer un plan d'action visant à renforcer la résilience de votre plage aux futures répercussions du changement climatique.

ÉTAPE 4 METTRE DES SOLUTIONS EN OEUVRE

Si l'analyse de vos données met en évidence l'érosion de la plage, il est nécessaire de se renseigner sur les mesures permettant d'atténuer cette érosion. Il s'agira naturellement d'actions à la portée des élèves. Pas question bien sûr de construire une digue ou de recharger la plage en sable. Néanmoins, d'autres actions sont envisageables afin de réduire l'érosion du littoral.

Dans ce contexte, la bonne santé des dunes joue un rôle essentiel. Par conséquent, leur protection permet de limiter l'érosion. Vous pouvez entre autres :

- Planter/prendre soin de la végétation des dunes.
- Mettre en place de petites palissades pour (i) empêcher les gens de monter sur les dunes (contrôle de l'accès) et (ii) réduire l'érosion induite par le vent en consolidant les dunes à l'aide de structures.
- Recourir au paillage de la dune en la recouvrant de branchages pour faire obstacle au vent et/ou protéger la végétation récemment plantée.
- Créer des affiches et les disposer à proximité des zones sensibles afin d'informer les gens de votre projet et du meilleur comportement à adopter (par ex. : « Ne montez pas sur les dunes, elles nous protègent de l'érosion du littoral »).



Plantations réalisées par des élèves dans le cadre d'un projet SANDWATCH



Paillage d'une dune sur la côte Atlantique en France.

Exemple 2 – Blanchissement du corail

La modification des conditions, telles que la température de l'eau, la lumière ou les nutriments, peut engendrer du stress chez les coraux. Ils expulsent alors de leurs tissus les algues symbiotiques responsables de leurs magnifiques couleurs et se mettent à blanchir. Ce phénomène qualifié de « blanchissement du corail » n'entraîne pas forcément la mort du corail : s'il est assez fort et en bonne santé et si la situation de stress ne se prolonge pas, il pourra se rétablir.

La hausse de la température de l'eau résultant du changement climatique menace les coraux sur toute la planète. Entre 2014 et 2017, un épisode majeur de blanchissement des coraux s'est abattu sur 75% des récifs à l'échelle mondiale. Selon les estimations, cette tendance devrait se poursuivre entraînant la disparition de 75% des récifs coralliens si la température mondiale augmente encore de 0,5°C et si les facteurs de stress, tels que l'activité humaine qui influe également sur la mortalité des coraux, ne sont pas limités.

ÉTAPE 2 SURVEILLER LA PLAGE

Pour mieux comprendre les causes du blanchissement du corail, il vous faudra surveiller votre plage. Auparavant, effectuez quelques recherches sur les épisodes de blanchissement survenus par le passé. Renseignez-vous auprès des usagers locaux de la plage (par ex. les pêcheurs et plongeurs) ou du ministère chargé de la pêche pour déterminer quand a eu lieu le dernier épisode de blanchissement. Supposons que ce fut le cas au mois d'août il y a deux ans, obtenez les relevés de température quotidiens de la station météorologique la plus proche pour la période allant du 1er juillet au 30 septembre sur les trois dernières années. Reportez sur un graphique les températures quotidiennes des trois dernières années et déterminez si elles étaient plus élevées l'année du blanchissement et/ou si la période de hautes températures était prolongée. Vous obtiendrez grâce à la collecte et à l'analyse de ces données un aperçu de l'évolution de votre récif de corail au fil des ans.

MESURER LE BLANCHISSEMENT ACTUEL

→ Que mesurer

Température de surface de la mer et fréquence du blanchissement

→ Comment mesurer

Mesurez quotidiennement ou aussi souvent que possible la température de surface de la mer durant les trois mois les plus chauds de l'année ; effectuez toujours les

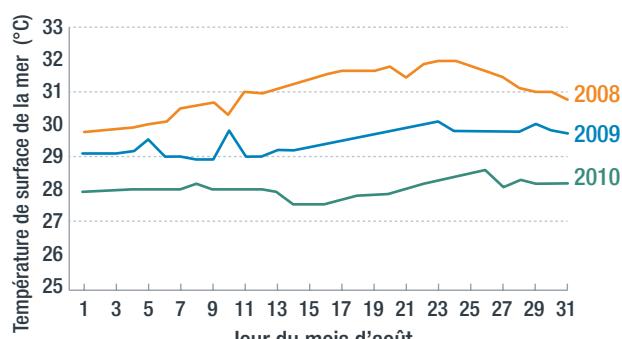
mesures à la même heure. La température de surface de la mer comptant généralement au moins un mois de retard sur celle de l'air, si les températures culminent en juillet, le mois d'août sera probablement le mois où la température de surface de la mer atteindra son maximum. Si vous avez la possibilité de marcher sans danger jusqu'au récif, ou bien de le surplomber à la nage ou en plongée avec un tuba, observez la présence éventuelle de taches blanches sur le corail (l'image ci-dessous montre un exemple de corail partiellement blanchi). Si tel est le cas, notez vos observations et prenez des photos. Comparez la fréquence des épisodes de blanchissement avec les mesures de température de surface de la mer.

→ Quand mesurer

Tout au long des trois mois les plus chauds de l'année.



Corail blanchi



Exemple de mesures de la température de surface de la mer sous les tropiques

ÉTAPE 3 ANALYSER LES DONNÉES

Grâce aux mesures, vous constaterez que le blanchissement survient lorsque la surface de la mer affiche une température très élevée sur des périodes prolongées, souvent supérieure à 30°C, même si cela varie d'une région à l'autre. Demandez à vos élèves si l'épisode de blanchissement est suivi d'une amélioration et réfléchissez aux conséquences sur le corail et sur la plage.

ÉTAPE 4

METTRE DES SOLUTIONS EN ŒUVRE

Si vos données montrent que le corail de votre plage a subi un ou plusieurs épisodes de blanchissement, il importe de se renseigner sur les mesures susceptibles de les atténuer.

Les épisodes de blanchissement coïncident avec une hausse inhabituelle des températures de surface de l'eau et malheureusement, il nous est impossible de refroidir l'eau. Toutefois, des coraux en meilleure santé résisteront mieux aux hausses anormales de température. Tant que ces conditions restent épisodiques, aider les coraux à se rétablir ou réintroduire des spécimens en bonne santé peut contribuer à accroître la résilience de l'écosystème corallien.

EXTRAIT DU PROJET SANDWATCH – DES ÉLÈVES AUX BAHAMAS CRÉENT UNE FRESQUE POUR PROTÉGÉR LE RÉCIF DES DOMMAGES CAUSÉS PAR LES TOURISTES

En analysant leurs propres graphiques et données, les élèves sont parvenus à la conclusion que l'une des problématiques principales était la dégradation par les touristes d'un petit récif situé à une vingtaine de mètres de la plage. Ils ont observé des visiteurs s'appuyant sur le récif corallien pour ajuster leurs masques, casser des morceaux de corail pour les emporter comme souvenir, voire pêcher au harpon près de la plage. Le tableau ci-dessous montre le plan d'action à mener dans le cadre de ce projet.

ACTION	DURÉE	PERSONNES IMPLIQUÉES	ACTIVITÉS ET RESSOURCES REQUISES	RÉSULTATS ATTENDUS
1. Prévoyez et imaginez le contenu de votre panneau.	Janvier à février	Élèves de 4 ^{ème} et leurs professeurs de science, arts plastiques, langues, menuiserie.	Rendez-vous sur la plage pour comparer les sites possibles.	a. Story-board : ce que le panneau montrera et l'objet de son message ; b. Schéma et photos de la plage indiquant l'endroit où le panneau sera placé ; c. Liste du matériel nécessaire pour construire le panneau.
2. Consultez les propriétaires, aménageurs de la plage et autres personnes en mesure d'obtenir la permission de poser le panneau.	Mars à avril	Les enseignants de la classe de 4 ^{ème} et le directeur organisent des réunions avec : a. Les services officiels chargés des plages, de l'aménagement et de l'environnement. b. Les responsables des communautés utilisant la plage.	Discutez du projet et demandez la permission de poser le panneau.	Autorisation écrite des autorités pour préparer et construire le panneau.
3. Préparez le panneau et posez-le.	Mai à juin	a. Chercher comment financer le panneau et où se procurer le matériel ; b. Les élèves construisent le panneau.	Les matériaux et la peinture nécessaires.	Organisez une « inauguration » officielle appuyée sur une campagne de sensibilisation du public.
4. Préparez le panneau et posez-le.	Juillet à août	Les élèves de 4 ^{ème} mènent une enquête à partir d'un questionnaire auprès des utilisateurs de la plage afin de déterminer l'impact du panneau ; selon les résultats, ils envisagent la poursuite d'actions de sensibilisation ou de suivi.	Recherche, consultation d'autres experts.	Évaluation du projet et leçons à en tirer.

La plantation de coraux permet aussi d'améliorer leur résilience. Néanmoins, pour le faire correctement, il est recommandé d'aller demander conseil à des scientifiques ou à des organisations locales.



Exemple 3 – Écosystèmes-plage menacés

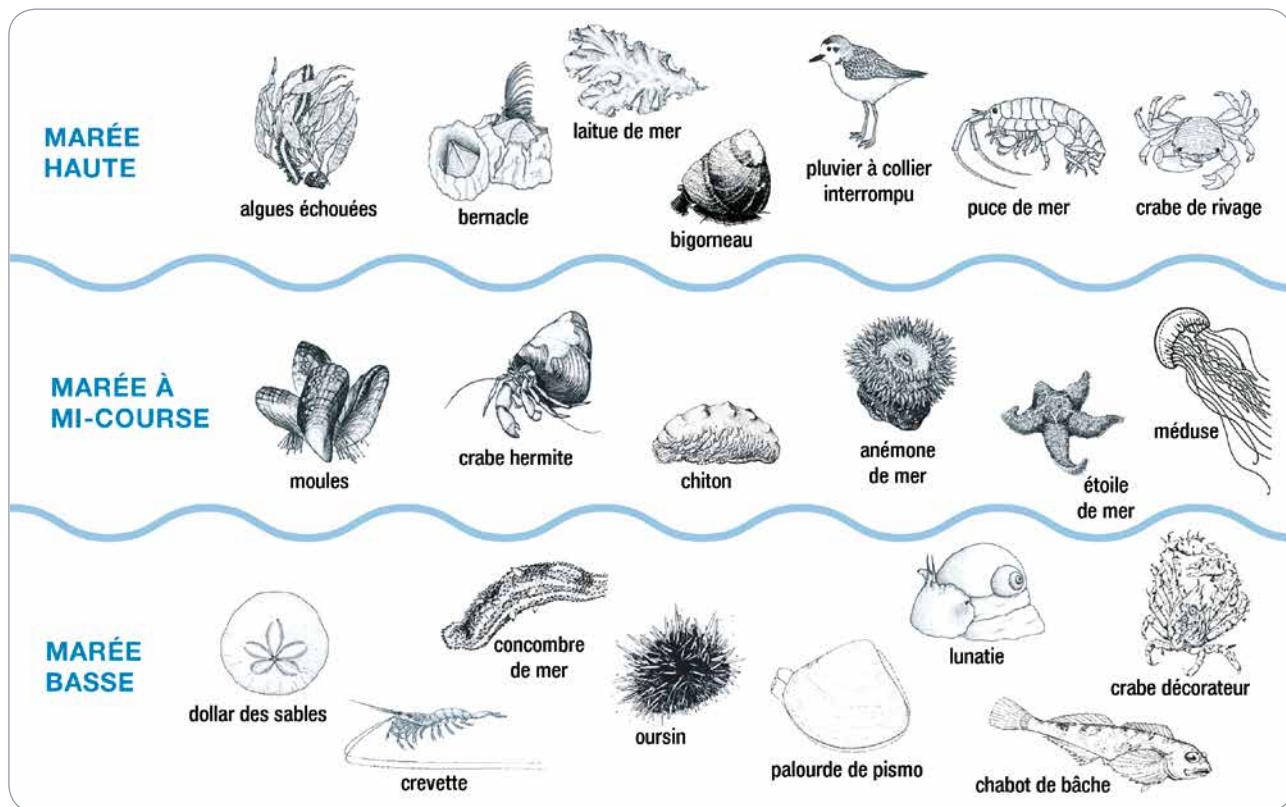
Si, à première vue, les plages peuvent sembler n'être que des étendues de sable désertes, elles sont en réalité des écosystèmes transitoires diversifiés et productifs, que l'on qualifie d'écotones. De plus, les plages assurent une fonction essentielle: celle d'associer milieux marins et terrestres. La plage de sable est un environnement instable pour la faune et la flore, notamment parce que les couches en surface sont remodelées en permanence par les vagues et le vent. Aussi, les organismes qui y vivent sont spécialement adaptés à la survie dans ce type d'environnement. Beaucoup s'enfouissent dans le sable pour se protéger des vagues et des prédateurs ou pour éviter de se dessécher à marée basse. D'autres ne sont que de simples visiteurs, comme les oiseaux et les poissons. Si les animaux se regroupent souvent par zones, ils se déplacent généralement au gré de la marée. Par conséquent, les schémas de zonage le long des rivages sablonneux ne sont pas aussi clairement définis que sur les côtes rocheuses (voir image ci-dessous).

Les organismes et les caractéristiques physiques de la plage sont en étroite interaction au sein de l'écosystème côtier. Les oiseaux et les crabes appartiennent donc autant à cet écosystème que le sable et les vagues.

La végétation présente sur la plage et derrière joue également un rôle important: elle la structure, la stabilise et empêche son érosion. En allant de la ligne

des hautes eaux vers l'intérieur des terres, on trouve d'abord les plantes rampantes et des herbes. Puis celles-ci laissent place à de petits arbustes résistants au sel, eux-mêmes ensuite remplacés par des arbres. En milieu tropical, la patate-bord de mer (*Ipomoea pes-caprae*), une liane rampante, colonise souvent la surface du sable. On peut également observer d'autres espèces de plantes rampantes, d'herbes et d'arbustes en fonction de la situation géographique de la plage. En s'éloignant de la côte vers les terres, on trouve des arbres côtiers, notamment le raisin de mer (*Coccoloba uvifera*), le porcher (*Thespesia populnea*), le cocotier (*Cocos nucifera*), le mancenillier (*Hippomane mancinella*) et le badamier (*Terminalia catappa*). La transition des plantes rampantes et des herbes aux arbres adultes est connue sous le nom de succession végétale.

De nombreuses conséquences attendues du changement climatique auront un effet négatif sur les écosystèmes côtiers, en particulier la hausse du niveau marin, l'acidification de l'océan et l'augmentation des températures. Les espèces résidentes et de passage (par ex. les tortues et les oiseaux migrateurs) seront affectées. L'érosion des plages aura tendance à réduire la zone d'habitat côtier occupée par la faune et la flore. Une des conséquences les plus graves serait la disparition totale de la plage. Dans des cas moins graves, la plage reculera vers les terres, préservant ainsi l'écosystème côtier.



Plantes et animaux communément présents entre les lignes des hautes et basses eaux (illustration compilée par Aurèle Clemencin)

ÉTAPE 2 SURVEILLER LA PLAGE

Pour évaluer à quel point l'écosystème de votre plage est bouleversé par le changement climatique, vous allez devoir le surveiller. Au préalable, effectuez des recherches sur l'état de l'écosystème dans le passé. Les usagers locaux de la plage (par ex. les pêcheurs et plongeurs) ou les organisations locales peuvent avoir des informations pertinentes.

OBSERVER ET RELEVER LES ESPÈCES VÉGÉTALES ET ANIMALES SUR LA PLAGE

→ Que mesurer

La répartition des plantes et des animaux dans les différentes parties de la plage, ainsi que dans la zone dunaire arrière, jusqu'à la zone forestière.

→ Comment mesurer

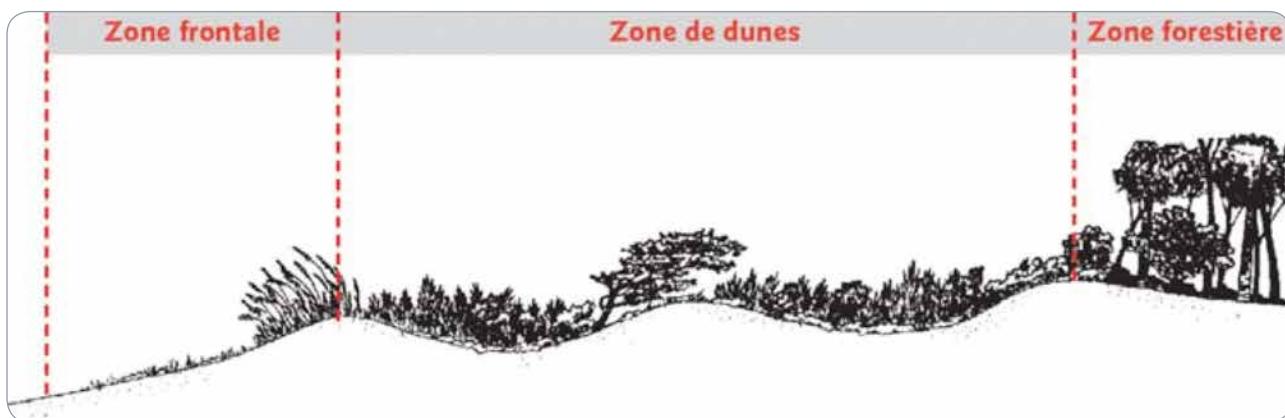
Pour cette activité, munissez-vous de récipients, collectez 10 objets différents sur la plage et notez où vous les avez trouvés. Dans l'idéal, définissez un

profil (coupe transversale, perpendiculaire au rivage) qui s'étire de la ligne des basses eaux à la zone forestière (incluant l'estran, l'arrière-plage, la dune et l'arrière-dune – voir image dans « Étape 1 » en haut de la page 166).

Ne ramassez pas d'animaux vivants et, si vous sélectionnez une plante vivante, n'en prenez qu'un petit morceau ou une feuille. Vous pouvez aussi prendre des photos plutôt, l'objectif étant d'observer et de protéger la faune et la flore. Pour mieux identifier la zone de collecte de chaque spécimen, vous pouvez également dérouler un mètre ruban entre le bord de l'eau et la forêt afin de noter les distances.

→ Quand mesurer

À marée basse, pour pouvoir recueillir des informations sur les animaux et la végétation vivant dans la partie émergée de la plage et sur ceux de la zone intertidale (image ci-dessous).



Succession végétale: la zone frontale couverte d'herbes et de plantes rampantes laisse place à une zone couverte d'arbustes et de plantes herbacées, elle-même remplacée par des terres côtières boisées (adapté de Craig, 1984).

ÉTAPE 3 ANALYSER LES DONNÉES

Séparez les objets biologiques des autres et les végétaux des animaux puis identifiez les objets que vous avez collectés. Vous pouvez approfondir l'identification en donnant une description complète accompagnée de photos et en étudiant les habitudes – alimentation, déplacement, reproduction, protection – de chaque espèce. Discutez des conséquences du changement climatique sur les différentes espèces animales et végétales et réfléchissez aux moyens de les protéger. Rattachez les différentes problématiques aux conditions naturelles dans les différentes zones (par ex., la plage subit l'action des vagues durant les tempêtes et est exposée aux embruns salés, tandis que l'ar-

rière-dune et les zones forestières sont davantage protégées des embruns et du vent et présentent des sols plus riches).

Une fois la description détaillée de la répartition des animaux et des plantes trouvées dans votre écosystème côtier terminée, comparez avec les données analogues collectées par vos soins les années précédentes. Essayez de mettre en évidence les évolutions depuis les derniers relevés et demandez-vous ce qui peut être attribué au changement climatique.

Vous pourriez constater par exemple que :

- La répartition et/ou l'abondance des espèces dans les différentes zones de votre profil ont changé.

Si votre plage a rétréci parce que les bâtiments sur la côte ont empêché son recul vers l'intérieur des terres (la plage et le système dunaire suivent naturellement la hausse du niveau marin), vos dunes sont probablement au moins partiellement érodées. C'est pourquoi les animaux et les végétaux vivant dans cette zone de la plage ont peut-être disparu, vu leur population diminuer ou été remplacés par d'autres espèces.

Pour ce qui est des plages rocheuses, l'abondance et la répartition de la faune et des algues a pu évoluer (par ex. raréfaction des lits de moules en raison de la surabondance de prédateurs). L'acidification

de l'océan peut également entraîner une modification des espèces qui peuplent une plage rocheuse. Les limites d'habitat de nombreuses espèces intertidales pourraient être remontées vers le haut de la plage.

- Si votre écosystème côtier comprend des marais salés ou des mangroves, vous pourriez observer une migration vers l'intérieur et/ou la disparition de ces zones végétales et des animaux peuplant ces écosystèmes.

Si des organisations locales ou des scientifiques travaillent sur votre plage, ils pourraient vous aider à identifier d'autres changements affectant votre écosystème côtier.

ÉTAPE 4 METTRE DES SOLUTIONS EN OEUVRE

Après identification des espèces végétales et/ou animales les plus menacées sur votre plage, vous pouvez élaborer un plan pour permettre à leurs habitats de se rétablir. Demandez aux propriétaires ou gestionnaires des terrains s'ils acceptent l'idée de planter plus d'arbres, des mangroves ou d'autres plantes dunaires. Vous devrez expliquer que la végétation permettra à l'écosystème côtier de mieux résister au changement climatique. Assurez-vous de planter des espèces indigènes qui correspondent aux espèces autrefois présentes dans la région ou qui existent toujours mais peinent à s'épanouir. Elles résisteront mieux au changement climatique que les espèces importées d'autres régions. Recher-

chez des partenaires pour vous aider dans le cadre de votre projet (par ex. ministère de l'Agriculture, groupes locaux, ONG environnementale) et :

- élaborez votre plan de plantation: espèces d'arbres indigènes, nombre de plants, espace entre les plants, besoins en engrais écologiques, ainsi qu'un plan de suivi afin de prendre soin des plantes lorsqu'elles sont jeunes;
- plantez les arbres et faites la promotion de l'activité;
- surveillez avec attention le nombre de plants qui ont survécu durant les six premiers mois et prenez soin des arbres, notamment en les arrosant, car la plage est un milieu très rigoureux pour les jeunes plants.



Plantation de mangroves au Cambodge.

PROJET D'ATTÉNUATION

METTRE EN PLACE UN PÉDIBUS

DISCIPLINE CONCERNÉE

Atténuation du changement climatique :
transport scolaire

CLASSE

CP à CM2

CIBLE

Établissements scolaires en zone urbaine

APERÇU

Dans le cadre de ce projet, les élèves des zones urbaines planifient, organisent et mettent en place un pédibus afin de moins utiliser la voiture pour se rendre à l'école. Ils mènent un sondage dans leur entourage, essaient de déterminer plusieurs itinéraires et abordent diverses problématiques liées à la sécurité, à la signalisation, aux horaires de passage, etc. Ils travaillent aussi sur la communication à employer avec les autorités locales et les parents afin de mettre en place ce projet de pédibus.



ÉTAPES

ÉTAPE 1 – Comment allons-nous à l'école ?	Les élèves mènent un sondage intergénérationnel dans leur famille pour enquêter sur l'évolution des transports au quotidien durant les 50 dernières années.
ÉTAPE 2 – Quel itinéraire est le plus adapté à notre pédibus ?	La classe identifie, sur une carte grand format du quartier, le domicile de chaque élève afin de décider d'un premier itinéraire pour le pédibus.
ÉTAPE 3 – Quelles règles suivre ?	Une personne de la municipalité vient à l'école pour valider l'itinéraire choisi et définir les règles de fonctionnement du pédibus.
ÉTAPE 4 – Notre itinéraire est-il réaliste ?	Les élèves testent les itinéraires identifiés et vérifient qu'ils sont faciles d'accès et sûrs.
ÉTAPE 5 – Comment communiquer ?	La classe établit un plan de communication à destination des parents et de la municipalité pour leur faire connaître l'itinéraire.
ÉTAPE 6 – Test et lancement	Prêt pour le Jour-J !
ÉTAPE 7 – Pérennisation	Comment veiller à la pérennisation du projet sur le long terme, impliquer toute l'école, voire tout le quartier ?

ÉTAPE 1

COMMENT ALLONS-NOUS À L'ÉCOLE ?

Commencez le projet par un débat autour des effets du transport routier sur le changement climatique.

Demandez à tous les élèves de répondre à un questionnaire de base :

- *Comment te rends-tu à l'école habituellement ?*
- *Combien de temps cela te prend-t-il ?*
- *Quelle distance représente le trajet école-domicile ?*
- *Serais-tu prêt à venir à pied si tu étais accompagné par tes parents ?*

Une brève discussion montre que très souvent en zone urbaine (du moins dans les pays développés), les élèves se rendent à l'école en voiture malgré de très courtes distances.

Demandez-leur s'ils pensent que cela était aussi le cas pour leurs parents ou grands-parents et comment ils pourraient se renseigner. La classe décidera ensuite de mener un sondage intergénérationnel ciblant les parents et les grands-parents.

Les élèves définissent le contenu du questionnaire et réalisent le sondage. À titre d'exemple, le questionnaire pourrait inclure des questions du type :

- *Quel âge avez-vous ?*
- *Comment vous rendiez-vous à l'école lorsque vous étiez enfant ?*
- *Combien de temps cela vous prenait-il ? (moins de 10 min; entre 10 et 30 min; plus de 30 min)*
- *À quelle distance se situait votre école ? (moins de 1 km; entre 1 et 3 km; plus de 3 km)*
- *Comment allez-vous au travail (ou toute autre destination qui vous oblige à vous déplacer au quotidien) ? Détaillez le trajet en indiquant la distance et le temps de parcours pour chaque moyen de transport.*
- *Selon vous, le confort des moyens de transports a-t-il évolué avec le temps ?*
- *Si un pédibus (moyen de transport pédestre où les élèves sont chaperonnés par des adultes) était mis en place, seriez-vous prêt à l'utiliser pour amener votre enfant à l'école ?*
- *Seriez-vous prêt à aider à monter ce projet en accompagnant les enfants qui choisiraient ce moyen de transport pour se rendre à l'école ?*

Après avoir mené le sondage dans leur famille, les élèves comparent leurs résultats¹. Dans de nombreux pays développés, nous constatons que même lorsque les parents et grands-parents devaient parcourir de longues distances pour se rendre à l'école,



ils le faisaient à pied ou à vélo. Aujourd'hui, bien que l'école soit située à une distance moindre du domicile des élèves, de plus en plus de personnes amènent leur enfant à l'école en voiture.

Discutez des avantages de la marche pour se rendre à l'école : moins d'émissions de CO₂ et de particules fines, moins de circulation près des écoles, donc un environnement plus sûr permettant aux gens de « redécouvrir » leur quartier, etc.

Parlez du terme « pédibus » qui se distingue d'un trajet libre à pied jusqu'à l'école. Un pédibus est un moyen de transport public régi par des règles (arrêts, horaires, itinéraires) utilisé par les élèves, chaperonnés par des adultes (leurs parents en général, qualifiés de « conducteurs »), pour se rendre à l'école.

Analysez et discutez avec les élèves de la possibilité de mettre en place un pédibus et des modalités d'un tel projet. Différentes idées seront peut-être suggérées :

- Identifier le domicile de chaque élève,
- Identifier l'emplacement des arrêts,
- Déterminer les différents itinéraires,
- Définir les horaires de passage,
- Trouver les « conducteurs »,
- Vérifier si d'autres classes de l'école souhaiteraient participer au projet,
- Communiquer auprès des parents (leur donner le plan et les horaires, expliquer le principe),
- Communiquer avec la mairie et les autorités de police, pour les questions liées à la sécurité.

¹ Cette activité peut être l'occasion de faire un peu de mathématiques chiffrées (statistiques, moyennes, additions) ou visuelles (tableaux, graphiques).

ÉTAPE 2

QUEL ITINÉRAIRE EST LE PLUS ADAPTÉ À NOTRE PÉDIBUS ?

Munissez-vous d'une carte grand format de la ville ou du quartier (en fonction de la taille de la ville) et d'au moins un exemplaire petit format de cette carte par groupe.

→ NOTE

Il vaut mieux utiliser une vue « satellite » plutôt qu'une vue « cartographique » afin de pouvoir distinguer les maisons des immeubles. Pour choisir l'emplacement des arrêts, ce type d'informations sera essentiel car l'itinéraire doit être pratique pour un maximum d'élèves : les immeubles auront la priorité sur les maisons car l'arrêt servira à davantage de familles.

Les élèves localisent d'abord l'école et leur domicile sur la carte afin d'avoir une vue d'ensemble de la répartition des différentes habitations.



La classe propose ensuite divers itinéraires et déterminent les plus adaptés en termes de sécurité (circulation, passages piétons, trottoirs). Un pédibus peut comporter plusieurs « lignes » qui se croisent ou non, afin que chaque élève ne marche pas plus de 15 minutes.

Afin de faciliter le travail de la classe et, par la suite la gestion du pédibus, nous vous conseillons de ne pas dépasser trois lignes. Certains élèves s'apercevront que le tracé de certaines lignes les contraindra à faire un détour : il est possible de les minimiser mais il faut comprendre que le pédibus ne peut passer devant chaque maison. Une fois les lignes tracées, les « arrêts » doivent être déterminés.



Cette classe de CM2 a mis au point trois lignes.

ÉTAPE 3

QUELLES RÈGLES SUIVRE ?

Pour cette première étape, même si ce n'est pas indispensable, il pourrait être particulièrement judicieux de faire participer un employé de mairie ou, encore mieux, un officier de police, qui sera en mesure de valider ou de rejeter les itinéraires choisis par les élèves pour des raisons de sécurité. Le policier peut aider à trouver les meilleurs emplacements où faire s'arrêter le pédibus. Sinon, l'enseignant peut endosser ce rôle.

DÉBAT EN CLASSE

La classe entière doit aborder la question des horaires : le pédibus fera-t-il exclusivement l'aller, ou l'aller et le retour ? Pour prendre une décision, il est nécessaire d'identifier les horaires de départ et/ou d'arrivée des élèves (accueil/activités périscolaires,



etc.) et de vérifier si le pédibus servira à suffisamment d'élèves. La classe peut aussi décider de définir deux horaires de passage différents et/ou de « fermer » une ligne pour le trajet retour de l'école.

DÉBAT EN GROUPE

→ Horaires du pédibus

Vous pouvez répartir les élèves sur les différentes lignes pour qu'ils travaillent sur les horaires. Un groupe peut déterminer les horaires de passage du pédibus à chaque arrêt (en prenant en compte la durée de marche du trajet) et à l'arrivée à l'école. N'oubliez pas que le temps de trajet jusqu'à l'école ne doit pas dépasser 15 minutes. Afin d'éviter de rallonger le trajet, il est important de marquer de brefs arrêts, d'une minute maximum.

→ Nombre de «conducteurs» et de «guides»

Sachant qu'il faut deux à trois guides pour 15 élèves, un groupe sera chargé de créer un planning à destination des parents. Les élèves identifieront grâce aux questionnaires les parents disposés à accompagner le pédibus². Ils peuvent créer un calendrier grand format à afficher dans la classe ou à l'école, avec les disponibilités des parents en fonction des jours de semaine et une grille pour les élèves, afin de définir qui sera chargé de conduire le pédibus. Prévoyez une «journée test» pour vérifier l'itinéraire et le bon fonctionnement de ce pédibus.

→ Charte du pédibus

Un groupe peut rédiger une charte à destination des élèves et des parents. Ils décriront les règles du pédibus incluant les mesures à prendre en cas de retard ou d'absence imprévue d'un élève/parent, les engagements de chacun, les questions d'assurance, etc. Cette charte peut être signée par chaque élève et parent y participant.

→ Règles de sécurité

Un groupe sera chargé de déterminer les règles de sécurité du pédibus, qui seront ensuite intégrées à la charte. Comment les élèves doivent-ils se comporter le long du trajet, que doivent-ils porter (un gilet de sécurité), quelles règles du code de la route s'appliquent au pédibus ?

Les élèves doivent connaître les règles de sécurité piétonne. Vous pourrez trouver des informations sur les différents sites nationaux³ et les exposer en classe ou en faire un exercice pratique que les élèves devront effectuer dans leur famille.

→ Coordonnées

Un groupe sera chargé de rassembler les coordonnées de chaque famille.

Le document devra comporter les informations suivantes : nom et prénom de l'élève et de son/ses parent/s, adresse et numéro(s) de téléphone. Tous les «conducteurs» et «guides» seront en possession de ce document et échangeront également leurs coordonnées.

→ Pass Pédibus

L'un des groupes peut créer un «pass» qui inclut (au moins) les informations suivantes :

- «pass élève» : nom, école, classe, arrêt, ligne, personne à contacter en cas d'urgence.
- «pass conducteur» : nom, école, ligne.

➔ REMARQUE

Les pass seront créés une fois le contenu validé.

DÉCISION COLLECTIVE

Étant donné que les groupes d'élèves ont travaillé sur différents aspects du projet, il est important de partager toutes les informations et de veiller à ce que toute la classe approuve ou améliore le travail effectué.

Une problématique doit être abordée : que doivent faire les élèves en cas de retard ? Pour le bon fonctionnement du pédibus, il faut expliquer clairement que celui-ci n'attendra aucun élève. Cela entraînerait un retard général, mettant toute la ligne en retard et pourrait conduire à l'abandon du projet. Un pédibus est un moyen de transport public ponctuel. Un «vrai» bus n'attendrait pas les retardataires.

2 Puisque les questionnaires ont été distribués avant de travailler sur ce projet, il est possible que les parents aient répondu «non», uniquement parce qu'ils ne savaient pas en quoi consistait un pédibus. Dans ce cas, la question peut être reposée à la lumière du travail effectué par les élèves.

3 Par exemple : <https://www.livingstreets.org.uk/walk-to-school> (UK), <http://www.walkbiketoschool.org> (US) ou <http://www.marchonsverslecole.com> (France)

ÉTAPE 4 NOTRE ITINÉRAIRE EST-IL RÉALISTE ?

Il est désormais temps de vérifier le fonctionnement du pédibus. Il faut donc que les parents accompagnants soient disponibles. Outre les parents, il est judicieux (mais pas indispensable) d'être accompagné par un officier de police afin de vérifier la dimension sécuritaire.

PRÉPARER LA SORTIE

Présentez les parents accompagnants et rappelez que les objectifs de la journée sont de tester les lignes, de vérifier les temps de trajet, l'aspect sécurité et l'itinéraire en lui-même.



PENDANT LA SORTIE

Divisez la classe en groupes (un groupe par ligne) ou voyagez en classe entière.



En votre présence, quelques parents – et dans l'idéal un officier de police – ainsi que les élèves vérifient que l'itinéraire est sûr et pratique.

Les élèves prennent des photos et des notes : tel trottoir est trop étroit, telle route trop fréquentée, tel élément caractéristique permet d'identifier facilement l'arrêt, etc. Ils indiquent sur la carte les endroits/croisements qu'ils estiment critiques. Chronométrez le temps de trajet entre chaque arrêt.

DE RETOUR EN CLASSE

Les élèves partagent leurs impressions sur les itinéraires et leurs cartes commentées. Les itinéraires sont validés, ou modifiés si nécessaire, soit pour des raisons de sécurité, soit pour des raisons pratiques (par exemple, ils peuvent décider d'ajouter quelques arrêts supplémentaires si la distance entre deux arrêts dépasse 5 minutes).

ÉTAPE 5 COMMENT COMMUNIQUER ?

DÉBAT EN CLASSE

Demandez pourquoi et comment la classe communiquera sur le pédibus avec les différents acteurs.

Débattez avec toute la classe autour des avantages de la marche par rapport à la voiture pour se rendre à l'école : moins de pollution, moins d'émissions de CO₂ et de particules fines, moins de pollution sonore, une meilleure activité physique ou encore la possibilité de découvrir le quartier.

Donnez des chiffres clés pour compléter ceux fournis ci-après.

Les informations suivantes concernent la France et doivent être contextualisées en fonction du pays avant d'être transmises aux élèves :

- À Paris (à l'exception des banlieues), 50% des trajets domicile-école se font en voiture⁴.
- En France, 40% des trajets quotidiens en voiture sont inférieurs à 3 km, tandis que 50% sont inférieurs à 5 km⁵.

DÉBAT EN GROUPE

Vous pouvez faire travailler chaque groupe d'élèves sur un aspect spécifique de la communication. À la fin, ils ne devront produire qu'un texte, une affiche et un « pass ».

→ Tracer la route

Un groupe travaille à partir d'une carte et trace les différentes lignes telles qu'elles ont été définies à l'étape précédente. Les arrêts et les horaires doivent également apparaître sur la carte.

4 Enquête Globale Transport (Paris, 2009-2011)

5 Ministère de la Transition écologique et solidaire (2018).

→ Conception finale des « pass »

Ce groupe définit et achève la conception des « pass » élèves et conducteurs de façon à ce qu'ils soient faciles à reproduire et à remplir.

→ Communiquer auprès des parents

La mission de ce groupe est de convaincre les parents des avantages du pédiibus. Pour ce faire, les élèves pourront créer des brochures, des courriers, des affiches, etc., contenant des informations sur le pédiibus et les bienfaits de la marche, ainsi que des arguments pour les impliquer (n'ignorez pas l'effet « social » de la marche: découverte du quartier, engagement citoyen et réunions entre familles, etc.).

→ Communiquer auprès de l'école

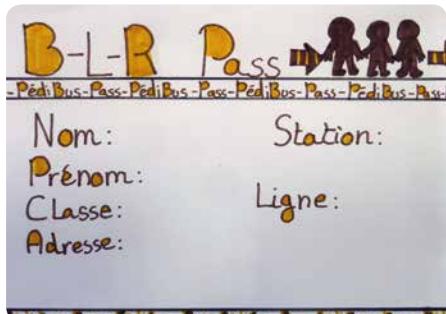
Ce groupe remplit la même fonction que le groupe précédent mais il cible d'autres classes et l'administration scolaire. (Les itinéraires/arrêts définis par la classe seront sujets à rectification si toute l'école participe au projet.)

→ Communiquer auprès des autorités locales

L'objectif de ce groupe est de sensibiliser la mairie. Pour y parvenir, les élèves pensent à la mise en place d'événements possibles: lancement officiel, débat public, article dans un journal local, interviews.

→ Signalisation à placer dans le quartier

Dans ce groupe, les élèves conçoivent les étiquettes, les affiches et les panneaux qu'ils placeront tout au long du trajet du pédiibus, mais aussi dans le quartier pour informer et sensibiliser les résidents.



▲ Exemple en France



Exemples en Italie
et en Allemagne.



CONCLUSION

Comme expliqué précédemment, il est important de partager toutes les informations avec l'ensemble des groupes et de veiller à ce que toute la classe approuve ou améliore le travail effectué.

Vous pouvez en dernier lieu leur montrer différents exemples de communication réalisés par des professionnels et discuter des différences entre leurs réalisations et celle des professionnels. Cela aidera peut-être les élèves à faire des suggestions pour améliorer leur visuel (le rendre plus efficace du point de vue de la communication, par exemple), telles qu'utiliser un logo (un bus avec des jambes est une suggestion récurrente), un code couleur, etc. *Quelle différence y a-t-il entre cette affiche et la nôtre ?*

La classe peut aussi décider de contacter la presse locale et de l'inviter à assister à des réunions préparatoires, à l'installation de panneaux de signalisation et à l'organisation afin de sensibiliser un public plus large quant à ce projet.

ÉTAPE 6 TEST ET LANCEMENT

Il est utile de planifier la phase expérimentale avant de lancer un pédibus de façon permanente.

D'une part, cela permet de vérifier la viabilité et la pertinence de l'action et de définir les modalités de sa mise en place en vue de la durabilité du projet. D'autre part, cela donne de la visibilité et de la crédibilité.

Le plus souvent, une «journée test» prend la forme d'un événement festif:

AVANT

- Choisir une date symbolique «la semaine du développement durable», la semaine internationale du projet «Je vais à l'école à pied», etc.
- Organiser une réunion préliminaire pour expliquer votre projet à ceux qui ne le connaissent pas encore, pour annoncer la date de la journée test, répartir les rôles entre parents, grands-parents et/ou associations.

PENDANT

- Prévoir d'inviter la presse locale et préparer un kit à cet effet.
- Inviter les autorités locales (maire, directeur de l'école, etc.) et donnez-leur un rôle pour le Jour-J: discours d'ouverture/de clôture.



- Prendre des photos et filmer l'événement, organiser des activités pédagogiques amusantes ou un petit-déjeuner de bienvenue.

APRÈS

Vous pouvez envisager de remettre des diplômes de marche aux élèves pour leur participation à ce pédibus, prendre des photos et filmer. Cela contribuera à les motiver pour continuer le pédibus!

ÉTAPE 7 PÉRENNISATION

Le travail ne s'arrête pas là. Mettre en place un pédibus est un accomplissement en matière d'éducation au changement climatique, mais cela prend du temps. Il doit donc être poursuivi sur le long terme et évalué quelques mois après son lancement.

Le pédibus sera un projet durable si, jour après jour, les lignes continuent de prendre des «passagers».

Pour veiller à la transition d'un pédibus propulsé par un événement festif à un pédibus régulier et pour éviter de perdre cet élan, vous pouvez entreprendre plusieurs actions :

- Communiquer sur les résultats du projet, en soulignant les évolutions positives, donner une impulsion au projet en début et en fin d'année scolaire en expliquant que le pédibus reprendra à la rentrée.
- Essayer d'ajouter des «conducteurs» sur la liste, le manque de disponibilité des parents accompagnants étant l'obstacle principal au fonctionnement du pédibus. Convaincre d'autres parents de participer est essentiel.

- En étroite collaboration avec la direction de l'école, fournir systématiquement des informations aux parents qui viennent inscrire leurs enfants.
- Mener un sondage de satisfaction pour adapter le pédibus (lignes, horaires, arrêts) de manière modulable et collaborative.
- Organiser régulièrement des événements festifs ou des défis dans le cadre du programme international «Je vais à l'école à pied».

Enfin, le côté durable de ce projet nécessite une transition graduelle vers une «institutionnalisation» du projet : de la classe à l'école, puis de l'école à la mairie.

PROJET DE SENSIBILISATION

SCIENCE EN SCÈNE

DISCIPLINE CONCERNÉE

Art, Sciences, Littérature.

CLASSE

CM1 à 5^{ème}

CIBLE

Sensibiliser les élèves et leur entourage (école, famille, acteurs locaux) au changement climatique

RÉSUMÉ

L'objectif de ce projet est de sensibiliser sur les problématiques liées au changement climatique et de réunir la science, la littérature et le théâtre afin de mieux s'approprier le processus de l'investigation en sciences en étudiant les conséquences et l'origine du changement climatique ainsi que les solutions possibles. En mettant en scène une pièce de théâtre, les élèves étudient les caractéristiques d'un texte théâtral, lisent et rédigent des textes sur le thème du climat, découvrent la scène et apprennent l'art théâtral en faisant des exercices qui développent la proprioception mais également les compétences interpersonnelles et de communication.



ÉTAPES

ÉTAPE 1 – Le domaine scientifique	Comprendre les mécanismes du changement climatique, ses conséquences et les mesures d'adaptation et d'atténuation à mettre en œuvre.
ÉTAPE 2 – Les domaines littéraire et dramatique	Découvrir le théâtre par l'étude d'écrits dramatiques tout en atteignant les objectifs d'apprentissage en sciences.
ÉTAPE 3 – La création de la représentation	Travailler sur des supports écrits qui peuvent être personnels, littéraires, scientifiques... Choisir des vidéos ou des bruits de fond à utiliser comme supports pendant la représentation.
ÉTAPE 4 – Organisation des séances	Travailler sur un jeu de rôle, l'écriture et le jeu.
ÉTAPE 5 – En scène !	Prêts à présenter la pièce devant les familles, l'école et des acteurs locaux !

OBJECTIFS

- Lire et interpréter des textes littéraires et scientifiques
- Poser des questions, émettre des hypothèses, comparer des points de vue, faire un travail interdisciplinaire
- Se familiariser avec le processus de l'investigation en sciences
- Donner une voix à un travail effectué en classe grâce à la théâtralisation
- Produire oralement un texte mémorisé
- Rédiger une pièce de théâtre
- Découvrir un domaine artistique : le théâtre

- Prendre part à un projet collectif
- Développer de la persévérance dans les activités entreprises
- Renforcer l'estime de soi

Ce projet est proposé à titre d'exemple ; vous êtes vivement encouragé/e à le modifier et à l'adapter en fonction des besoins de vos élèves et du contexte local. Tout particulièrement à l'Étape 4, les séances et textes proposés doivent impérativement être adaptés au contexte local.

ÉTAPE 1

LE DOMAINES SCIENTIFIQUE

Comprendre les mécanismes du changement climatique, ses conséquences et les mesures d'adaptation et d'atténuation possibles à mettre en œuvre.

L'enseignant peut utiliser ce manuel pour la première partie de ce projet. L'objectif de cette première partie est de présenter la thématique du changement cli-

matique aux élèves, ainsi que ses conséquences et les mesures d'adaptation et d'atténuation à mettre en œuvre.

ÉTAPE 2

LES DOMAINES LITTÉRAIRE ET DRAMATIQUE

Découvrir le théâtre par l'étude d'écrits dramatiques tout en atteignant les objectifs d'apprentissage en sciences.

Les élèves découvrent le genre dramatique et toutes ses caractéristiques en comparant des œuvres dramatiques et narratives. Divers aspects doivent être mis en évidence auprès des élèves : les différences entre les deux types d'écrits, la façon qu'ont les personnages de s'exprimer, les symboles typographiques, l'absence de verbes introductifs, le rôle des didascalies.

Les élèves lisent des textes littéraires en lien avec le thème scientifique étudié. Il peut s'agir d'extraits de poésies, de romans ou de textes humoristiques, entre autres.

Voici quelques exemples de textes français sélectionnés et utilisés par une école française dans le cadre du festival « Science en scène » : *L'homme qui plantait des arbres* de Jean Giono, *Le bonhomme de neige* de Jacques Prévert, *Conversation* de Jean Tardieu, *Il faut tuer Samy* d'Ahmed Madani, *Oceano nox* de Victor Hugo. Vous aurez à sélectionner à votre tour d'autres textes sur le thème que vos élèves aimeraient étudier, selon votre langue, votre culture et votre programme scolaire.

Ces mêmes textes servent de support aux exercices de mise en scène et de voix. Les élèves exploreront le langage vocal et corporel, puis se verront progressivement introduits aux techniques de jeu théâtral.

La première partie du travail vise à aider les élèves à prendre confiance, à accepter le contact et le regard d'autrui. Les élèves sont invités à parler fort et à articuler clairement.

Il est important que tous les élèves se sentent à l'aise et investis dans ce jeu collectif.



ÉTAPE 3

LA CRÉATION DE LA REPRÉSENTATION

Travailler sur des supports écrits qui peuvent être personnels, littéraires, scientifiques. Choisir des vidéos ou des bruits de fond à utiliser comme supports pendant la représentation.

La représentation se compose de plusieurs tableaux et d'un corpus de textes. Il s'agit de transcrire des questionnements et découvertes scientifiques en mise en scène, mais d'éviter aussi d'en arriver à un dessin imaginaire social inspiré de la littérature ou du cinéma. Cela permet également de distinguer la vérité scientifique de l'irrationnel.

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

- Écrits théâtraux ou textes narratifs transposés en écrits de théâtre.
- Textes narratifs, pouvant être littéraires ou non.
- Textes poétiques.
- Textes scientifiques, issus de journaux et travaux spécialisés ou de traces scientifiques écrites.
- Productions écrites des élèves.
- Textes issus d'improvisations des élèves.
- Langage corporel.
- Scènes visuelles.
- Vidéos.

Pour travailler sur cette partie, il est intéressant d'établir des partenariats avec des scientifiques qui peuvent vous fournir des vidéos et bruits de fond. Ces supports sont aussi l'occasion de créer un lien

entre les élèves, les scientifiques et les études qu'ils entreprennent.

MODALITÉS

- Dure entre 6 et 8 mois.
- Répétitions toutes les 2 semaines.
- Chaque élève a un cahier personnel dans lequel reporter toutes les notes individuelles et collectives prises pendant le projet.
- Un livre de mise en scène sera également rempli tout au long des répétitions. Il est rédigé par tous les élèves de la classe qui sont tour à tour chargés de prendre des notes. Il servira à se souvenir des répétitions et à élaborer la mise en scène.

RÉDIGER LA PIÈCE

- Écrits théâtraux ou textes narratifs transposés en écrits de théâtre.
- Textes narratifs, pouvant être littéraires ou non.
- Textes poétiques.
- Textes scientifiques, issus de journaux et travaux spécialisés ou de traces scientifiques écrites.
- Productions écrites des élèves.
- Textes issus d'improvisations des élèves.
- Langage corporel.

ÉTAPE 4

ORGANISATION DES SÉANCES

Travailler sur un jeu de rôle, l'écriture et le jeu.

PROGRESSION DES SÉANCES

- Les quatre premières séances sont consacrées au jeu théâtral.
- À partir de la séance 5, alternez une séance littéraire et une séance de jeu théâtral.
- Durant les trois premiers mois, il s'agira d'alterner les phases de jeu et les répétitions. Prenez le temps nécessaire et adoptez une certaine souplesse dans l'organisation.

ORGANISATION DE CHAQUE SÉANCE

Les quatre premières séances sont divisées en trois parties : une première consacrée au jeu théâtral, une deuxième à l'improvisation et la dernière à l'étude d'écrits dramatiques. Les séances restantes se penchent sur la littérature dramatique tout en poursuivant le développement des compétences de jeu des élèves grâce aux différentes activités théâtrales.

- **Jeux dramatiques:** travail sur la voix et le langage corporel.

- **Improvisations:** créer et jouer un événement, une situation, etc.
- **Textes:** diriger la voix et la mise en scène.

OBJECTIFS PRINCIPAUX DU JEU THÉÂTRAL

- Distinguer un texte théâtral d'un texte narratif.
- Rédiger une scène d'une pièce de théâtre.
- Mémoriser une scène.

PRINCIPAUX OBJECTIFS DES ACTIVITÉS THÉÂTRALES

- **Diction:** placer sa voix, articuler, explorer différents moyens de diction.
- **Expression corporelle:** explorer les mouvements du corps, se mettre dans des postures inhabituelles, travailler la synchronisation.
- **Gestion de l'espace:** occuper l'espace et l'utiliser collectivement.
- **Transversalité:** accepter le contact et le regard d'autrui, faire confiance à l'autre.

JEU THÉÂTRAL

	OBJECTIF	JEU DRAMATIQUE	IMPROVISATION	TEXTE
SÉANCE 1	Expérimenter une forme d'expression : le jeu théâtral	Un grand et un petit	Un géant veut entrer dans un restaurant	<i>Le géant aux chaussettes rouges</i> de Pierre Gripari
SÉANCE 2	Faire confiance à quelqu'un	L'aveugle	L'interview	<i>Au marché</i> de Georges Courteline
SÉANCE 3	Travailler la synchronisation	Le miroir	La chorale	<i>La guerre de Troie</i> (d'après l'album de Christine Palluy)
SÉANCE 4	Transmettre une émotion en gardant une attitude figée	Photos	L'accident	<i>Finissez vos phrases</i> de Jean Tardieu

	LITTÉRATURE	JEU THÉÂTRAL
SÉANCE 5	Tri de textes	Déambulations Créer des situations inspirées de phrases tirées des textes sélectionnés
SÉANCE 6	Collecter les représentations des élèves sur le genre théâtral (Extraits de <i>Cyrano de Bergerac</i> d'Edmond Rostand ou du <i>Géant aux chaussettes rouges</i> de Gripari) Identifier les différences et les similitudes entre les textes dramatiques et narratifs Identifier les différents types Distinguer les répliques des didascalies	Progression sur scène
SÉANCE 7	Rédiger la fin d'une scène Récupérer les productions écrites des élèves pour les améliorer	Particularités géographiques (colline, précipice...)
SÉANCE 8	Comprendre le rôle des didascalies	Photos
SÉANCE 9	Comprendre le rôle d'une didascalcie initiale	Une série de gestes
SÉANCE 10	Identifier l'organisation d'une pièce	Manipulation d'objet : la lettre ou le document important
SÉANCE 11	Rédiger une didascalcie initiale en fonction d'un dessin de décoration	Les échelles du rire et des pleurs, la métamorphose
SÉANCES SUIVANTES	Lecture de textes Interprétation, compréhension, mémorisation (en lien avec la scène) Recherche documentaire sur les auteurs	Répétitions Mémorisation de textes et de mouvements sur scène Direction vocale : diction, intonation, intentions Gestuelle : internaliser un personnage Exprimer des sentiments par la voix, le visage et le corps

ÉTAPE 5 EN SCÈNE !

Ce projet aboutira à la représentation de la pièce devant un public. Cet aspect est essentiel car il donne tout son sens au projet. Cela motive les élèves tout au long de l'année et leur donne un objectif. Ils se projettent, apprennent la persévérance et acceptent tout le travail que cela implique. Proposer une représentation finale améliore le travail des élèves.

Cela contribue également à impliquer les parents dans l'accompagnement scolaire de leurs enfants et peut aussi être l'occasion d'inclure un scientifique pour introduire une discussion sur le sujet. La rencontre de l'art et de la science provoque de nombreuses émotions. Certains parents découvriront peut-être de nouveaux talents chez leur enfant. L'émotion créée à cette occasion marquera les esprits des enfants et des résidents du quartier.

Photos illustrant la pièce « Science en scène » organisée dans un collège français (Nogent-sur-Oise) en juin 2019 :



Les élèves représentent le graphique d'augmentation des températures du GIEC.



Reproduction d'une scène du projet « Mémoire de la glace » partagé par un chercheur en glaciologie.

À FAIRE SOI-MÊME

IDÉES DE PROJETS

Le tableau ci-dessous donne un aperçu des différents sujets qui peuvent inspirer un projet, la matière principale concernée et les idées clés associées à chaque sujet.

Zones naturelles protégées Adaptation SVT	<ul style="list-style-type: none"> Projets citoyens (surveillance, observation de la biodiversité, etc.). Nous pouvons mettre en place des mesures d'adaptation aux effets du changement climatique. Nous pouvons déjà sauver des écosystèmes menacés. Créer des zones naturelles protégées, qui favorisent la régénération d'écosystèmes et peuvent servir de zones éducatives et récréatives.
Économiser l'eau Adaptation Sciences sociales / SVT	Utiliser moins d'eau limite la consommation d'eau douce et permet de maintenir l'équilibre du cycle de l'eau.
Devenir un ambassadeur du climat Sensibilisation Arts visuels / du spectacle	Logos, slogans, podcasts, émissions de radio, vidéos YouTube, théâtre, chansons, peintures, art de rue, expositions, etc.
Gérer sa consommation d'énergie Atténuation Sciences sociales / SVT	<ul style="list-style-type: none"> Nous pouvons participer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre pour atténuer le changement climatique en faisant des choix consciencieux, notamment à domicile. Choisir des sources d'énergies renouvelables. Limiter notre consommation d'énergie en isolant mieux nos logements, en repensant les systèmes de chauffage et de refroidissement ainsi qu'en changeant nos habitudes individuelles de consommation d'énergie.
Transport Atténuation Sciences sociales / SVT	<ul style="list-style-type: none"> Nous pouvons participer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre pour atténuer le changement climatique en faisant des choix consciencieux, notamment en matière de transport. Sur de courtes distances, en choisissant le vélo ou la marche. Sur de longues distances, en évitant de faire de longs trajets pour un séjour de courte durée sauf si besoin est. Il est aussi possible de choisir un moyen de transport non alimenté par des énergies fossiles ou de privilégier le covoiturage ou les transports publics dans la mesure du possible.
Consomérisme et décisions d'achat Atténuation Sciences sociales / SVT / Arts visuels	<ul style="list-style-type: none"> Nous pouvons participer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre pour atténuer le changement climatique en faisant des choix consciencieux, notamment en matière de consommation. Éviter le consomérisme et acheter moins. Promouvoir l'économie circulaire dans laquelle les ressources consommées, les déchets, les émissions et les pertes énergétiques sont minimisées. En cas d'achat de nouveaux produits, acheter des produits fabriqués localement, qui n'ont pas parcouru de longues distances pour arriver jusque sur nos étalages. Préférer des produits durables. Réduire sa consommation de viande, tout particulièrement de bœuf. Éviter les produits qui contribuent à la déforestation, tels que l'huile de palme et les bois exotiques. Les cantines scolaires devraient s'engager en faisant des choix durables en matière d'alimentation et en gaspillant un minimum. Créer des jardins partagés.
Promouvoir une économie circulaire Atténuation Sciences sociales / SVT / Arts visuels	<ul style="list-style-type: none"> Nous pouvons participer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre pour atténuer le changement climatique en faisant des choix consciencieux, notamment en matière de consommation. Promouvoir l'économie circulaire dans laquelle les ressources consommées, les déchets, les émissions et les pertes énergétiques sont minimisées. Réutiliser. Réparer. Recycler. Créer des ateliers de réparation où chacun peut réparer des objets cassés ou leur donner une seconde vie. Installer des poubelles de recyclage à l'école. Commencer à recycler régulièrement à domicile.

Certaines de nos actions contribuent au changement climatique, mais nous pouvons agir pour réduire notre impact.

- Nous laissons tous une empreinte carbone sur Terre, mais nous pouvons aussi la réduire.
 - Nous pouvons faire des choix individuels et influencer les décisions publiques.
 - Nous pouvons choisir un métier qui a un impact.
 - Nous pouvons revoir nos habitudes.
 - Nous pouvons en parler à nos amis et à notre famille afin d'encourager de plus en plus de personnes à agir.
-



POUR ALLER PLUS LOIN

CONTENUS MULTIMÉDIA ADDITIONNELS

SITE INTERNET

Le site de l'Office for Climate Education offre de nombreuses ressources sur le changement climatique :

- des résumés des rapports du GIEC à destination des enseignants ;
- des activités à mener en classe ;
- des animations, des vidéos, des graphiques et des diagrammes pour la classe ;
- des ressources de développement professionnel.

Toutes les ressources de l'OCE sont publiées sous la licence CC-BY-NC-SA (Attribution + Pas d'Utilisation Commerciale + Partage dans les mêmes conditions).



A screenshot of the OCE website homepage. At the top, there's a banner with the text "Changement climatique: un défi pour l'éducation" and a "Découvrir l' OCE" button. Below the banner are three sections: "Ressources" (with an image of people working at desks), "Workshop" (with an image of people in a workshop setting), and "Réseau" (with an image of people at a table). Underneath these are three news cards: "ACTUALITÉS 06 novembre 2019 GULAN AND CRYOSPHERE" (about a new pedagogical guide), "ACTUALITÉS 02 décembre 2019 L'OCE à la COP25" (about participation in the COP25 conference), and "ACTUALITÉS 11 septembre 2019 On recrute une(e) stagiaire en illustration scientifique!" (about a recruitment call for a scientific illustration intern). At the bottom, there's a "Follow the OCE" section with social media icons for Facebook, Twitter, YouTube, and Instagram.

VIDÉOS

Certaines vidéos et animations ont été spécialement conçues en complément du manuel d'enseignement *Le Climat Entre Nos Mains – Océan et Cryosphère*. Les voici ci-dessous.

Dans chacune des vidéos suivantes, un-e expert-e présente un problème spécifique lié à l'océan ou à la cryosphère, en lien avec le changement climatique. Ces vidéos peuvent être utilisées pour entamer ou conclure une discussion avec les élèves sur un sujet en particulier.



L'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN

Aude Lemonsu, Météorologue, Météo-France

Les villes sont des environnements très particuliers avec peu de végétation. Les matériaux utilisés dans les infrastructures et édifices urbains maintiennent des températures élevées de jour comme de nuit. Par conséquent, cet îlot de chaleur urbain est une zone qui est bien plus chaude que ses environs. Du fait du changement climatique, on s'attend à ce que les villes deviennent de plus en plus chaudes. Il existe des solutions pour ralentir cette augmentation des températures, comme par exemple, replanter des arbres en ville ou installer des toitures végétalisées.



LES GLACIERS

Etienne Berthier, Glaciologue, LEGOS



Les glaciers sont des accumulations de glace qui se forment par le tassemement des couches de neige. Le changement climatique conduit à la disparition des glaciers, ce qui contribue pour environ 1/3 à la hausse totale du niveau marin. En outre, l'apport en eau douce issue des glaciers diminue. La seule chose que nous puissions faire pour protéger les glaciers est de réduire nos émissions de CO₂.



ACIDIFICATION DE L'OcéAN

Catherine Jeandel, Océanographe, LEGOS

L'eau de surface de l'océan devient plus acide car elle absorbe une partie des émissions anthropiques de CO₂. La dissolution du CO₂ dans l'eau forme de l'acide carbonique qui nuit aux algues et animaux calcaires, tels que les coraux, les huîtres et les moules. Le meilleur moyen de limiter l'acidification de l'océan est de limiter la quantité de CO₂ rejeté dans l'atmosphère.



CYCLONES TROPICAUX

Fabrice Chauvin, Météorologue, CNRM



Les cyclones tropicaux sont des phénomènes météorologiques de grande ampleur qui puisent leur énergie dans l'océan. Ils génèrent des vents très puissants et des précipitations abondantes. Leur fréquence ne devrait pas augmenter avec le changement climatique, mais les modèles prévoient une multiplication des phénomènes les plus intenses.



ÉNERGIES MARINES

Raphaël Gerson, Chef adjoint du service Réseaux énergies renouvelables, ADEME

Partout dans le monde, le changement climatique et la volonté d'une sécurité d'approvisionnement énergétique stimulent la demande en énergies renouvelables. L'énergie houlomotrice, l'énergie marémotrice et les fermes éoliennes offshore sont l'avenir du renouvelable: elles ne produisent ni CO₂ ni déchets, et créent de l'emploi à l'échelle locale, tout en devenant de plus en plus abordables.



FONTE DE LA BANQUISE

Martin Vancoppenolle, Expert en banquise, LOCEAN

Le changement climatique a des conséquences directes sur la banquise : le réchauffement de l'atmosphère accélère sa fonte. Selon nos estimations, les émissions d'un vol Paris-New York entraîneraient la fonte de 3 m² de banquise. Pour mieux protéger la banquise restante, nous devons réduire nos émissions de CO₂.



CIRCULATION THERMOHALINE

Jean-Baptiste Sallée, Océanographe, LOCEAN

La circulation thermohaline est constituée de courants marins planétaires générés par les différences de température et de salinité de l'eau de mer. Le changement climatique provoque un réchauffement de la surface océanique et une baisse de la salinité, sous l'effet de la fonte des glaces. Ces modifications entraînent une réduction de la circulation thermohaline. La solution réside dans la réduction de nos émissions de gaz à effet de serre.



EL NIÑO

Eric Guilyardi, Océanographe, IPSL

Le phénomène climatique El Niño caractéristique du Pacifique tropical implique à la fois l'océan et l'atmosphère. Habituellement, les alizés font circuler l'eau chaude d'est en ouest et entraînent d'intenses précipitations autour de l'Indonésie et un phénomène d'upwelling (l'eau froide remonte à la surface) sur la côte du Pérou, ce qui représente une source de nourriture additionnelle pour les poissons. En période d'El Niño, ce système s'effondre et l'eau chaude revient vers l'est. Nous ne savons pas encore si le changement climatique affecte le phénomène El Niño en lui-même, mais nous savons qu'il renforce l'impact de ce phénomène, notamment en accroissant les précipitations.



MANGROVES

François Fromard, spécialiste des mangroves, Ecolab

Les mangroves sont des forêts qui poussent dans la vase des littoraux tropicaux et subtropicaux. Elles rendent une multitude de services écosystémiques et stockent de grandes quantités de CO₂.

Ces mangroves sont notamment menacées par le développement de l'élevage de crevettes.



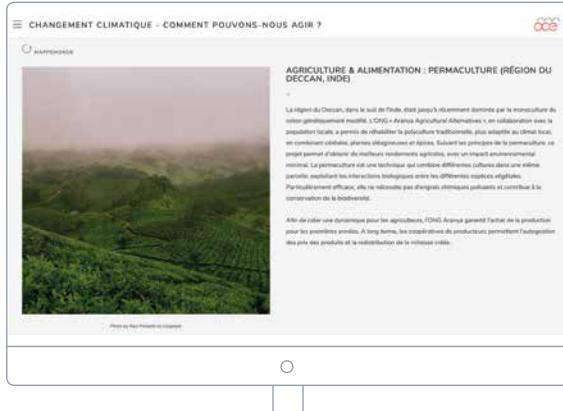
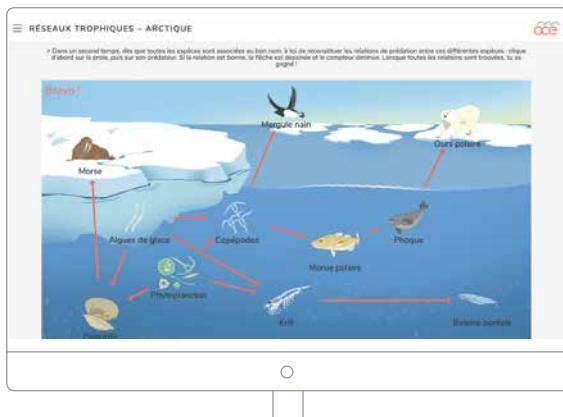
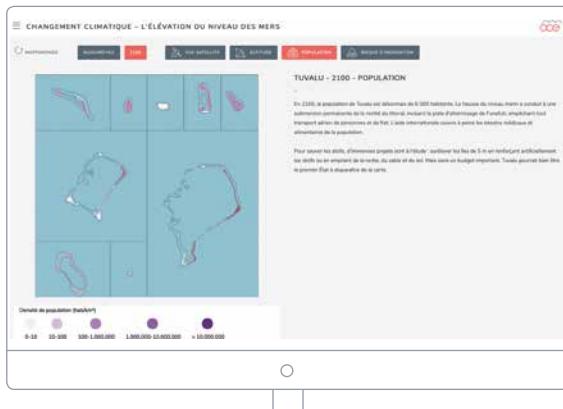
HAUSSE DU NIVEAU MARIN

Angélique Melet, Océanographe, Mercator Ocean International

Tandis que notre planète se réchauffe, une partie de cet excès de chaleur est absorbée par l'océan. Le niveau marin augmente en raison de la dilatation thermique de l'eau de mer et de la fonte des glaciers et des calottes glaciaires. Certains scénarios du GIEC prévoient une hausse supplémentaire d'environ 1 m d'ici 2100. Il est donc essentiel de préserver les protections naturelles de nos littoraux.

ANIMATIONS INTERACTIVES

Les élèves peuvent étudier de façon interactive différentes thématiques liées au changement climatique grâce aux animations suivantes.



HAUSSE DU NIVEAU MARIN

Cette animation montre les risques associés à la hausse du niveau marin dans cinq régions côtières : les deltas du Mississippi (États-Unis), du Nil (Égypte) et du Gange (Bangladesh), les Pays-Bas et l'archipel de Tuvalu.



RÉSEAUX TROPHIQUES

Cet ensemble d'animations permet aux élèves de reconstruire les réseaux trophiques de six écosystèmes marins : l'Arctique, l'Antarctique, les forêts de kelp, les mangroves, la Mer du Nord et les récifs coralliens.



EMPREINTE CARBONE

Cette activité permet aux élèves de calculer leur propre empreinte carbone. Ils peuvent ainsi réaliser à quel point leurs habitudes et activités quotidiennes contribuent aux émissions de CO₂ et comment ils peuvent agir pour les réduire.



SOLUTIONS

Cette animation décrit une trentaine de mesures concrètes prises à travers le monde afin de lutter contre les problématiques du changement climatique. Ces solutions d'adaptation ou d'atténuation relèvent entre autres des domaines de l'agriculture et de l'alimentation, de l'énergie, du logement, de la résilience urbaine, des écosystèmes, et de la recherche et de la sensibilisation du public.

BIBLIOGRAPHIE

DOCUMENTATION SCIENTIFIQUE SUR L'OCÉAN, LA CRYOSPHERE ET LE CLIMAT

Rapport Spécial du GIEC « L'Océan et la Cryosphère dans le contexte du changement climatique » (*The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*)

www.ipcc.ch/srocc

NASA – Changement climatique mondial : graphiques et ressources multimédia

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

Centre national de données sur la neige et la glace : données et images satellites montrant la transformation de la banquise en Arctique et Antarctique

https://nsidc.org/data/seacice_index/

Plateforme Océan et Climat

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

UNESCO – Alphabétisation océanique

<https://oceаниt.unesco.org>

RESSOURCES PÉDAGOGIQUES DE L'OCE

CLIM – Vidéos pédagogiques sur l'Océan et la Cryosphère dans le contexte du changement climatique

www.youtube.com/channel/UCFWnXg29G9npeWgFEaaa05w

Résumés des Rapports Spéciaux du GIEC

- L'Océan et la Cryosphère face aux changements climatiques – Résumé à destination des enseignants :
<https://www.oce.global/fr/resources/science-du-climat/locean-et-la-cryosphere-face-au-changement-climatique-resume-pour-enseignants>
- Réchauffement à 1,5°C – Résumé à destination des enseignants :
<https://www.oce.global/fr/resources/resumes-pour-enseignants/rapport-special-du-giec-rechauffement-15degc-resume-destination>

Ressources de développement professionnel à destination des enseignants

- L'effet de serre <http://www.oce.global/fr/resources/formation/comprendre-leffet-de-serre>
- L'océan et le changement climatique <http://www.oce.global/fr/resources/formation/ocean-et-changement-climatique>

AUTRES RESSOURCES PÉDAGOGIQUES

Institut d'Éducation Dublin City University: Trócaire et Centre pour les Droits de l'Homme et l'Éducation Citoyenne (CHRCE): « Creating Futures » (Bâtir l'avenir), élaboré dans le cadre de l'initiative « Education for a Just World » (Éducation pour un monde juste)
www.trocaire.org/getinvolved/education/creating-futures

Eco-écoles : témoignages et actualités des projets de développement durable menés dans diverses écoles
www.ecoschools.global/stories-news

La main à la pâte – L'océan, ma planète et moi: un outil pédagogique pour l'école primaire et le collège
<https://www.fondation-lamap.org/fr/ocean>

Les enfants du climat de la NASA (*NASA Climate Kids*)
<https://climatekids.nasa.gov>

Administration Nationale Américaine des Affaires Océaniques et Atmosphériques : enseigner le climat, fiches, plans de cours, études de cas, etc.
<https://oceanservice.noaa.gov/education/pd/climate/welcome.html>

The Sandwatch Foundation – Un réseau d'enfants et d'adultes travaillant main dans la main pour mettre en valeur leur plage et la rendre résiliente au changement climatique
www.sandwatchfoundation.org

TROPICSU – Ressources à destination des enseignants du collège
<https://tropicsu.org/un-resources/>

SIMULATIONS

En-ROADS – Simulation visant à comprendre comment atteindre nos objectifs en matière de climat (collège).
<https://www.climateinteractive.org/tools/en-roads/>

University of Colorado – Simulation de l'effet de serre (collège)
<https://phet.colorado.edu/en/simulation/greenhouse>

University of Manchester – Créez votre planète Terre (collège)
<http://www.buildyourownearth.com>

GLOSSAIRE

ABSORPTION 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).

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 : CO₂ + H₂O ↔ H₂CO₃

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 : H₂CO₃ ↔ CO₃²⁻ + 2H⁺. 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 réduire les dommages aux individus ou aux infrastructures, ou à exploiter les opportunités éventuelles induites par le changement climatique (par exemple, la fonte du pergélisol, c'est-à-dire du sol gelé en permanence, en Arctique augmente la surface de sols disponible).

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. A 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. Pour cela, 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.

BOUCLE DE RÉTROACTION

Une boucle de rétroaction peut être assimilée à un cercle vicieux ou vertueux dans lequel certains éléments exacerbent (rétroaction positive) ou atténuent (rétroaction négative) une ou plusieurs causes du réchauffement climatique.

CALOTTE GLACIAIRE

Couche de glace pérenne très étendue et épaisse reposant sur un continent. Il en existe deux aujourd'hui : la calotte groenlandaise et la calotte antarctique.

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 globaux. Citons par exemple la modification des températures ou des précipitations, les phénomènes météorologiques extrêmes, la hausse du niveau marin et l'acidification de l'océan. 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 de 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 l'océan. 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 dans l'eau : glaciers, calottes

glaciaires, banques, 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 (liquide, gaz ou solide) résultant de la hausse de sa température. Par exemple, 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, conduisant à la hausse du 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 ou de matière organique telle que le bois. 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 en partie vers la surface de la Terre, qui se réchauffe encore plus. 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 des températures constatée depuis un siècle et demi.

ÉGALITÉ DES CHANCES

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

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.

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-CO₂). On peut calculer l'empreinte carbone d'un individu, d'un événement particulier ou d'une organisation.

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.

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 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, etc. à l'exception de la banquise, du pergélisol et de la neige. Ces glaces se forment par l'accumulation et le tassemement de la neige à long terme.

GLACIER

Grande masse de glace terrestre 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 socio-politique des défis que pose le changement climatique, au lieu de se contenter de les aborder d'un point de vue environnemental. Il tient compte du décalage entre les responsables du changement climatique et les populations les plus vulnérables, 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.).

PERGÉLISOL (PERMAFROST EN ANGLAIS)

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

PHÉNOMÈNES MÉTÉOROLOGIQUES EXTRÊMES

Evénements météorologiques rares ou de très forte amplitude affectant généralement la société humaine et les écosystèmes, par exemple les tornades, les tempêtes, les glissements de terrain, les grands incendies ou les épisodes de sécheresse et de canicules.

PRODUCTION PRIMAIRE

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, du CO₂, des minéraux et de l'énergie lumineuse pour se développer.

PUITS DE CHALEUR

Dans un contexte de changement climatique, un puits de chaleur est un élément qui吸absorbe la chaleur d'un élément plus chaud, tel que l'atmosphère. Par ce mécanisme, l'élément plus chaud échange de l'énergie thermique et se refroidit, pour atteindre une température d'équilibre. L'océan représente 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 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 et des émissions de GES.

SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

L'ensemble des avantages, matériels et immatériels, qu'un milieu de vie 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), rôle dans la régulation du climat, la protection des littoraux (réefs coralliens et mangroves) et les loisirs (tourisme), ou encore les dimensions culturelles et religieuses liées à la nature.

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'influencant mutuellement : atmosphère, océan, continents et biosphère.

VARIABILITÉ NATURELLE

Variations du système climatique qui ne sont pas liées à l'activité humaine. Par exemple le phénomène « El Niño » se produit à une échelle de temps de quelques années. À l'échelle de quelques milliers d'années, on peut citer 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.

REMERCIEMENTS

Ce projet pédagogique est le fruit d'une vaste collaboration entre l'équipe de l'*Office for Climate Education* et de nombreux partenaires scientifiques et pédagogiques.

Les auteurs tiennent à remercier chaleureusement :

Les experts qui soutiennent l'OCE, qui ont participé à l'écriture des éclairages scientifiques et pédagogiques ou qui, par leur relecture critique et leurs propositions, ont contribué à la conception des activités pédagogiques. Par ordre alphabétique : **Juan Carlos Andrade, Laurent Bopp, Badin Borde, Caroline Coté, Sanny Djohan, Randy Fananta, Serge Janicot, Jean Jouzel, Pierre Léna, Maria Martin, Claudia Martinez, Valérie Masson-Delmotte, Cliona Murphy, Anwar Rumjaun, Jean-Baptiste Sallée, Pramod Kumar Sharma, Aline Tribollet, Martin Vancoppenolle et Gabrielle Zimmermann.**

Les enseignants qui ont testé les activités dans leurs classes. Par ordre alphabétique : **Christine Barbier, Catherine Broch, Elisabeth Cochet, Sylvie Decitre, Véronique Delachienne, Sébastien Garreau, Mathis Hoppe, Kévin Faix, Catherine Legrand Marcq, Sébastien Lhomme, Marie-Laure Miguél-Braban, Anne-Hélène Monfort, Katell Senabre, Sinead Lally, Yvonne Naughton.**

Les organismes suivants, qui ont autorisé la réutilisation de certains contenus issus de leurs propres publications. Par ordre alphabétique : **Fondation La main à la pâte (*Le climat, ma planète et moi!*, *Ma maison, ma planète et moi!*, *Je suis écomobile* et *L'océan, ma planète et moi!*), Plateforme Océan et climat (fiches scientifiques), Science Museum UK (*Exploring climate science – Atmosphere*), Trócaire and the Centre for Human Rights and Citizenship Education, DCU Institute of Education (*Creating Futures*), UNESCO (projet Sandwatch).**

Les experts qui ont participé à l'élaboration des animations interactives et des capsules vidéo accompagnant ce guide pédagogique. Par ordre alphabétique : **Etienne Berthier, Sébastien Carassou, Fabrice Chauvin, François Fromard, Raphaël Gerson, Eric Guilyardi, Mathieu Hirtzig, Catherine Jeandel, Aude Lemonsu, Angélique Melet, Emma Michaud, Jean-Baptiste Sallée et Martin Vancoppenolle.**

Les graphistes et réalisatrices qui ont contribué à l'ergonomie et l'attractivité de ces ressources : **Dorothée Adam, Romain Garouste, Claire Mazard, Mareva Sacoun et Gaël Coadic.**

Enfin, l'OCE remercie les organismes suivants, dont le soutien scientifique, opérationnel et financier a été essentiel à la production de ces outils pédagogiques. Par ordre alphabétique :

l'ADEME, la CASDEN, l'équipe de support technique du groupe 1 du GIEC, l'Institut Pierre Simon Laplace (IPSL Climate Graduate School), l'Institut de Recherche pour le Développement, les Investissements d'avenir, la Fondation La main à la pâte, la Fondation Luciole, Météo France, l'association Météo et Climat, la Fondation Prince Albert II de Monaco, la Fondation Siemens et Sorbonne-Université, l'UNESCO, la Fondation des Treilles.

CRÉDITS

Page 8	Sean Dedic' on Unsplash	Page 99	OCE
Page 14	Visa Vietnam on Pixabay	Page 103	La main à la pâte
Page 21	Bering Land Bridge National Preserve on Wikicommons	Page 107	Sylvie Décitre
Page 31	OCE	Page 114	OCE
Page 33	Stekirr on Wikicommons	Page 118	OCE
Page 36	OCE	Page 119	Association for Polar Early Career Scientists
P. 41, 43, 44	Lydie Lescarmontier David Wilgenbus Jon Sullivan on Wikicommons Starus on Wikicommons Gunawan Kartapranata on Wikicommons Chensiyuan on Wikicommons Bjørn Christian Tørrissen on Wikicommons David Sedlmayer on Wikicommons Octav Cado on Unsplash Tavyland on Wikicommons Corey Leopold on Wikicommons	Page 137	Maersk Line on Wikicommons
Page 47	OCE	Page 148	La main à la pâte Véronique Delachienne
Page 59	OCE Sylvie Décitre	Page 149	Christine Barbier
Page 65	Catherine Broch	Page 152	Hitesh Choudhary on Pexels Trócaire
Page 67	Antonia Reeve on Wikicommons Wellcome collection on Wikicommons Zawar Hussain on Trócaire Deepay on Wikicommons	Page 153	Peter O'Doherty on Trócaire Rosie Murray on Trócaire Ibar Sikva on Flickr Unknown on Peakpx
Page 70	Wknight94 on Wikicommons Skeeze on Wikicommons Pi77 on Wikicommons	Page 157	Mark Harpur on Unsplash Alfredo Borba on Wikicommons Mosa Moseneka on Unsplash
Page 76	La main à la pâte	Page 158	Les Petits Débrouillards GandolT on Wikicommons NASA
Page 78	Sébastien Blein	Page 159	Yaelstav on Wikicommons Profmauri on Wikicommons Victoria Kolbert on Wikicommons
Page 80	Lydie Lescarmontier	Page 160	Melissa.s on Wikicommons Silvio Marchini on fundacaocristalino EE Eco-schools LCC GO Green Eco Club Loreto College Curepipe, Mauritius
Page 81	Lydie Lescarmontier João Rocha	Page 168	Mathilde Valdenaire
Page 82	Sébastien Blein	Page 170	Sandwatch Sébastien Blein
Page 84	KARI/ESA	Page 171	Samuel Chow on Wikicommons
Page 87	La main à la pâte	Page 172	Profmauri on Wikicommons
	Ron on Wikicommons	Page 175	Stekirr on Wikicommons
	Dincher on Wikicommons	Page 177	La main à la pâte
	James St. John on Flickr	Page 178	La main à la pâte
Page 90	La main à la pâte	Page 180	La main à la pâte
	OCE	Page 181	La main à la pâte
Page 91	Véronique Delachienne	Page 182	Luigi Chiesa on Wikicommons
Page 94	OCE	Page 184	Renardo la vulpo on Wikicommons
Page 95	OCE	Page 187	MassDOT OCE OCE

Publié par l'Office for Climate Education, www.oce.global/fr
Imprimé en France
Dépôt légal : Bibliothèque Nationale de France, 2^e trimestre 2020
ISBN 978-2-491585-03-7

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 de l'océan et de la cryosphère d'un point de vue scientifique et social, aux échelles locale et globale. Le développement de la capacité de raisonnement des élèves peut les conduire à agir dans leurs écoles ou leurs communautés, à travers la mise en œuvre de projets d'atténuation ou d'adaptation face au changement climatique.

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.



SOUS L'ÉGIDE DE



Under the auspices of
UNESCO



MEMBRES FONDATEURS



AVEC LE SOUTIEN DE



SIEMENS | Stiftung



ISBN 978-2-491585-03-7

