



2

---

## **Les effets du changement climatique sur le milieu naturel et les êtres humains**

Pouvons-nous nous adapter aux  
conséquences inévitables du  
changement climatique ?



## 2 | Les effets du changement climatique sur le milieu naturel et les êtres humains

Pouvons-nous nous adapter aux conséquences inévitables du changement climatique ?

Tout dans la nature est relié. Un changement ne serait-ce qu'infime dans l'une des composantes du milieu naturel entraîne la modification de nombreuses autres composantes. Par conséquent, à mesure que la température sur la planète augmente, nous observons un grand nombre d'autres changements connexes. Le niveau des océans du monde augmente, les glaciers et le pergélisol fondent, la fréquence et la puissance des phénomènes météorologiques extrêmes (vagues de chaleur, ouragans, tempêtes, inondations et sécheresses) augmentent d'année en année. De nouvelles maladies infectieuses et dangereuses et divers parasites font leur apparition dans des endroits où ils étaient jusqu'à présent inconnus. Ces effets du changement climatique, entre autres, sont dangereux pour les plantes et les animaux, qui ne peuvent s'adapter rapidement à des changements aussi radicaux. Ils entraînent également des conséquences économiques dommageables, et représentent une menace pour la santé et même la vie humaine.



Les conclusions récemment publiées par l'ARC du GIEC indiquent que le changement climatique en cours pourrait avoir de dangereuses conséquences pour l'homme et pour le milieu naturel dans le futur. Les scientifiques ont conclu que pour chaque 0,1 °C de réchauffement de la planète, les impacts s'aggravent et les risques augmentent (Fig. 2.1). C'est pourquoi le secrétaire général des Nations Unies, António Guterres, a qualifié ce rapport de « code rouge pour l'humanité ». Mais d'autre part, chaque 0,1 °C évité peut être crucial pour limiter l'ampleur des dommages futurs.

Les risques accrus liés à la hausse des températures évalués par le GIEC (Fig. 2.2) montrent que même limiter la hausse de la température mondiale à 1,5 °C n'est pas sûr pour tous. À ce niveau de réchauffement, par exemple, 950 millions de personnes dans les zones arides du monde seront confrontées au stress hydrique, au stress thermique et à la désertification, tandis que la part de la population mondiale exposée aux inondations augmentera de 24 %.

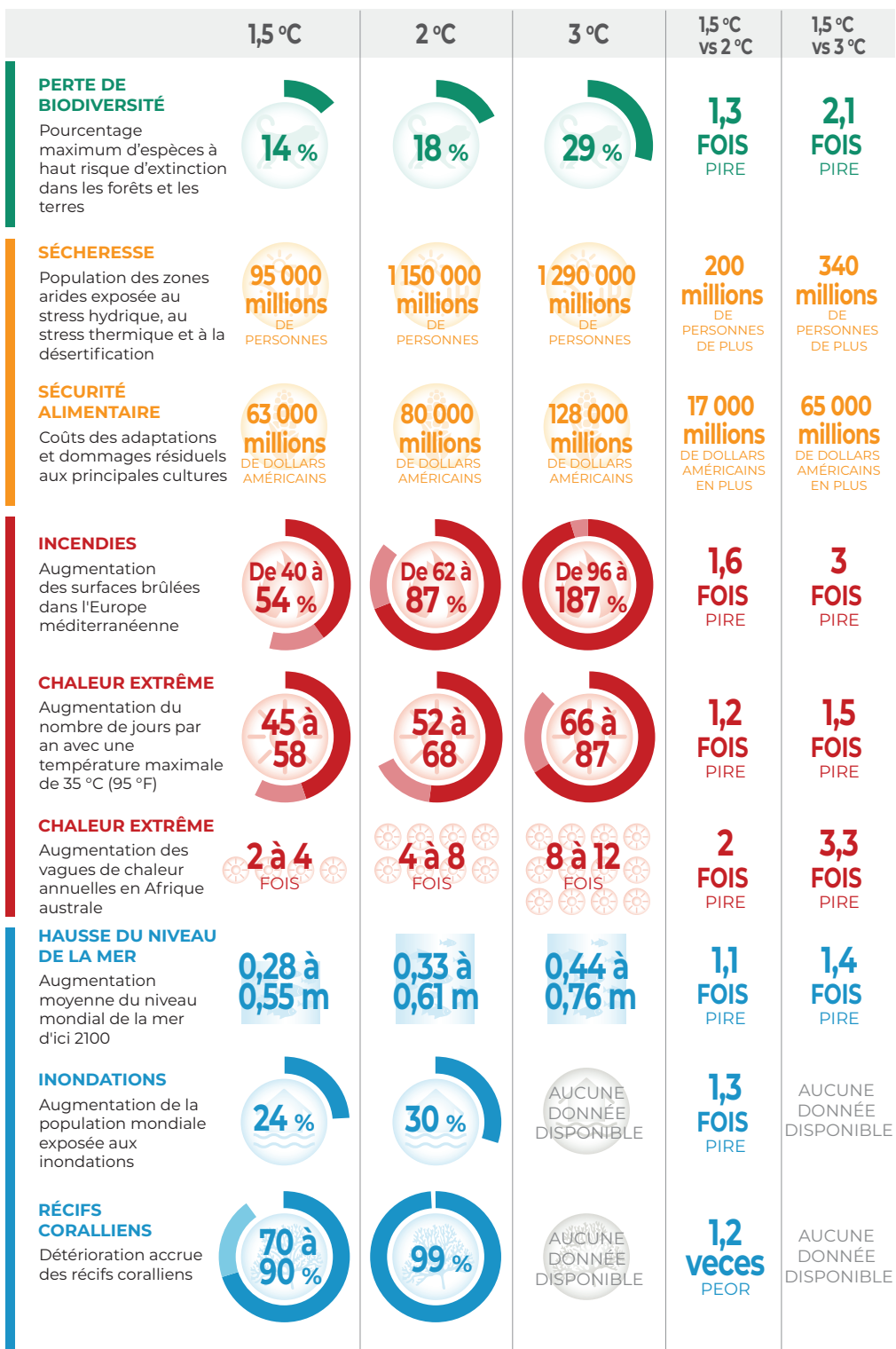






Figure 2.2

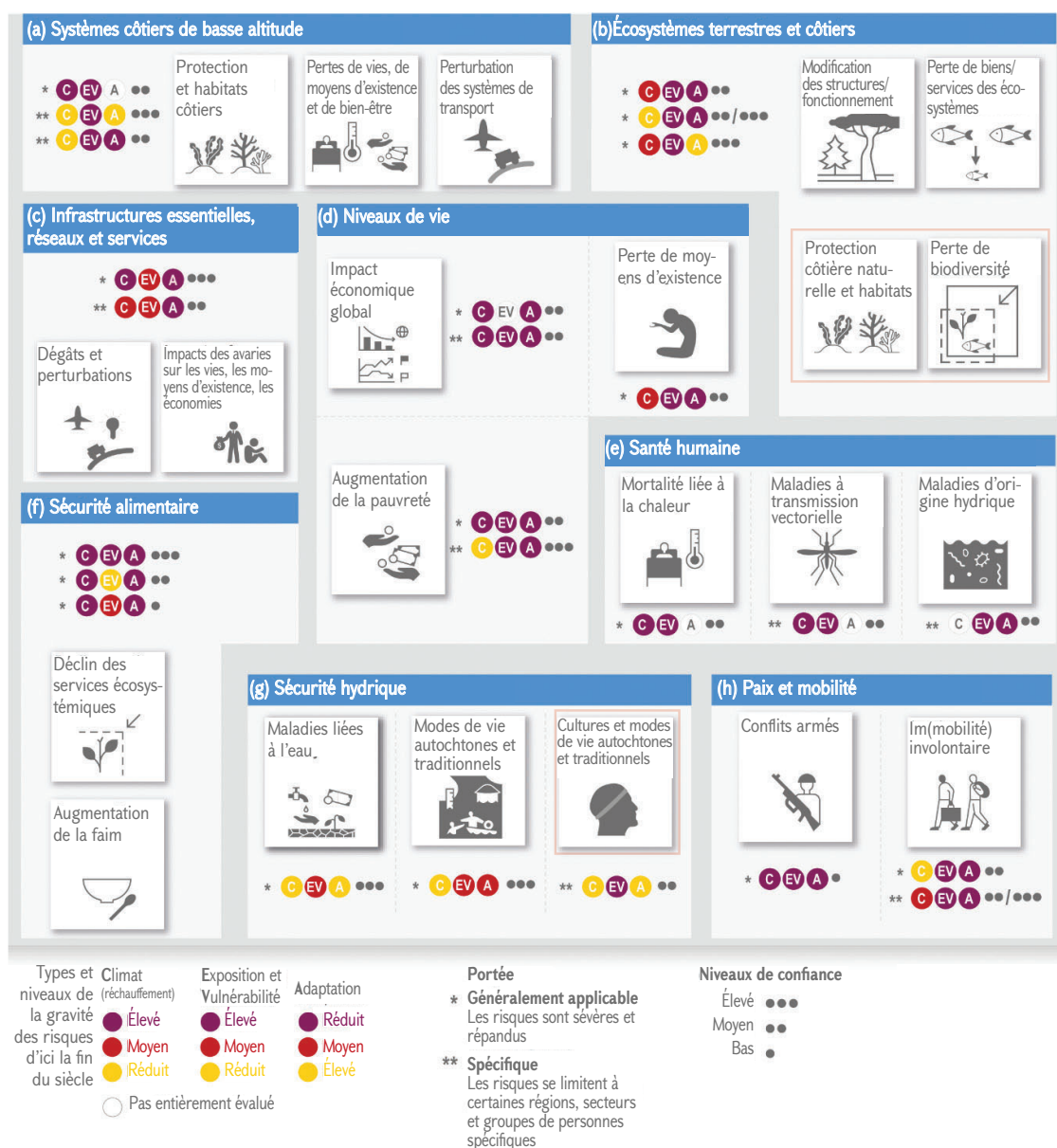
# Comparaison des risques pour les êtres humains et les systèmes naturels à différents niveaux de température



Le changement climatique actuel réduira réellement la productivité agricole, limitera la disponibilité de l'eau douce, augmentera la gravité des sécheresses, des vagues de chaleur et des cyclones tropicaux, et remodelera les environnements côtiers à une vitesse et à une échelle qui pourraient provoquer des réponses sociétales déstabilisatrices. L'OMM a établi que quatre indicateurs clés du changement climatique – les concentrations de gaz à effet de serre, l'élévation du niveau de la mer, la chaleur des océans et leur acidification – ont établi de nouveaux records en 2022. C'est un autre signe clair que les activités humaines provoquent des changements à l'échelle planétaire sur terre, dans les océans et dans l'atmosphère, avec des ramifications dramatiques et durables. Si nous ne faisons pas tout notre possible pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, les impacts négatifs du changement climatique sur l'environnement et les êtres humains pourraient bien être irréversibles d'ici la fin du XXI<sup>e</sup> siècle (Fig. 2.3).

Figure 2.3

### Principaux risques pour les systèmes naturels et humains découlant du changement climatique d'ici la fin du siècle







Les expériences suggèrent que l'étude de la résistance des populations passées aux changements et anomalies climatiques pourrait fournir des informations clés sur des solutions précieuses sur la manière de faire face au changement climatique aujourd'hui et à l'avenir. Pour réduire les dommages causés par le changement climatique, l'humanité doit prendre des mesures appropriées, notamment en renforçant sa résistance face au réchauffement d'origine humaine, déjà ancré dans la crise climatique actuelle. Les preuves des impacts jusqu'à présent et des risques projetés montrent qu'une action mondiale en faveur d'un développement résilient au changement climatique est plus urgente que jamais.

Des mesures d'adaptation réalisables et efficaces sont présentées pour chacun des thèmes abordés dans ce chapitre. Elles comprennent des mesures susceptibles de réduire les risques, telles que la prise en compte des impacts et des risques du changement climatique dans la conception et la planification des établissements et des infrastructures urbains et ruraux. Elles incluent également des mesures qui peuvent contribuer à sauvegarder la biodiversité et les écosystèmes qui sont essentiels à un développement résilient au changement climatique, compte tenu des menaces que le changement climatique fait peser sur eux et de leur rôle dans l'adaptation et l'atténuation (Fig. 2.4).

Même si nous ressentons tous déjà les impacts du changement climatique, ceux-ci touchent davantage les communautés les plus pauvres et historiquement marginalisées. Les scientifiques ont noté dans le rapport AR6 du GIEC qu'aujourd'hui, entre 3,3 et 3,6 milliards de personnes vivent dans des pays très vulnérables aux impacts climatiques, principalement dans l'Arctique, en Amérique centrale et du Sud, dans les petits États insulaires en développement, en Asie du Sud et dans une grande partie de l'Afrique subsaharienne. Les impacts du changement climatique exacerbent les inégalités, les conflits et les problèmes de développement existants (par exemple, la pauvreté et l'accès limité aux services de base comme l'eau potable) dans de nombreux pays de ces régions, et limitent la capacité d'adaptation des communautés. Par exemple, de 2010 à 2020, la mortalité due aux tempêtes, aux inondations et aux sécheresses était 15 fois plus élevée dans les pays très vulnérables au changement climatique que dans ceux où cette vulnérabilité était très faible.

Cette section étudie les impacts du changement climatique sur diverses régions, sociétés et activités économiques, et présente des exemples de mesures d'adaptation climatique qui aident à atténuer et à se préparer à certains impacts climatiques négatifs inévitables.

### Dangers, risques, impacts, résistance et adaptation liés au changement climatique

Actuellement, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) utilise le terme **résilience** désigner la capacité des systèmes humains et naturels couplés « à faire face à un événement dangereux, à une tendance ou à une perturbation, en répondant ou en se réorganisant de manière à maintenir leur fonction, leur identité et leur nature essentielles ».

Elle englobe donc **l'adaptation**, que le GIEC définit comme le processus d'ajustement au climat réel ou attendu et à ses effets, pour modérer les dommages ou exploiter les opportunités bénéfiques. Par exemple, les mesures d'adaptation pourraient inclure la construction de bâtiments plus résistants aux événements météorologiques extrêmes, la construction de barrages pour lutter contre les inondations, le développement de nouvelles variétés de cultures résistantes à la sécheresse, etc.

Le GIEC utilise également largement le concept de **risque** en relation avec les conséquences néfastes potentielles du changement climatique sur les systèmes humains ou écologiques, reconnaissant la diversité des valeurs et des objectifs associés à ces systèmes. Dans le contexte du changement climatique, les risques peuvent découler des impacts potentiels du changement climatique ainsi que des réponses humaines au changement climatique.

Les conséquences des risques réalisés liés au changement climatique sur les systèmes naturels et humains définissent les **impacts**. Les **impacts** font généralement référence aux effets sur la vie, les moyens de subsistance, la santé et le bien-être, les écosystèmes et les espèces, les biens économiques, sociaux et culturels, les services (y compris les services écosystémiques) et les infrastructures.

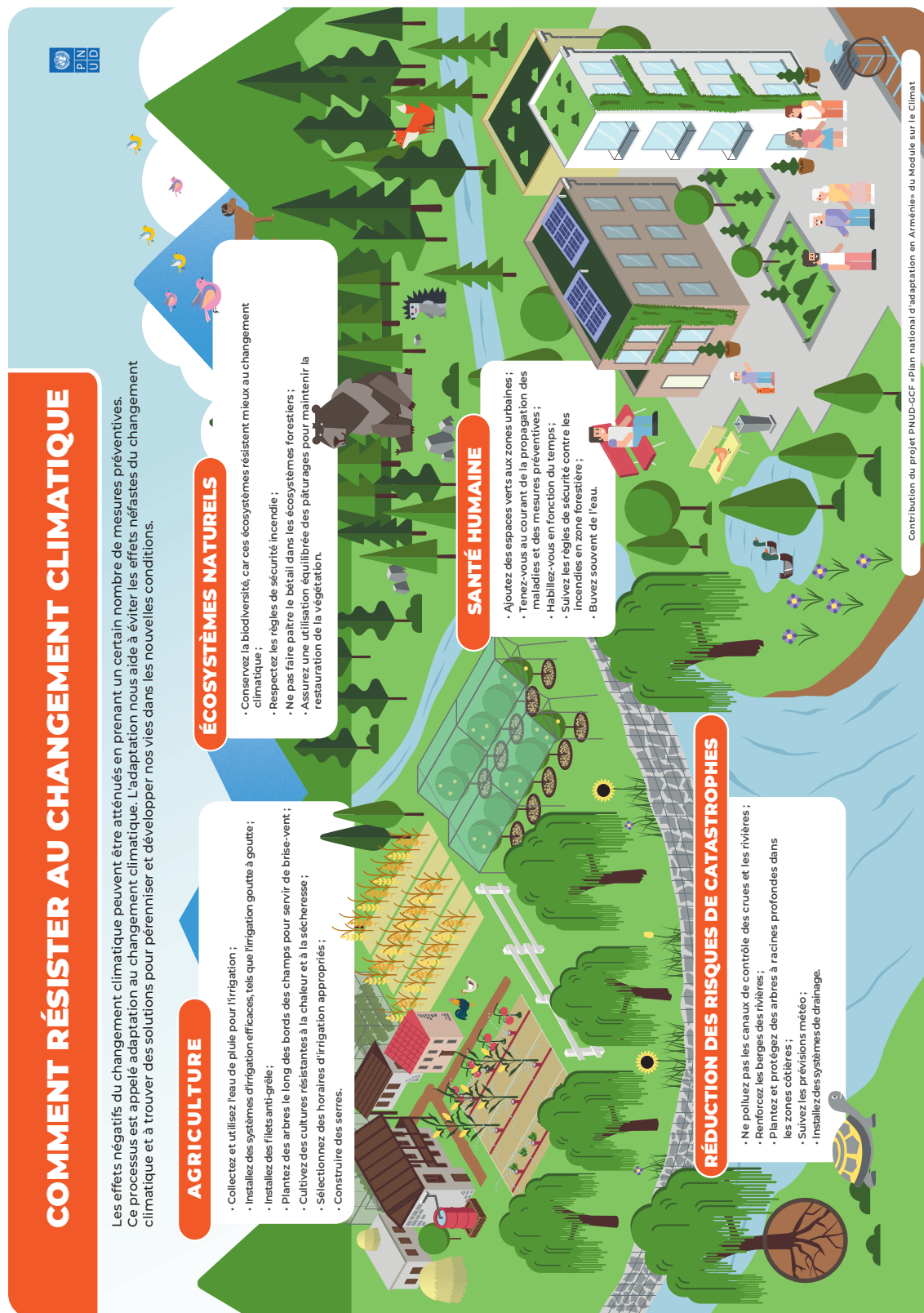
Les **dangers** sont définis comme les impacts négatifs d'événements ou de tendances physiques naturels ou d'origine humaine qui peuvent entraîner des pertes de vies humaines, des blessures ou d'autres impacts sur la santé, ainsi que des dommages et des pertes de biens, d'infrastructures, de moyens de subsistance, de fourniture de services, d'écosystèmes et de ressources environnementales.





Figure 2.4

## Comment s'adapter au changement climatique et renforcer la résistance



## 2.1 | Quelle est l'incidence du climat sur le temps

Les scientifiques ont constaté qu'au cours des 50 dernières années, les phénomènes météorologiques sont devenus beaucoup plus extrêmes de par le monde. Nous entendons régulièrement parler aux informations d'une nouvelle catastrophe naturelle : un ouragan dévastateur aux Philippines, une sécheresse sans précédent en Australie, de graves inondations en Europe, des incendies de forêt excessifs dus à des vagues de chaleur et des sécheresses prolongées au Canada, en Grèce et à Hawaï, et des chutes de neige au Caire et à Alexandrie pour la première fois en un siècle. Chaque jour, les températures battent de nouveaux records : en Europe, nous sommes confrontés à des étés exceptionnellement chauds, alors qu'en hiver les températures peuvent subitement passer de zéro à moins vingt.

Ces perturbations météorologiques anormales sont qualifiées par les scientifiques d'anomalies météorologiques. Par exemple, des périodes anormalement froides en été ou un redoux persistant en hiver sont les anomalies météorologiques les plus courantes dans les régions tempérées de l'hémisphère Nord. Lorsque les anomalies météorologiques représentent une menace pour la santé, la vie et l'activité économique des populations, on parle de **phénomènes météorologiques extrêmes**.

Les anomalies météorologiques désignent toute perturbation météorologique différente des conditions météorologiques « habituelles » au cours d'une saison, d'un mois ou d'un jour donné(e), le terme « habituelles » correspondant aux conditions météorologiques moyennes relevées dans cette région durant une période passée déterminée, généralement entre 1961 et 1990.

Les phénomènes météorologiques extrêmes sont des processus et événements associés aux conditions météorologiques survenant au niveau de l'atmosphère, à l'intérieur des terres ou en mer, et dont les effets peuvent entraîner la destruction de peuples, d'animaux et de plantes, et causer un grave préjudice à l'économie.

Les phénomènes météorologiques extrêmes peuvent être les suivants : période prolongée de chaleur ou période de froid extrême, vents particulièrement violents, ouragans, tempêtes tropicales (typhons), tempêtes de poussière, fortes précipitations, fortes chutes de neige, tornades, inondations, sécheresses, avalanches, glissements de terrain et bien d'autres.

**Remarque : les tremblements de terre, les éruptions volcaniques et les tsunamis ne sont pas climato-dépendants et ne sont donc pas des phénomènes MÉTÉOROLOGIQUES !**

**Figure 2.1.1**

La pluie en décembre, plutôt que la neige, n'est plus un phénomène rare à Moscou.



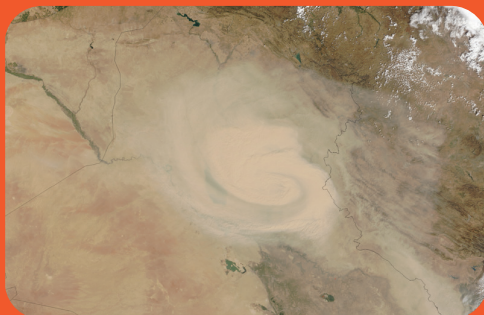
### Graves tempêtes de sable et de poussière au Moyen-Orient en 2022

Les graves tempêtes de sable et de poussière sont définies comme des tempêtes provoquées par des vents intenses sur des zones de sol aride qui ramassent de grandes quantités de matières broyées dans l'atmosphère. Environ deux tonnes de sable et de poussière sont rejetées dans l'atmosphère chaque année, selon la Coalition des Nations Unies pour lutter contre la désertification. Les tempêtes de poussière ou de sable se produisent plus fréquemment dans les déserts et les régions où le sol est sec. Au Moyen-Orient et dans les autres régions arides, elles peuvent se présenter sous deux formes. Les « haboobs » (mot arabe signifiant « vent violent ») proviennent des fronts de tempêtes et apparaissent souvent sous la forme de murs de sable et de poussière fonçant droit devant. Mais tous comme les orages, les haboobs ne durent pas longtemps. Il y a ensuite les longues tempêtes de poussières, de grande envergure, qui peuvent durer des jours. En Irak, ces tempêtes sont souvent associées à des vents persistants de nord-ouest, appelés « shamal » (mot arabe signifiant « Nord »). La construction de nouveaux barrages, la mauvaise gestion de l'eau, la sécheresse extrême, la désertification et d'autres facteurs contribuent tous à ce phénomène cauchemardesque.

En avril et juin 2022, l'Irak et d'autres pays du golfe Persique contemplaient un ciel orange apocalyptique avec d'intenses tempêtes de sable et de poussière. Des fermetures de ports, d'aéroports, de routes et d'écoles ainsi que des annulations de vols ont été signalées. La tempête a entraîné l'hospitalisation de milliers de personnes pour cause de problèmes respiratoires. Les tempêtes de poussière peuvent être particulièrement dangereuses pour les personnes asthmatiques ; en outre, elles peuvent transporter des microbes pathogènes. Les tempêtes de poussière entraînent également une destruction des sols et notamment de ses particules à haute teneur en nutriments les plus légères, réduisant du même coup sa productivité.

Ces dernières années, les tempêtes de poussière sont devenues de plus en plus courantes au Moyen-Orient et dans d'autres parties arides du monde, comme l'Afrique du Nord, le nord de la Chine, la Mongolie et le Kazakhstan, l'Australie, ainsi que le centre des États-Unis. En Mauritanie, où le désert du Sahara couvre 90 % du territoire, il n'y avait que deux tempêtes de poussière par an au début des années 1960, mais il y en a près de 80 par an à l'heure actuelle, selon les experts de l'Université d'Oxford.

Selon les scientifiques, les tempêtes de poussière plus fréquentes sont le fruit de mauvaises pratiques agricoles, notamment d'un surpatûrage et d'une destruction de la croûte biologique, ainsi que de la hausse des températures locales et mondiales et des sécheresses. Il est désormais établi que les tempêtes de sable et de poussière sont un phénomène mondial qui affecte nos économies, notre santé et notre environnement, et pas seulement dans les zones arides. Ce phénomène touche tout le monde – hommes, femmes, garçons et filles – mais pas tous de la même manière. Les différences proviennent des rôles sexospécifiques dans les sphères productive, économique, familiale et sociale. De plus, les tempêtes de sable et de poussière peuvent s'avérer mortelles pour les personnes souffrant de problèmes de santé. Elles sont directement liées à la dégradation des terres et peuvent être résolues grâce à une gestion durable des terres et en neutralisant la dégradation des terres.



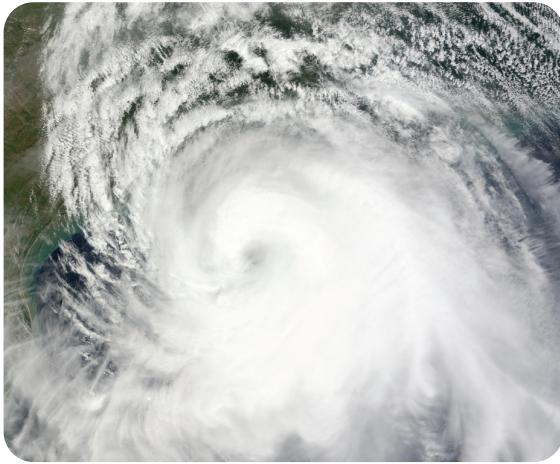
**Figure 2.1.2**

**Image satellite d'une tempête de poussière sur l'Irak, le 7 et le 9 avril 2022**



Qu'est-ce qui bouleverse les conditions météorologiques et en quoi le changement climatique a-t-il à voir avec cela ?

Certaines observations suggèrent que le nombre de situations météorologiques étranges et de phénomènes météorologiques extrêmes ne cesse d'augmenter aux quatre coins du monde. Les scientifiques pensent que cela peut être lié au changement climatique mondial. À mesure que la température moyenne sur la planète augmente, l'évaporation de l'eau des océans, des lacs et des rivières fait de même. En conséquence, le taux d'humidité dans l'atmosphère augmente, entraînant de fortes précipitations dans certaines régions. De même, la hausse des températures des eaux à la surface des océans entraîne une augmentation du nombre de tempêtes tropicales particulièrement dangereuses (typhons), qui sont bien plus nombreuses qu'au milieu du siècle dernier.



Comme prévisible, le réchauffement climatique entraîne également des vagues de chaleur de plus en plus fréquentes.

### UNE VAGUE DE CHALEUR

est une période d'au moins cinq jours, durant laquelle la température quotidienne moyenne est au moins 5 °C supérieure aux normales saisonnières.

CHALEUR EXTRÊME  
ÉCONOMISEZ DE L'ÉNERGIE DE 16H À 21H  
RESTEZ AU FRAIS



Une récente étude publiée dans le magazine Nature indique que les chaleurs extrêmes qui ne se produisaient auparavant qu'une fois tous les 1 000 jours, surviennent désormais tous les 200 ou 250 jours. Cependant, les effets du réchauffement varieront d'une région du monde à l'autre. Selon cette étude, les phénomènes météorologiques au niveau de l'équateur deviendront plus extrêmes, ce qui signifie que les pays tropicaux déjà aux prises avec une infrastructure fragile et avec la pauvreté, connaîtront 50 fois plus de jours de chaleur extrême et 2,5 fois plus de jours de précipitations. Toutefois, certaines régions sèches, notamment certaines parties de la Méditerranée, l'Afrique du Nord, le Chili, le Moyen-Orient et l'Australie, seront exposées à des risques plus élevés de sécheresse et de pénurie d'eau douce.

Une autre étude parue dans le même numéro du magazine conclut que nous entrons désormais dans une ère de chaleur extrême qui ne se serait tout simplement pas produite sans le changement climatique. À l'aide d'une analyse d'attribution d'événements qui relie les événements réels au changement climatique, elle montre que les conditions de vagues de chaleur prolongées en Sibérie et en Australie en 2020 auraient été pratiquement impossibles sans le changement climatique. La canicule sibérienne a provoqué des incendies de forêt massifs (libérant environ 56 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère) et un effondrement des infrastructures dû à la fonte du permafrost, conduisant à la déclaration de l'état d'urgence. L'état d'urgence a également été déclaré pour les feux de brousse australiens, associés à la chaleur estivale exceptionnelle de fin 2019 à février 2020, également connue sous le nom d'été noir.

Les scientifiques qui ont analysé les records observés au cours de l'hiver et du printemps 2023 dans l'hémisphère sud ont conclu que le changement climatique a rendu ces températures cent fois plus probables.

Mais il est important de garder à l'esprit que des conditions météorologiques inhabituelles ne sont pas synonymes de changement climatique. Par exemple, un hiver très froid ne signifie pas nécessairement que le climat est devenu plus frais. Les données doivent être collectées sur une longue période (environ dix ans ou plus) avant de pouvoir attribuer les changements au changement climatique.

Les anomalies météorologiques peuvent infliger d'importants dommages à l'économie mondiale et entraîner la perte de vies humaines.



## Exemples de phénomènes météorologiques extrêmes au cours de ces dernières années

Le 13 septembre 2023, des pluies torrentielles provoquées par la tempête Daniel ont balayé plusieurs régions de l'est de la Libye. La ville portuaire de Derna a été la plus durement touchée, avec des quartiers entiers emportés par l'effondrement de deux structures vieillissantes, créant une situation catastrophique. Le bureau de l'Organisation internationale pour les migrations en Libye a déclaré qu'au moins 30 000 personnes avaient été déplacées et que le nombre de morts s'est rapidement élevé à au moins 11 300.

L'une des principales raisons du nombre élevé de pertes en vies humaines était le manque de surveillance du barrage ou d'ordres d'évacuation malgré la trajectoire connue de la tempête Daniel. Le manque de capacité de l'État à coordonner les efforts de secours en cas de catastrophe a aggravé l'impact humain.

La catastrophe en Libye fait suite à une série d'inondations meurtrières dans le monde en septembre 2023, de la Chine au Brésil en passant par la Grèce.

Les cyclones tropicaux qui frappent des pays sous-développés et mal préparés comme le Myanmar, le Bangladesh, l'Inde, les Philippines et le Honduras ont également fait de très nombreux morts dans le passé. Les nations qui ne disposent pas des ressources et de la stabilité politique nécessaires pour se préparer adéquatement aux catastrophes naturelles subissent des dommages aux conséquences énormes sur les populations et l'économie.

Figure 2.1.3

**La ville de Derna, Libye, le mercredi 13 septembre 2023. Les inondations provoquées par des pluies torrentielles ont tué des milliers de personnes et emporté des quartiers entiers dans la mer**





### Événements météorologiques extrêmes en Afrique en 2023

Alors que les inondations en Libye en 2023 ont fait la une des journaux mondiaux en raison de l'ampleur du nombre de morts, de nombreux autres événements extrêmes meurtriers en Afrique n'ont pas fait la une de l'actualité internationale. Une analyse de toutes les données sur les catastrophes, des rapports humanitaires et des actualités locales par le groupe de réflexion Carbon Brief a contribué à créer une image plus complète de l'ampleur des impacts météorologiques extrêmes en Afrique en 2023 à ce jour.

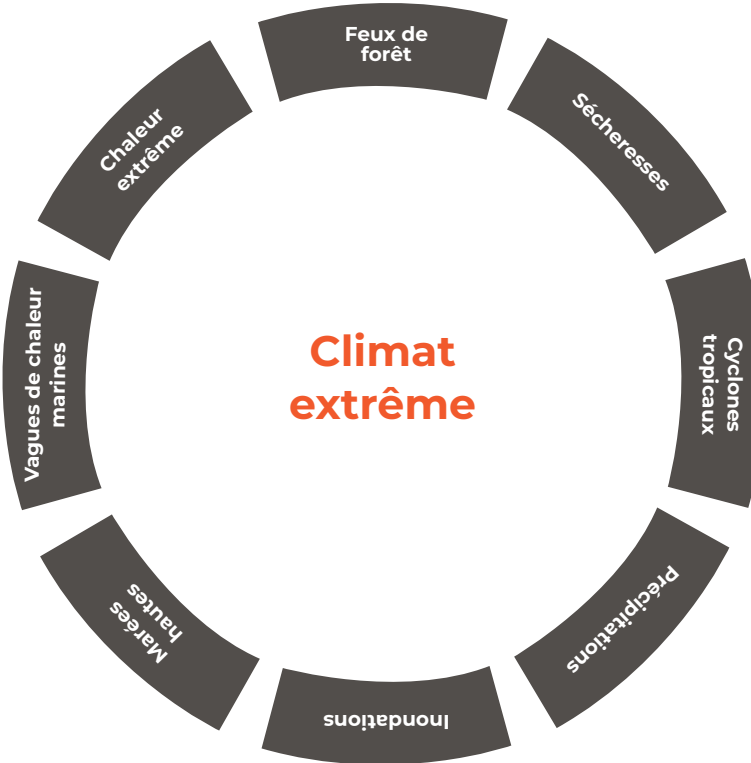
Elle montre qu'au moins 15 700 personnes ont été tuées dans des catastrophes météorologiques extrêmes en Afrique en 2023 et que 34 millions ont été touchées par des phénomènes extrêmes :

- Plus de 3 000 personnes ont été tuées dans des crues soudaines en République démocratique du Congo et au Rwanda en mai. Les scientifiques n'ont pas été en mesure d'évaluer le rôle du changement climatique dans la catastrophe en raison du manque de stations météorologiques opérationnelles enregistrant des données dans la région.
- Au moins 860 personnes ont été tuées dans des inondations et des coulées de boue en février lors du cyclone tropical Freddy, le cyclone le plus long jamais enregistré affectant Madagascar, le Mozambique, Maurice, le Malawi, la Réunion et le Zimbabwe.
- Plus de 29 millions de personnes continuent de faire face à des conditions de sécheresse persistantes en Éthiopie, en Somalie, au Kenya, à Djibouti, en Mauritanie et au Niger.
- Les pays d'Afrique australe ont été étouffés par une vague de chaleur hivernale qui a duré plusieurs mois, laissant beaucoup d'entre eux confrontés à des conditions semblables à celles de l'été pendant une année continue.

En examinant tous les événements extrêmes récents et en se basant sur des données récentes, l'Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace des États-Unis (NASA) a confirmé qu'à mesure que le climat de la Terre change, il entraîne des conditions météorologiques extrêmes sur toute la planète. Les vagues de chaleur record sur terre et dans l'océan, les pluies torrentielles, les inondations graves, les sécheresses qui durent des années, les incendies de forêt extrêmes et les inondations généralisées provoquées par les ouragans deviennent tous plus fréquents et plus intenses. Les missions satellitaires de la NASA, notamment l'Observatoire du système terrestre, fournissent des données vitales pour surveiller et réagir aux événements météorologiques extrêmes, avec des explications pour chacun d'eux (Fig. 2.1.4).

Figure 2.1.4

Le graphique rotatif résume la façon dont le changement climatique influence les conditions météorologiques extrêmes à travers la planète, entraînant des températures extrêmes, des incendies de forêt, des sécheresses, des cyclones tropicaux, de fortes précipitations, des inondations à marée haute et des vagues de chaleur marines



**Chaleurs extrêmes :** Depuis 1950, la fréquence et l'intensité des chaleurs extrêmes ont augmenté principalement en raison des émissions humaines de gaz à effet de serre. Cela inclut des températures élevées et des vagues de chaleur dangereuses. Ces événements deviendront encore plus graves et fréquents à mesure que la planète se réchauffe.

**Feux de forêt :** Les conditions chaudes et sèches augmentent le risque d'incendies de forêt. Agissant comme combustible, la végétation sèche permet aux incendies de continuer à brûler une fois allumés. Alors que les températures continuent d'augmenter à l'échelle mondiale, les incendies de forêt pourraient devenir plus fréquents et plus intenses dans certaines régions, menaçant des vies et des biens.

**Sécheresses :** à mesure que la planète se réchauffe, certaines zones sèches deviennent de plus en plus sèches. Des températures plus chaudes entraînent une plus grande évaporation de l'eau de la surface, la transformant en vapeur d'eau dans l'air. Puisque l'air plus chaud peut retenir plus de vapeur d'eau, cela crée un cycle qui conduit à un réchauffement plus important et à une évaporation encore plus importante. Avec moins d'humidité en surface, des sécheresses de plus en plus fréquentes et graves se produisent.

**Cyclones tropicaux :** Avec un océan plus chaud et plus d'humidité dans l'air, les cyclones tropicaux peuvent produire des précipitations plus intenses et plus soutenues. Les ouragans, les typhons et les cyclones tropicaux augmentent également les risques d'inondations côtières, car la montée des eaux entraîne des ondes de tempête plus importantes. De plus, les tempêtes qui se forment ont plus de chances de s'intensifier rapidement.

**Fortes précipitations :** à mesure que la température de la Terre augmente, l'atmosphère plus chaude peut retenir plus de vapeur d'eau, fournissant ainsi plus d'eau pour les pluies intenses, les chutes de neige et autres précipitations dues aux tempêtes. Les fortes précipitations se produisent déjà plus souvent et deviendront plus fréquentes et plus intenses avec l'augmentation des températures mondiales.

**Inondations :** L'augmentation de la vapeur d'eau dans l'atmosphère signifie que certaines zones humides deviendront plus humides. Les précipitations extrêmes peuvent dépasser la capacité des systèmes de drainage naturels et artificiels, entraînant des inondations dévastatrices. La montée du niveau de la mer aggravera également les inondations près des côtes.

**Inondations à marée haute :** à mesure que les températures mondiales augmentent, le réchauffement des océans et la fonte des glaces terrestres entraînent une élévation du niveau de la mer. Cela signifie que les marées hautes deviendront plus hautes, ce qui entraînera un plus grand risque d'inondation même par temps ensoleillé. Cela se produit déjà dans certaines villes côtières comme Miami et Bangkok.

**Vagues de chaleur marines :** Le réchauffement climatique peut entraîner des vagues de chaleur extrêmes au sein des océans. Les coraux et autres espèces marines ne sont pas nécessairement adaptés à ces températures plus élevées et peuvent mourir lors de vagues de chaleur de plusieurs jours. Tout comme sur terre, les vagues de chaleur marines devraient devenir plus fréquentes et plus intenses à mesure que la Terre se réchauffe.

**Impacts combinés :** bon nombre de ces événements météorologiques extrêmes se produisent en combinaison avec d'autres. Dans certaines régions, les vagues de chaleur et les sécheresses se produisent plus souvent ensemble, une tendance susceptible de se poursuivre à mesure que la planète se réchauffe. Il en va de même pour les inondations, car les fortes précipitations dues aux tempêtes et à la montée des eaux augmenteront les dommages potentiels le long des côtes.





## Pouvons-nous prédire les phénomènes météorologiques extrêmes ?

Malheureusement, dans la plupart des cas il est impossible de prédire les phénomènes météorologiques extrêmes. L'échelle des prévisions météorologiques est au maximum 14 jours, l'atmosphère changeant complètement toutes les deux semaines et les flux d'air ne pouvant être observés plus longtemps. Le mieux que l'on puisse prédire, par exemple, est que « l'hiver sera un degré plus froid que les normales de saison ».

Les prévisions à court terme sont plus précises. Les prévisions météorologiques du lendemain, fournies par les services météorologiques européens, sont fiables à 96 %, les prévisions du surlendemain le sont à 93 %, et les prévisions à trois jours le sont à 90 %. Actuellement, les alertes météorologiques à long terme ne sont possibles que de manière très générale. À titre d'exemple, on peut prédire que les températures extrêmement élevées actuellement enregistrées tous les 20 ans dans le nord de l'Eurasie, seront trois fois plus fréquentes (une fois tous les 7 ans) d'ici le milieu du XXI<sup>e</sup> siècle, et que d'ici la fin du siècle, elles pourraient se répéter tous les 3 à 5 ans, jusqu'à devenir un phénomène presque courant.

## Devons-nous croire aux dictons météorologiques ?

Les dictons météorologiques sont des expressions folkloriques portant sur les prévisions météorologiques. Malgré leur popularité, ils sont absolument inutiles en matière de prévisions météorologiques. Même à l'époque de nos grands-parents, les moyens classiques de prédiction de la météo échouaient souvent, et de nos jours les dictons météorologiques ont complètement perdu leur corrélation avec les lieux précis auxquels ils s'appliquaient. Par exemple, il existe un dicton anglais qui dit : « Ash leaf before the oak, then we will have a summer soak ; oak leaf before the ash, the summer comes without a splash » (feuille de frêne avant le chêne, l'été sera humide ; feuille de chêne avant le frêne, l'été sera sec). Cela était généralement vrai pour certaines parties de la Grande Bretagne. Mais les gens ont commencé à se déplacer dans le pays, et même à l'étranger, et ont emporté ce dicton avec eux. Il en a résulté une certaine confusion et le dicton a perdu de sa pertinence.

## Qu'allons-nous faire ? Comment pouvons-nous faire face aux phénomènes météorologiques extrêmes ? Pouvons-nous nous y adapter ?

Les Nations Unies ont recommandé les systèmes d'alerte précoce comme éléments clés de l'adaptation au changement climatique et de la gestion des risques climatiques, en particulier pour les événements météorologiques extrêmes et l'élévation du niveau de la mer. De tels systèmes peuvent aider les communautés vivant dans les zones côtières, le long des zones inondables et dépendantes de l'agriculture, à faire face aux inondations et aux cyclones et ainsi à réduire leur vulnérabilité aux événements extrêmes. Le secrétaire général des Nations Unies, António Guterres, a demandé que chaque habitant de la planète soit protégé par des systèmes d'alerte précoce d'ici 2027. Il a lancé l'Initiative d'alerte précoce pour tous (EW4All) en novembre 2022 lors de la Conférence sur le changement climatique (COP27) à Sharm El-Sheikh, Égypte. Les Nations Unies ont également lancé un partenariat, Climate Risk and Early Warning Systems, pour aider les pays à haut risque dont les systèmes d'alerte sont négligés à les développer. De même, l'OMS recommande des systèmes d'alerte précoce pour prévenir l'augmentation de la morbidité et des épidémies liées aux vagues de chaleur.

### Ouragan Irma à Antigua-et-Barbuda en 2017

Il existe plusieurs bonnes pratiques pour réduire les dégâts et les impacts dévastateurs des tempêtes et des ouragans. À Barbuda, l'ouragan Irma a fait des ravages en 2017, entraînant d'énormes pertes matérielles et l'évacuation des 2 000 habitants de l'île des Caraïbes vers Antigua voisine. Avec une aide financière de 10 millions de dollars du Fonds mondial d'adaptation, Antigua-et-Barbuda met en œuvre un projet d'adaptation au changement climatique depuis 2017. Le projet est conçu pour aider les communautés les plus vulnérables du bassin versant côtier de McKinnon à renforcer leur résistance contre les inondations, les ouragans, et des températures plus élevées en adoptant une approche intégrée. Les mesures comprennent la restauration des canaux de drainage naturels et la protection des maisons vulnérables et des abris anti-tempête contre le changement climatique afin de réduire les risques d'inondation et de catastrophe :



- Restauration des canaux de drainage naturels : en nettoyant, élargissant et approfondissant les canaux de drainage, les bassins de rétention et les ponceaux à leur taille naturelle, cette mesure vise à renforcer la capacité à faire face aux précipitations et tempêtes extrêmes.
- Protection des logements vulnérables face au climat : en donnant accès à un programme innovant de prêts renouvelables à faible taux d'intérêt, cette mesure permettant aux ménages vulnérables de protéger leur logement contre le climat.
- Abris contre les tempêtes pour réduire les risques d'inondations et de catastrophes : en soutenant des groupes communautaires dans des zones défavorisées avec des subventions, cette mesure visait à développer des bâtiments résilients au climat pour servir d'abris contre les tempêtes. Le projet a également renforcé la collaboration avec d'autres fonds tels que le Fonds spécial pour le changement climatique du Fonds pour l'environnement mondial en entreprenant une étude hydrologique avec leur soutien et en offrant la possibilité de l'étendre.

Source : [www.adaptation-fund.org](http://www.adaptation-fund.org).



Nul besoin d'être scientifique ou climatologue, ou même de travailler pour les services d'urgence, pour répondre à ces questions. La réponse est très simple : « Commencez par vous-même ». Soyez attentif et montrez-vous prudent. Être attentif est assez simple : tenez-vous au courant des dernières actualités scientifiques ; n'ignorez pas les appels à tenir compte du changement climatique si vous participez à des projets à long terme (par exemple, la construction d'une nouvelle voie ferroviaire dans la région du pergélisol devrait tenir compte de l'augmentation de la fonte du pergélisol).

Être prudent est plus complexe : nous devons adopter des comportements plus prudents, modifier nos habitudes ; par exemple, nous devons apprendre à économiser de l'énergie. Il serait très utile de savoir comment se comporter en cas de situation météorologique extrême. Par exemple, être en mesure de prodiguer les premiers soins aux personnes ayant perdu connaissance en raison de la chaleur.

### Règles de sécurité à observer en cas d'ouragan, de tempête ou de tornade

En cas d'alerte tempête :

- fermez les portes, les fenêtres, les trappes d'accès aux combles et les aérations
- retirez des rebords de fenêtres, des balcons et des loggias, les objets qui pourraient être emportés par le vent
- coupez le gaz et l'électricité, éteignez les fourneaux et les feux de cheminée
- préparez des stocks de nourriture et d'eau potable
- assurez-vous de conserver avec vous l'ensemble des choses et documents essentiels
- abritez-vous au sous-sol ou sous une structure solide.

En cas d'ouragan, de tempête ou de tornade imprévue :

#### a) si vous êtes chez vous :

- éloignez-vous des fenêtres
- restez chez vous et abritez-vous dans un endroit sûr (au sous-sol ou au rez-de-chaussée idéalement)



#### b) Si vous êtes à l'extérieur :

- abritez-vous dans un passage souterrain, une boutique ou sous le porche d'un immeuble
- trouvez un abri naturel (un ravin, un puits, un fossé, etc.), allez aussi loin que possible et allongez-vous sur le sol
- éloignez-vous des panneaux, arrêts de bus, arbres, piliers de ponts, lignes électriques
- ne touchez en aucun cas les fils électriques arrachés par le vent.

Ne quittez pas immédiatement votre abri une fois le phénomène météorologique extrême passé, d'autres vents violents pouvant faire soudainement leur apparition.



# QUESTIONS

1

Est-il plus dur de prédire le temps pour une zone urbaine ou une zone rurale ? Pourquoi ?

\_\_\_\_\_

2

Imaginez que votre famille souhaite célébrer le Nouvel An à l'extérieur. Ce que vous ferez dépendra des conditions météorologiques : vous devrez peut-être rester chez vous si le temps est trop mauvais. Quelle est la date la plus proche à laquelle vous serez en mesure de prédire le temps du 31 décembre, du moins grossièrement ?

\_\_\_\_\_

3

Pourquoi les conditions météorologiques extrêmes représentent-elles un danger pour les gens ?

\_\_\_\_\_

4

Un tremblement de terre est-il un phénomène météorologique extrême ?

\_\_\_\_\_

5

Les phénomènes météorologiques extrêmes auxquels nous sommes confrontés de nos jours (vents violents, inondations, vagues de chaleur, etc.) se produisaient-ils déjà par le passé ?

\_\_\_\_\_

6

Quels types de mesures d'adaptation sont recommandés pour faire face aux impacts climatiques des conditions météorologiques extrêmes ?







## EXERCICE



Demandez à votre professeur de géographie quelles sont les principales caractéristiques climatiques de votre lieu de résidence.

Comment était l'été : était-il plus chaud ou plus doux que d'habitude ?



## 2.2 | Les effets du changement climatique sur les plantes et les animaux

### Qu'est-ce que la biodiversité ?

#### BIODIVERSITÉ

LA BIODIVERSITÉ regroupe l'ensemble des différentes espèces de plantes et d'animaux, de champignons et de micro-organismes, ainsi que les nombreuses combinaisons d'environnements (paysages) et le grand nombre de variantes génétiques d'organismes similaires. En d'autres termes, la biodiversité est la multiplicité des formes et manifestations de la vie sur Terre.

Les scientifiques distinguent **trois grands types de biodiversité** :

- génétique (entre organismes d'une même espèce) ;
- les espèces (entre tous les êtres vivants de la planète) ;
- paysage ou écosystème (entre toutes les combinaisons de milieux où vivent les organismes).

Qu'est-ce que la diversité génétique ? Prenons un exemple : toutes les oies d'un troupeau d'oies sauvages peuvent sembler identiques. En fait, elles sont toutes légèrement différentes les unes des autres. Rappelez-vous comment, dans l'histoire remarquable du voyage de Nils avec les oies, chaque oiseau se comportait différemment. Bien sûr, ce n'est qu'une histoire, mais elle est fondamentalement vraie. Une oie est plus prompte que les autres à remarquer un renard qui rampe vers une bande d'oies endormies sur la glace ; une autre se souvient d'où trouver une clairière avec de l'herbe luxuriante au bord d'un lac ; et une troisième est plus habile que les autres pour se frayer un chemin à travers les étoiles. Ainsi, l'ensemble du troupeau bénéficie des compétences particulières de ses individus. Et cela ne s'applique pas uniquement aux oies sauvages. Chaque type d'animal ou de plante doit résoudre des problèmes différents pour survivre, et ils y parviennent mieux s'ils ont chacun des capacités spéciales différentes que s'ils sont tous identiques, comme des robots construits sur le même tapis roulant.

La diversité génétique donne naissance à de nouvelles espèces. Les biologistes pensent que les différences de comportement et d'apparence – entre deux ours par exemple – peuvent s'accroître au fil des générations. Et après de nombreuses années, les arrière-arrière-arrière-petits-enfants de ces ours s'installent dans différentes régions, commencent à chasser pour se nourrir de différentes manières et se préparent différemment à l'hibernation (ou même abandonnent l'hibernation). C'est ainsi que deux espèces différentes sont nées – en l'occurrence l'ours brun et l'ours noir d'Asie.

**Ours brun**



**Ours noir d'Asie**



La **différence entre les animaux de différentes espèces et les grands groupes taxonomiques**, tels que l'embranchement ou la catégorie, se voit aisément : nul besoin d'être scientifique pour distinguer un pissenlit d'un plantain, une libellule d'une fourmi, ou un corbeau d'un renard. Mais pourquoi ces animaux et les millions d'autres espèces d'êtres vivants sont-ils si différents ?

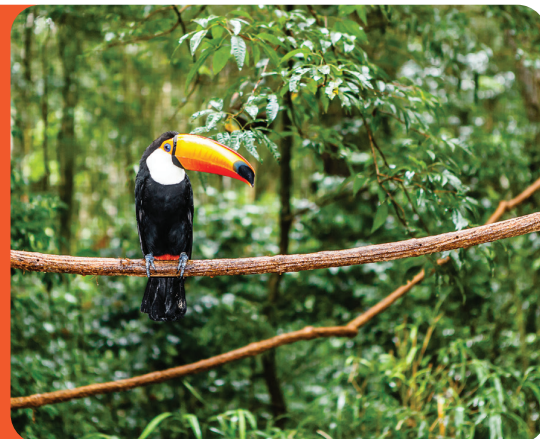
Chaque espèce d'organisme présent sur la planète joue un rôle qui lui est propre. Dans la savane africaine, la partie supérieure de l'herbe est mangée par les zèbres, les parties inférieures sont consommées par les antilopes et les gnous, tandis que les gazelles broutent les herbes proches du sol, et que les phacochères déterrent les racines et les tubercules. L'alimentation à base de végétaux est donc exploitée de la manière la plus complète qui soit, sans que les différents types d'animaux ne se livrent concurrence. Cela signifie que la plupart des animaux vivant dans une région donnée sont bien nourris et en bonne santé, et que l'ensemble de l'écosystème restera stable pendant longtemps. Et ce, grâce à la diversité des espèces.

#### La savane africaine et ses habitants



La **diversité des écosystèmes** est facile à voir pour tout voyageur attentif, si celui-ci est capable de distinguer un bureau d'un bouleau, ou un récif corallien d'une mangrove. La grande variété d'écosystèmes présents dans la nature offre un décor coloré, sur fond duquel le cycle sans fin de la vie suit son cours. Sauf que ce décor lui-même joue un rôle essentiel dans le cycle de la vie. La diversité des espèces crée les conditions de vie nécessaires pour un grand nombre d'organismes, en leur fournissant des sources de nourriture et d'eau, des abris et des voies de migration. Par exemple, certaines plantes vivant dans des ravins humides peuvent survivre à un grave incendie de forêt. Si un nombre excessif d'insectes d'une espèce donnée menace les cultures de pommes de terre, ceux-ci ne pourront se déplacer vers une zone où le sol gèle en profondeur en hiver. Par conséquent, plus la diversité des conditions naturelles sera grande, plus les chances que les différentes espèces survivent et que l'écosystème soit préservé seront élevées.

Les espèces sont inégalement réparties sur notre planète. La diversité des espèces dans la nature est à son point culminant autour de l'équateur et diminue vers les pôles. La plus grande diversité d'espèces se trouve dans l'écosystème des forêts tropicales humides, qui couvrent environ 7 % de la surface de la planète, mais contiennent plus de 90 % de l'ensemble des espèces que nous connaissons actuellement.



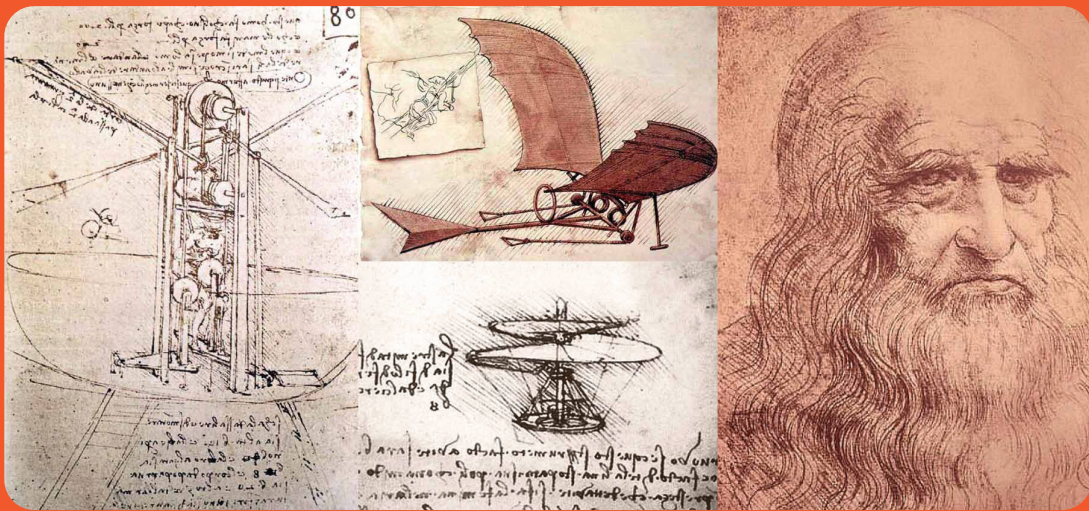


## Pourquoi la biodiversité est-elle si importante ?

N'oublions pas que jusqu'à récemment (en termes historiques), tout ce que les gens mangeaient, utilisaient pour construire leurs maisons, comme médicaments, pour fabriquer des vêtements, et pour se déplacer, était puisé dans la nature. « Oui, mais cela n'est plus le cas » me diriez-vous. Et bien vous auriez tort. Par exemple, les scientifiques modernes consacrent toujours beaucoup de temps à sillonner les forêts pluviales à la recherche d'ingrédients naturels pour l'élaboration de nouveaux médicaments. Les plantes sauvages sont nécessaires à la création de nouvelles variétés de cultures. Les ingénieurs ont, pour leur part, « emprunté » nombre de leurs inventions techniques les plus originales au royaume animal, aux plantes, aux champignons et aux micro-organismes.

Mais ce n'est pas là le rôle le plus important de la biodiversité. Le plus important pour la biodiversité est de créer un habitat pour tous les êtres vivants, y compris les êtres humains. Que cela signifie-t-il exactement ? Depuis des millions d'années, tout ce qui pousse, court, nage, rampe et vole sur notre planète s'adapte à la composition de l'atmosphère de la Terre. Les modifications apportées à ce « cocktail » de gaz ne peuvent être qu'infimes. Toutefois, même une très légère diminution de la teneur en oxygène de l'air que nous respirons nous ferait nous sentir mal, de même pour de nombreux autres animaux. Si cette baisse des niveaux d'oxygène s'accroissait, nous nous sentirions encore plus mal. Et qu'est-ce qui maintient les niveaux d'oxygène dans l'atmosphère ? Les plantes vertes !

La bionique offre des solutions aux problèmes d'ingénierie en s'appuyant sur la connaissance de la structure et du fonctionnement des organismes vivants. Par exemple, au moment de la conception d'un nouveau revêtement pour les coques de navires, les travaux se sont fondés sur des études de la texture de la peau du dauphin, ce qui a permis d'accroître la vitesse de navigation des navires de 15 à 20 %. Le grand artiste et scientifique, Léonard de Vinci, a été l'un des créateurs de la bionique : il a tenté de construire un « ornithoptère », une machine volante avec des ailes qui battaient comme celles d'un oiseau.





L'ensemble des plantes et des animaux, des micro-organismes et des champignons forment un système extrêmement complexe et ultra-précis. Imaginez que vous et vos amis passiez deux années entières à bord d'un vaisseau spatial pour un voyage aller-retour à destination de Mars. Imaginez les différents composants, appareils et autres équipements que le vaisseau contiendrait ! Pouvez-vous imaginer que notre planète soit comme ce vaisseau ? Chacun de ses « composants » a été créé grâce à des millions d'années d'évolution, l'action de chaque composant a été réglée de manière à fonctionner en harmonie avec des milliers d'autres composants. Que se passerait-il si une erreur d'un membre de l'équipage ou si une météorite endommagerait plusieurs dispositifs se trouvant à bord du vaisseau spatial ? Vous pourriez les remplacer par d'autres dispositifs semblables, du moins pendant un temps. Mais que se passerait-il alors si vous aviez un autre accident dans l'espace ?

La diversité biologique de la Terre fonctionne de la même façon. Chaque organisme joue un rôle important. L'un absorbe l'énergie du soleil, un autre se sert de l'énergie ainsi absorbée pour chasser des proies ou échapper à des prédateurs, un troisième assure la décomposition du bois mort ou des restes d'animaux morts, etc. Chacun d'entre eux, de l'imposant baobab au petit lichen, de la puissante baleine à la légère méduse, est un élément indispensable de la vie sur la Terre. Et d'autres organismes restent encore à découvrir !

Ils ne sont peut-être pas nombreux, mais ils sont également nécessaires. Vous pourriez vous dire : « Il y a eu des moments dans l'histoire de la vie sur la planète, où des groupes entiers d'organismes se sont éteints. La disparition d'une espèce n'est donc pas dramatique, ni même d'une douzaine ou d'une centaine... » Arrêtez ! Vous avez tort ! Nous ne savons pas combien de disparitions notre « vaisseau » peut tolérer. Peut-être avons-nous déjà franchi la ligne. Dans la brève histoire de l'humanité, la nature a irrémédiablement perdu non pas une centaine ou un millier d'espèces, mais bien plus !

Autre point important, la diversité biologique peut être considérée comme un instrument de mesure indiquant la durabilité et l'état de santé du milieu naturel. S'il y a beaucoup d'espèces différentes d'organismes vivants, chacun jouant son propre rôle, alors la forêt tropicale, les récifs marins ou les milieux humides boisés pourront continuer à exister encore longtemps.

Depuis les débuts de l'histoire, l'une des punitions les plus sévères consiste à enfermer une personne pendant une longue période dans une petite cellule aux murs gris où elle ne peut voir le ciel ou communiquer avec ses semblables.

Si le monde compte moins de plantes à jolies fleurs parfumées (ou même à fleurs discrètes et sans odeur), moins de belettes et martinets tournoyants (moins de tatous malhabiles ou de lentes tortues), alors notre planète mère s'apparentera de plus en plus à une cellule grise et terne !

## Quelles sont les menaces qui pèsent sur la biodiversité ?

L'activité humaine représente la plus grande menace de perturbation de l'existence de la nature sauvage dans toute sa biodiversité. Nous abattons les forêts, labourons la steppe, brûlons la savane, asséchons les marécages, chassons pour le plaisir, pêchons, et polluons nos rivières. Bien sûr, nous ne le faisons pas dans l'intention de détruire le milieu naturel. Notre objectif est de nourrir la population mondiale croissante, de nous procurer du bois pour fabriquer des choses, de produire de l'énergie, d'élever du bétail, de faire de la place pour la construction de nos villes, routes, sites militaires et décharges, et bien plus encore.

La biodiversité est particulièrement vulnérable à l'évolution des conditions naturelles, qu'il s'agisse de changements de température, d'incendies de forêt, de fonte du pergélisol, d'assèchement des zones humides, de fluctuations du niveau de l'océan, etc. Vous savez déjà pourquoi de tels changements se produisent.

Un été exceptionnellement chaud n'est pas une catastrophe en soi. Sur des milliers d'années d'évolution, la vie végétale et animale s'est adaptée aux fluctuations climatiques à court terme et aux évolutions progressives de la nature. Ce qui menace la biodiversité, ce sont les modifications rapides et irréversibles de l'environnement, et notamment les changements climatiques. Essayons de comprendre pourquoi.

## Extinctions massives et changement climatique

Tout au long de la période de développement de la vie sur terre, dont la science a connaissance (trois milliards d'années, pas plus), plusieurs dizaines de périodes de changement climatique soudain ont été relevées, lesquelles ont entraîné une diminution significative de la biodiversité. Cinq d'entre elles se démarquent, communément appelées les « grandes extinctions ». L'une des plus dramatiques d'entre elles est survenue il y a 250 millions d'années. À cette époque, la Terre n'était pas encore peuplée par les plantes et les animaux que nous connaissons aujourd'hui, mais la diversité des formes de vie était déjà considérable. Et puis soudainement, du point de vue géologique, en l'espace de quelques millions d'années, la plupart des espèces animales et végétales ont disparu (il y avait beaucoup moins d'espèces végétales que d'espèces animales à l'époque, puisque la vie au sein des océans et des mers, composée principalement d'animaux, était bien plus riche que sur terre).

La disparition de certaines espèces et l'apparition de nouvelles est un processus constant dans l'histoire géologique de la biosphère de la Terre : aucune espèce n'existe éternellement. L'extinction a été compensée par l'apparition de nouvelles espèces, et le nombre total d'espèces dans la biosphère a augmenté. L'extinction d'espèces est un processus évolutif naturel qui se produit sans aucune intervention humaine.



Quelles causes mystérieuses ont pu entraîner l'extinction totale de certaines espèces et l'apparition de nouvelles ? Les scientifiques ont des raisons sérieuses de supposer que les principales causes en sont les changements majeurs survenus à la surface de la planète, notamment la dérive des continents à la surface de la croûte terrestre (nous avons abordé ce sujet dans les sections précédentes). La dérive des continents a transformé la structure du milieu naturel tel qu'il existait à l'époque, y compris la position de chaînes de montagnes et le système des courants océaniques, et, bien sûr, a radicalement modifié le climat terrestre. Le moment du réchauffement climatique est advenu après les ères précédentes marquées par le refroidissement de la planète. Le climat est devenu plus sec et les variations saisonnières de température ont augmenté. Les niveaux d'oxygène à la surface de la terre se sont également modifiés. Tout ceci a entraîné, comme nous l'avons vu, le remplacement à grande échelle de certaines espèces par de nouvelles espèces d'êtres vivants.

D'autres extinctions d'espèces se sont produites, mais jamais à la mesure de ce premier événement. Il y a environ 60 millions d'années, une autre modification soudaine des conditions de vie sur la planète s'est produite, entraînant l'extinction des derniers dinosaures. Cette modification s'est également accompagnée d'un changement climatique, qui a accéléré le processus de remplacement de certains animaux et plantes par de nouvelles espèces. D'autres groupes d'êtres vivants, comme les ammonites (mollusques marins qui ressemblent à une corne de bélier) et les bélemnites, dont les fossiles ressemblent à des pointes de flèche, ont suivi l'extinction des dinosaures. Près de la moitié des créatures marines ont disparu à cette époque, mais le nombre de créatures ayant disparu sur terre demeure inconnu, car les restes des organismes terrestres sont bien moins conservés.

#### Ammonites



#### Bélemnites



Le refroidissement climatique s'est accompagné de la formation de calottes glaciaires aux pôles terrestres. Les vastes étendues de glace qui existent actuellement au Groenland et en Antarctique sont visibles sur les photographies de la Terre prises depuis l'espace. Combien faut-il d'eau pour former de telles calottes glaciaires ? Énormément. D'où provient-elle ? Elle ne peut que provenir de l'océan. Lorsque les calottes glaciaires se forment, le niveau de la mer baisse et les conditions de vie de tous les organismes qui vivent le long des côtes, dans l'eau et sur la terre, changent radicalement.

Par conséquent, entre autres effets, le changement climatique affecte la biodiversité, et dans les premiers temps, de la manière la plus défavorable qui soit. Après cela, la vie sur Terre réapparaît progressivement, mais jamais sous sa forme antérieure ! Des millions d'années sont nécessaires pour que cette réapparition prenne forme, et les espèces éteintes ne réapparaîtront jamais. Souhaitons-nous l'extinction de notre espèce ?

## Quels sont les animaux qui s'adaptent le plus rapidement au changement climatique ?

Bien sûr, tout ce dont nous avons discuté jusqu'à présent s'est produit dans un passé très lointain, si lointain que nous ne pouvons l'imaginer. Mais comment le changement climatique impacte-t-il de nos jours la faune dans toute sa diversité ?

L'impact de l'activité humaine et le changement climatique brutal ont entraîné des taux d'extinction des espèces, sur l'ensemble de la planète, nettement supérieurs à ceux occasionnés par la nature.

Les petits animaux ayant des cycles de vie courts sont particulièrement dépendants des conditions environnementales et, par conséquent, réagissent plus rapidement aux changements climatiques. Bien sûr, les organismes de grande taille réagissent également, mais dans leur cas l'effet est plus long à constater. Pour les besoins de nos recherches, nous voulons connaître les événements qui se produisent à l'heure actuelle ou qui se produiront dans un proche avenir, les événements dont nous serons témoins.

Une augmentation modérée mais soutenue des températures moyennes de 1,5 à 2 °C dans les montagnes slovaques a eu des conséquences pour le moins inattendues. De jolis papillons affectionnant la chaleur de la famille des porte-queue, à savoir le Flambé et le Machaon, se sont propagés au-delà de la zone de steppe boisée dans laquelle ils vivaient, et ont fait leur apparition dans des prairies plus fraîches et plus humides. Ils ont également commencé à se reproduire trois fois par an au lieu de deux, comme auparavant.

D'autres papillons, du genre de l'Araschnia, avaient auparavant pour habitude d'arborer différentes couleurs en fonction des saisons : marron au printemps, noir en été et de nouveau marron en automne. Ils sont désormais noirs tout au long de l'année.

Toujours dans les montagnes slovaques, les biologistes ont relevé deux tendances opposées dans les cycles de vie de la dendroctone de l'épicéa et de l'arpenteuse tardive. Les dendroctones ont élargi la surface de leur habitat avec la hausse des températures, alors que les voraces chenilles, au contraire, se nourrissent moins de leurs arbres favoris. Dans les deux cas, il existe une corrélation directe entre les variations de température et le comportement des insectes.

**Machaon (papillon)**



**Dendroctone de l'épicéa**





*Eleutherodactylus limbatus* est une petite grenouille qui habite dans les forêts tropicales, où les variations de température et du taux d'humidité durant la journée et sur l'ensemble de l'année sont relativement faibles, bien qu'elles se produisent. Les scientifiques se sont intéressés aux particularités de la relation entre la grenouille et un champignon parasite qui pousse sur son corps. Il a été établi que le parasite était bien moins vulnérable à un changement des conditions environnementales que son hôte (la grenouille). Le changement climatique rend donc le parasite plus dangereux pour la grenouille, menaçant ainsi l'entière population de l'espèce hôte.

**Eleutherodactylus limbatus**



Dans les eaux froides de l'océan Austral, la moindre hausse de température entraîne une augmentation de l'acidité et une diminution de la teneur en oxygène. Cela a entraîné des migrations massives de mollusques bivalves de l'espèce des *Laternula elliptica* loin de la zone de danger. Cependant, les mollusques plus anciens (âgés de plus de trois ans) n'ont pas la force musculaire nécessaire pour migrer et périssent donc en grand nombre. Vous pourriez vous demander : ces créatures ne peuvent-elles pas s'installer dans de nouvelles régions et rétablir leur population ? Mais cela n'est pas si simple : cette espèce n'est capable de se reproduire qu'après trois ans, soit au moment où elle perd sa mobilité !

**Laternula elliptica**



Les coraux ont également été parmi les premiers à être affectés par le changement climatique. Les coraux sont des organismes très sensibles. Une eau trop chaude ou trop froide, un manque de lumière ou l'excès d'impuretés, tous ces éléments favorisent le ralentissement, voire l'arrêt, de la croissance des coraux. Les polypes des coraux ne peuvent se déplacer et s'adaptent donc très difficilement aux changements environnementaux. Ils doivent vivre et mourir là où ils sont nés. Les micro-algues qui absorbent l'énergie du rayonnement solaire pour les polypes des coraux sont particulièrement dépendantes de la température de l'eau. En de nombreux endroits de la Grande barrière de corail australienne, les scientifiques ont pu constater la mort des algues et le blanchiment des coraux, qui se produit lorsque le récif meurt. Ceci est le résultat des vagues de chaleur marines répétées au cours des dernières années qui ont donné à une grande partie de la Grande Barrière de Corail une couleur blanche fantomatique. La fumée émanant des graves incendies de forêt et de tourbe en Indonésie produit souvent des rejets atmosphériques de composés de fer, ce qui entraîne la prolifération rapide d'algues produisant des substances toxiques pour les coraux.

Pourtant, il existe récemment des innovations réussies en matière de sauvegarde des coraux. L'Institut australien des sciences marines multiplie un grand nombre de coraux sains dans une installation aquacole afin de mieux comprendre la biologie et l'écologie de la reproduction des coraux. L'institut collecte des fragments de corail du récif, qui sont pondus et fécondés, puis les larves sont élevées dans des pépinières et installées sur des surfaces spécialement conçues. Les coraux déposés, ou fragments fabriqués à partir des adultes, sont placés sur des appareils sur le récif. Les plongeurs revisitent ensuite les sites pour identifier et comprendre les conditions environnementales dans lesquelles les coraux survivent et se développent le mieux. Ces connaissances aideront à concevoir et à améliorer les systèmes d'aquaculture corallienne afin d'améliorer la survie de bout en bout des coraux sur les récifs dégradés, depuis le frai jusqu'à l'installation et l'âge adulte.

### Récif corallien



Le réchauffement qui touche les régions polaires réduit l'étendue des glaces marines saisonnières, dont la partie inférieure constitue une aire fertile pour la reproduction des plantes océaniques microscopiques appelées phytoplancton. Le phytoplancton constitue la base d'une chaîne alimentaire englobant le krill, les poissons, les pingouins et autres oiseaux de mer, les phoques et plusieurs sous-espèces de baleines. S'il n'y a pas assez de glace, le phytoplancton ne peut se développer et se reproduire en nombre suffisant. Le krill ne peut survivre dans une eau qui lui offre peu de nourriture, et se voit remplacer par des salpes translucides à tissu mou, qui sont d'anciennes créatures. Cela entraîne alors une rupture de la chaîne alimentaire, car quasiment aucun animal ne se nourrit de salpes, à l'exception de quelques espèces de poissons et de tortues de mer. Les baleines ne peuvent donc accumuler suffisamment de réserves de graisse durant les mois d'hiver, tandis que d'autres créatures désertent également les eaux qui ne peuvent leur fournir la nourriture dont elles ont besoin. Là encore, nous pouvons voir les interactions complexes propres à la nature, qui se reflètent dans la biodiversité.

### Salpes



Le rétrécissement de la calotte glaciaire du pôle Nord est le signe le plus visible du réchauffement climatique. Les ours polaires ont besoin de glace pour assurer leur migration et pour chasser les phoques ; la glace est également d'une importance vitale pour les phoques eux-mêmes, car sans elle, ils n'auraient nulle part où élever leurs petits. Si les champs de glace commencent à diminuer au-delà des seuils habituellement constatés chaque été, la population de phoques diminuera également et les ours polaires affamés se nourriront de l'ensemble de la carcasse des phoques qu'ils attraperont, plutôt que de ne dévorer que leur couche de graisse. Auparavant, les restes des repas de l'ours polaire offraient un véritable festin aux autres habitants de l'Arctique – le renard arctique et de nombreux oiseaux. Mais désormais, il ne leur reste plus rien !

Au nord de l'Eurasie, à mesure que le climat se réchauffe, la forêt progresse doucement mais sûrement vers la toundra, à un rythme de dix kilomètres par siècle. Cela entraîne une modification de l'habitat et des sources d'alimentation de nombreuses espèces d'oiseaux. Dans l'Arctique, les hivers doux ont également des conséquences désastreuses aussi bien pour le renne domestiqué que pour le renne sauvage, le dégel et les précipitations hivernales recouvrant la neige d'une croûte de glace, rendant plus difficile pour les rennes la recherche de lichens, base incontournable de leur alimentation durant les mois d'hiver.

Le lemming, dont la population est la plus nombreuse de la toundra, souffre également des conséquences du réchauffement climatique. Le trou où vit le lemming se remplit désormais d'eau bien trop tôt dans l'année, réduisant ainsi la population des lemmings et affamant les oiseaux de proie et les renards. Dans l'hémisphère Sud, sur la côte Antarctique, qui a l'apparence d'un désert de glace avec quelques affleurements rocheux et une végétation très clairsemée, les chercheurs ont soudainement découvert d'abondants fourrés d'herbe du cheveu antarctique, une petite plante qui ne poussait précédemment qu'en petites mottes entre les pierres, à l'abri des vents glacials du continent austral.

### Ours polaires



### Renne



### Lemming





Dans la steppe de Daourie à l'est de la Russie, entre le lac Baïkal et la chaîne montagneuse du Grand Khingan de Mongolie, les scientifiques ont constaté que le climat devenait plus aride, et ce en raison du réchauffement climatique. Les lacs et les petits cours d'eau disparaissent, les rideaux forestiers se dessèchent, et la végétation de la steppe est brûlée par le soleil plus tôt dans l'année. Les animaux de la steppe font ce qu'ils peuvent pour s'adapter au changement. Les oiseaux migrent vers d'autres endroits, changeant ainsi leurs routes de migration et leurs sites de nidification. Les quantités de nourriture sont insuffisantes pour l'ensemble des oiseaux d'eau locaux, comme le cormoran, le héron cendré et le goéland argenté. southern continent.

L'oie cignoïde ne nidifie plus dans cette région. Les loups, les renards, les blaireaux et même les grues s'éloignent à la recherche de plus d'eau. Les oiseaux de proie, qui ont besoin de beaucoup d'eau pour digérer leur alimentation à base de viande, migrent également vers des régions plus adaptées. Le lièvre de Tolai se retrouve, pour sa part, à court d'herbe durant l'été, non seulement pour se nourrir, mais également pour se cacher des prédateurs ! La marmotte tabargan et le spermophilus dauricus, tous deux originaires de la région, sont bien adaptés aux sécheresses, mais voient toutefois leur vie se compliquer dans ce nouveau contexte, car ils ne peuvent se déplacer suffisamment rapidement pour échapper aux feux de broussaille, qui sont de plus en plus fréquents en été. L'herbe brûlée entraîne une pénurie de fourrage hivernal pour les ongulés, contraignant ainsi de vastes troupes d'antilopes et de gazelles à migrer de la Mongolie à la Russie.

#### Lièvre de Tolai



#### Manul

Les quelques points d'eau restant dans la steppe daourienne sont surpeuplés d'animaux à la recherche d'eau, ce qui augmente le risque de maladie. Tout comme les étés sont devenus plus secs, les hivers connaissent davantage de chutes de neige, en conséquence le manul (une espèce de chat sauvage) ne parvient pas à trouver de nourriture. Le hérisson daourien est quasiment le seul à tirer profit du changement climatique : il lui faut plus de cinq mois de chaleur pour assurer son cycle de vie, ce nouveau contexte lui permet donc de renforcer sa présence.





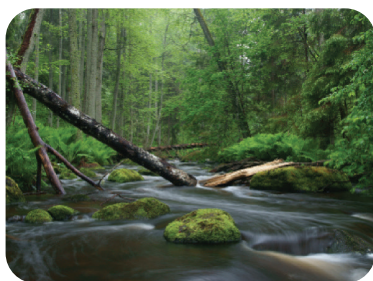
## Parcs nationaux : apprendre à préserver la nature

Qu'est-ce qu'un parc national ? Il s'agit d'une zone protégée ouverte aux touristes, mais où l'activité humaine est limitée par des règles précises. Les parcs nationaux sont habituellement créés dans des endroits renfermant différents paysages (à la fois typiques et uniques), des espèces animales ou végétales rares ou menacées, et des phénomènes géologiques ou d'eau uniques. Les parcs nationaux sont visités par des adultes et des enfants, qui ainsi en apprennent davantage sur les problèmes environnementaux mondiaux. Les parcs nationaux peuvent abriter des nurseries pour la reproduction d'espèces végétales ou animales rares, qui sont ensuite déplacées dans des zones situées en dehors du parc.

Le changement climatique affecte-t-il les parcs nationaux ? Malheureusement, le changement climatique mondial entraîne des incendies, des sécheresses, une hausse de la température atmosphérique et bien d'autres phénomènes qui ne peuvent être contenus simplement en déclarant une zone parc national.

Les conditions nécessaires à la faune et la flore d'eau douce du parc des Everglades en Floride (USA) varient selon l'afflux d'eau salée provenant de la baie de Floride toute proche, un processus influencé par le changement climatique. Les scientifiques et le personnel des zones protégées sont conscients que ces processus menacent l'existence même des parcs nationaux, et l'Agence américaine de protection de l'environnement, en collaboration avec le Service des parcs nationaux, ont par conséquent élaboré un programme spécial : « Parcs respectueux du climat ». Le programme vise à sensibiliser le personnel des parcs et les visiteurs aux causes et conséquences du changement climatique, et leur explique ce qu'ils peuvent eux-mêmes faire pour contribuer à résoudre les problèmes mondiaux y étant associés.

**Parc national de Laheema  
(Estonie)**



**Parc national de Jasper  
(Canada)**



**Parc national Kruger  
(Afrique du Sud)**

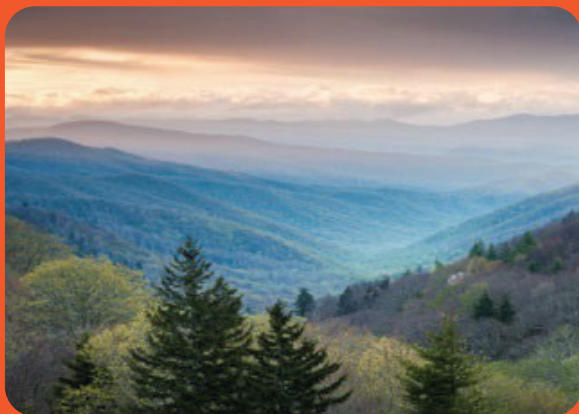




Le **parc de Yellowstone**, célèbre dans le monde entier, a été créé en 1872 : il s'agit du parc national le plus ancien des USA.



La **Grande barrière de corail** est indispensable à l'existence de nombreux organismes vivants et est gravement affectée par le changement climatique. Celle-ci est une zone protégée du Parc national marin australien, et est également classée comme Site du patrimoine mondial de l'UNESCO et reconnue comme l'une des sept merveilles du monde. Il s'agit de la seule structure vivante sur la planète, qui est visible depuis l'espace.

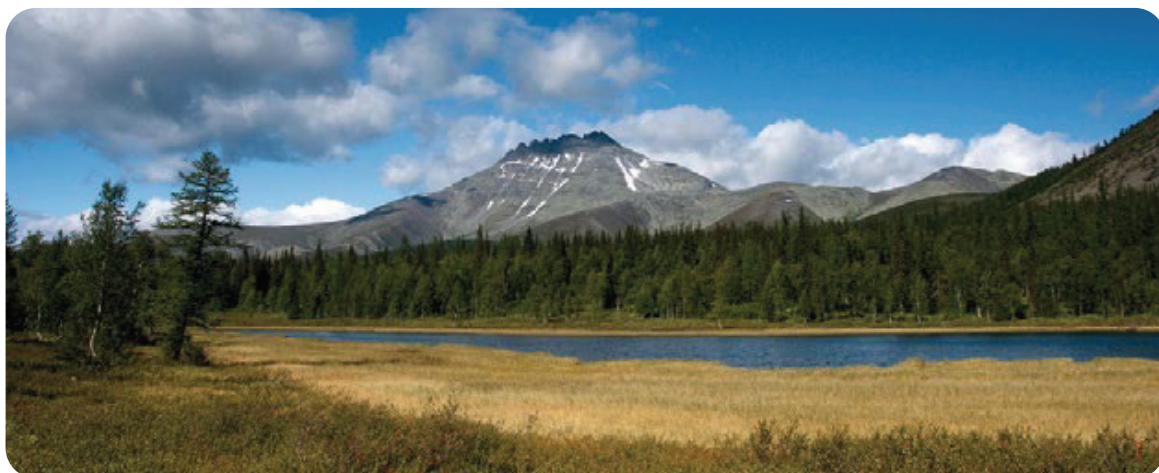


L'itinéraire piéton le plus long en zone protégée se trouve également aux USA, dans le parc national des **Great Smoky Mountains**.



Le **parc national de Namib-Naukluft** en Namibie (Afrique de l'Ouest) est célèbre pour ses magnifiques dunes de sable orange, qui sont les plus hautes du monde, certains endroits s'élevant à plus de 300 mètres au-dessus du sol. Le parc bénéficie des réserves fauniques et naturelles parmi les plus insolites au monde, et s'étend sur une zone de plus de 49 000 km<sup>2</sup>, soit plus grande que la Suisse.



**Parc national de Yougyd va (Russie)****Réserves naturelles : la nature sans l'homme**

Les réserves fauniques (biosphère) sont des endroits où les scientifiques peuvent surveiller et enregistrer les changements qui surviennent dans le milieu naturel. Dans une réserve faunique, il est strictement interdit de cueillir des baies, des champignons ou de pêcher. Ces endroits sont parfaits pour le rétablissement des populations d'espèces en danger, qui peuvent ensuite être relâchées dans des secteurs appropriés en dehors de la réserve.

Les réserves de biosphère sont souvent créées dans des endroits où la nature n'est sujette à aucune influence significative de l'homme. Elles sont utilisées pour préserver les écosystèmes locaux typiques, ainsi que les espèces et communautés rares de plantes et d'animaux. À titre d'exemple, l'écosystème à protéger dans les régions de la taïga serait celui de la taïga, tandis que dans une région tropicale, il s'agirait de la forêt tropicale humide. La conservation de l'environnement naturel dans ces zones revêt une importance mondiale.

Des réserves de biosphère existent sur tous les continents. Vous avez probablement déjà vu des films concernant l'existence de ces réserves en Afrique. Grâce à ces réserves de biosphère, le milieu naturel diversifié du continent africain est préservé pour nous aujourd'hui.

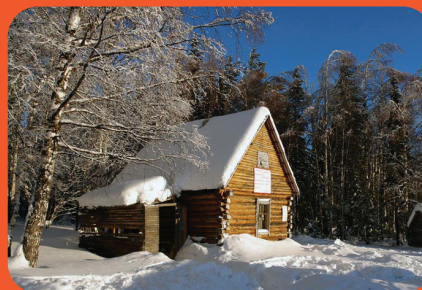
**Réserve de biosphère de Belovezhskaya Pushcha / Forêt de Bialowieza (Biélorussie, Pologne)****Parc national des Everglades (USA)**

### UNE RÉSERVE FAUNIQUE (BIOSPHERE)

est un territoire protégé, où aucune activité humaine n'est tolérée, à l'exception de l'activité scientifique.

Toutes les réserves de biosphère participent au programme sur l'Homme et la biosphère, dirigé par l'UNESCO et qui soutient les recherches en cours et à long terme sur l'environnement. Des recherches sont actuellement menées dans de nombreuses réserves concernant l'impact du changement climatique sur la vie animale et végétale. Les scientifiques travaillant dans la réserve de biosphère du Caucase en Russie ont découvert que la couverture forestière présente sur les versants des montagnes de la région monte progressivement de plus en plus haut, à mesure que le climat se réchauffe.

**Le parc national américain de Zion** est un bel exemple de la manière dont nous pouvons assurer la sécurité de l'environnement. Environ 20 bus, utilisant un combustible gazeux à faibles émissions, transportent les visiteurs dans le parc, remplaçant ainsi les quelques 5 000 voitures que les visiteurs auraient autrement utilisées. Il en a résulté une baisse significative des émissions de gaz à effet de serre. Un « Centre écologique » implanté dans le parc pour accueillir les touristes couvre près d'un tiers de ses besoins énergétiques grâce au soleil et 80 % de ses besoins en éclairage grâce à la lumière du jour. En été, le système de climatisation utilise des évaporateurs à faible consommation d'énergie, et en hiver un système de chauffage passif, qui utilise un mur de matériaux absorbant la chaleur (pierre, brique) exposé au soleil, optimise la rétention de la chaleur.



**Le parc national de Taganai** en Russie, a récemment installé le premier système écologique d'approvisionnement en énergie à être utilisé au sein d'une zone naturelle protégée. L'un des abris du parc tire désormais son électricité de l'énergie éolienne (éoliennes) et du soleil (panneaux solaires). Le système détermine automatiquement quelle source d'énergie utiliser à un moment précis (solaire ou éolienne). Auparavant, cet abri et d'autres, ainsi que les installations du parc, étaient dépendants de générateurs à essence pour leurs besoins énergétiques – une source d'énergie à la fois onéreuse et nocive pour l'environnement. Un nouveau système d'éclairage, alimenté par l'énergie solaire et éolienne, a été installé à Adler dans la section Yuzhniye Kultury du **parc national de Sotchi** au sud de la Russie.



## Réserves naturelles et zones naturelles protégées d'importance

Les réserves naturelles ont pour objectif de protéger non pas l'ensemble du milieu naturel local, mais certaines parties seulement : par exemple, uniquement les plantes ou uniquement les animaux, ou éventuellement certaines particularités géologiques (roches ou grottes). Les restrictions relatives à l'activité humaine dans ces réserves concernent donc uniquement toute activité susceptible de menacer les éléments protégés de l'environnement.

Les zones naturelles protégées d'importance exceptionnelle sont des zones naturelles typiques ou uniques, ayant une valeur scientifique, culturelle, pédagogique ou sanitaire particulière. Il peut s'agir de lacs, d'arbres, de sites géologiques ou de parcs anciens. Ainsi, l'interdiction de mener certaines activités humaines se réfère à celles susceptibles de porter atteinte aux éléments concernés par les mesures de protection.

## Comment les zones protégées permettent-elles de lutter contre le problème du changement climatique

En quoi un parc national (et toute autre zone protégée) contribue-t-il à lutter contre le changement climatique ? La contribution la plus significative est la réduction des émissions de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Par exemple, certains parcs encouragent les touristes à utiliser des bus publics utilisant des carburants alternatifs plutôt que des voitures polluantes. Les employés des parcs eux-mêmes utilisent des moyens de transport ayant une incidence minimale sur l'environnement. Les parcs peuvent recourir à l'énergie du vent, du soleil ou des sources chaudes pour le fonctionnement de leurs locaux d'accueil des visiteurs. L'éclairage naturel et la LED sont utilisés au maximum, et l'électricité nécessaire aux bureaux est tirée de panneaux solaires. Les souvenirs proposés aux touristes sont fabriqués à partir de matériaux recyclés, la cafétéria du parc sert des plats cuisinés à partir de produits locaux (des produits qui n'ont pas à parcourir de grandes distances, avec la pollution due au transport que cela implique, et qui sont cultivés ou produits d'une manière respectueuse de l'environnement), et les locaux du parc sont équipés de toilettes économiques en eau. Des informations sont fournies aux visiteurs afin de leur apprendre comment se comporter de la manière la plus efficace et la moins dommageable pour l'environnement.

## Écotourisme : l'harmonie entre l'homme et la nature

Vous aimez la marche et les activités de plein air ? Si oui, vos amis et vous aimerez voyager et découvrir de nouveaux endroits. Peut-être deviendrez-vous même des écotouristes.

Quelle est la différence entre touriste et écotouriste ? Ce qui les différencie le plus est leur attitude envers l'environnement. L'écotourisme est un concept récent qui a émergé lorsque les gens ont commencé à comprendre à quel point la nature était importante pour nous. Il y a différentes façons de se relaxer en extérieur. Vous pouvez simplement aimer vous rendre en forêt ou au bord d'un lac en voiture, mettre la musique à fond, faire un feu dans l'endroit le plus beau que vous trouverez, manger en abondance et laisser un amas de déchets derrière vous. Mais pour d'autres touristes, le plaisir se trouve dans le fait de monter jusqu'au sommet d'une montagne, d'observer des animaux sauvages, de partir à la recherche de plantes rares, d'écouter le chant des oiseaux, ou de profiter d'un coucher de soleil et du silence. Leur principal objectif est d'observer et d'écouter le milieu naturel, ce à quoi le monde moderne a rarement accès. Ils ne laissent pas de déchets derrière eux ; au contraire, ils ramassent souvent les ordures des autres personnes et veillent à observer toutes les règles en vigueur pour protéger l'environnement. Heureusement, le nombre d'écotouristes augmente d'année en année !



L'écotourisme offre aux gens l'opportunité de voir l'environnement dans un état naturel et préservé, de comprendre à quel point celui-ci est diversifié et vulnérable à l'activité humaine, et de se poser la question suivante : « Que puis-je faire pour la planète ? » Les écotouristes observent les lois de la nature et mettent en place des choses pour la protéger et la préserver. Ils tentent de réduire leur impact environnemental au minimum. Qui plus est, les entreprises d'écotourisme reversent une part de leur chiffre d'affaires à des initiatives de protection et d'étude de l'environnement.

De nombreux environnements naturels exceptionnels se trouvent dans des zones reculées, au sein de zones rurales où les gens sont relativement pauvres. Ils se trouvent également dans des zones telles que les jungles de l'Amérique du Sud ou les régions montagneuses frontalières situées entre le nord de la Thaïlande, le Myanmar et le Laos, lesquelles sont habitées par des peuples indigènes. Par conséquent, les écotouristes en apprennent souvent davantage non seulement sur le milieu naturel, mais également sur la culture humaine. L'écotourisme fournit également du travail et des sources supplémentaires de revenus aux personnes qui vivent dans ces régions.

L'écotourisme permet donc aux gens d'observer la beauté et le caractère unique de la nature, de comprendre à quel point tout est relié dans le monde qui les entoure, de savoir combien d'espèces d'animaux et de plantes notre planète renferme, et de comprendre à quel point l'environnement dépend des actions de chacun, adolescents et enfants comme adultes.

### Un éco-hôtel au Costa Rica



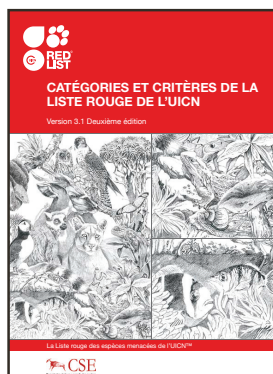
## Que sont la Liste rouge mondiale et le Livre rouge et à quoi servent-ils ?

La Liste rouge est une liste des espèces rares et menacées d'animaux, de plantes et de champignons. La couleur rouge vise à nous rappeler le risque auquel ces espèces sont exposées et l'urgence nécessaire de les protéger et de les préserver.

La liste des organismes vivants du monde entier ayant besoin de protection sont répertoriés dans le Livre rouge international, dont l'exemplaire original est conservé dans la ville suisse de Morges. Ce livre est publié par l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) et est paru pour la première en 1963. Ce livre un peu particulier fait davantage office de calendrier que de livre ordinaire : à mesure que le temps passe, la situation des espèces déjà présentes dans le livre évolue, et les noms de nouvelles espèces de plantes, d'animaux et de champignons y sont ajoutées. Le Livre rouge est donc sans cesse modifié et élargi.

Pour chaque espèce qu'il consigne, le Livre rouge fournit des informations sur sa répartition, sa population, les caractéristiques de son habitat et les mesures requises pour sa préservation, ainsi que bien d'autres détails. Les pages du Livre sont marquées de différentes couleurs. Les pages décrivant les espèces éteintes sont marquées en noir. Cela englobe, par exemple, la vache de mer, la tourte voyageuse et le dodo. Les pages marquées en rouge concernent les espèces très rares et menacées (le léopard d'Extrême-Orient, le tigre de Sibérie, le léopard des neiges et le bison européen). Les animaux dont les populations sont en forte baisse sont répertoriés sur les pages marquées en jaune (l'ours polaire, la mouette rosée et la gazelle à goitre). Les animaux et les plantes que l'on trouve rarement à l'état sauvage sont consignés sur des pages blanches. Les espèces qui n'ont pu être suffisamment étudiées car elles vivent dans des zones reculées sont répertoriées sur les pages grises, tandis que les pages vertes, symbole d'espoir, consignent les espèces que l'homme a pu sauver de l'extinction (comme le castor fiber et le wapiti eurasién).

Chaque pays et région du monde élabore également sa propre liste d'espèces rares et protégées. Avant d'inclure une espèce en particulier dans le Livre rouge, les scientifiques étudient de façon intensive la flore, la faune et les champignons des zones concernées, déterminent les facteurs qui menacent l'espèce, décrivent son habitat et déterminent comment la préserver. Le Livre rouge répertorie non seulement les espèces rares et endémiques (espèces que l'on ne trouve que sur un territoire donné), mais également un éventail de plantes à fleurs, de plantes comestibles et médicinales.



Les animaux et les plantes peuvent avoir besoin d'être protégés pour deux types de motifs : directs et indirects. On parle de motifs directs de protection lorsque les gens, de par leurs actions, procèdent à la destruction d'animaux et de plantes, en chassant, en collectant des plantes médicinales, en pêchant ou en collectant autrement des organismes aquatiques. On parle de motifs indirects en cas de modification de l'habitat, y compris celle résultant du changement climatique mondial. Parmi les motifs indirects figurent notamment la difficulté d'adaptation au changement climatique, l'introduction de nouvelles espèces de plantes (lorsque les « nouvelles venues » supplantent les espèces indigènes, pour diverses raisons), ainsi que la destruction des plantes sources d'alimentation pour les animaux, etc.



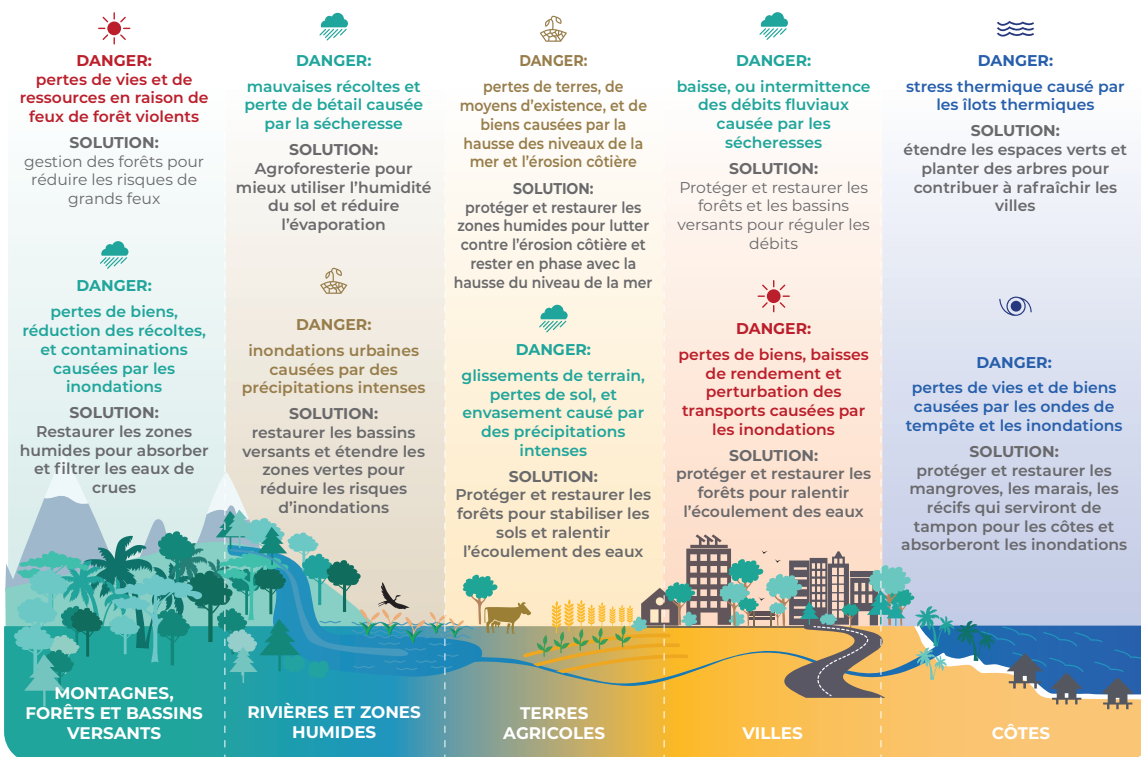
## Quelles sont les solutions d'adaptation basées sur les écosystèmes ?

Les solutions d'adaptation disponibles peuvent renforcer la résistance aux risques climatiques et, dans de nombreux cas, offrir simultanément des avantages plus larges en matière de développement durable.

L'une de ces solutions est l'adaptation basée sur les écosystèmes, qui peut aider les communautés à s'adapter aux impacts déjà dévastateurs sur leurs vies et leurs moyens de subsistance, tout en préservant la biodiversité, en améliorant les résultats en matière de santé, en renforçant la sécurité alimentaire, en apportant des avantages économiques et en améliorant la séquestration du carbone. De nombreuses mesures d'adaptation basées sur les écosystèmes – notamment la protection, la restauration et la gestion durable des écosystèmes, ainsi que des pratiques agricoles plus durables telles que l'intégration des arbres dans les terres agricoles et l'augmentation de la diversité des cultures – peuvent aujourd'hui être mises en œuvre à des coûts relativement faibles. La clé de leur succès est d'impliquer les communautés locales et de garantir que les stratégies sont conçues pour tenir compte de l'impact de l'augmentation de la température mondiale sur les écosystèmes.

Figure 2.2.1

### Adaptation basée sur l'écosystème apte à protéger les vies et les moyens d'existence





# QUESTIONS

1

Lequel des écosystèmes de la Terre est le plus riche en termes de diversité des espèces ?

\_\_\_\_\_

2

Qu'entend-on par causes « directes » et « indirectes » d'extinction des organismes vivants ? Donnez des exemples.

\_\_\_\_\_

3

Comment vos amis et vous commenceriez-vous une histoire en classe qui parle de l'importance de la biodiversité ? Quels sont les arguments les plus convaincants pour les écoliers et pour les adultes ?

\_\_\_\_\_

4

Pourquoi le Livre rouge et la Liste rouge sont-ils rouges ? Quels sont les plantes, les animaux et les champignons répertoriés dans le Livre rouge que vous connaissez ? Pourquoi sont-ils en voie de disparition ?

Pouvons-nous aider à la préserver ?

Quelles sont les différentes couleurs utilisées sur les pages du Livre rouge ?

\_\_\_\_\_

5

Que signifient les différentes couleurs utilisées ?

\_\_\_\_\_

6

Pourquoi le Livre rouge s'étoffe-t-il de plus en plus à chaque mise à jour ?

\_\_\_\_\_

7

Comment le réchauffement climatique affecte-t-il les rennes ?

\_\_\_\_\_

8

Qui peut être qualifié d'« écotouriste » ?





## EXERCICE



En collaboration avec le reste de votre classe, créez votre propre Livre rouge. Dessinez chacun un animal, une plante ou un champignon ayant besoin d'être protégé(e) sur une page d'une certaine couleur et expliquez votre choix.





## 2.3

## Les effets du changement climatique sur les forêts

## Qu'est-ce qu'une forêt ?

Bien que le terme « forêt » soit couramment utilisé, il n'est pas facile de clairement définir de quoi il s'agit. Il existe plus de 800 définitions différentes du mot « forêt » dans le monde ! Néanmoins, l'approche la plus reconnue pour identifier une forêt, également utilisée par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), comprend les indicateurs suivants : 1) des arbres d'une hauteur minimale de 5 m, 2) un couvert arboré supérieur à 10 % (proportion du sol ombragée par la couronne des arbres) et 3) une superficie de la zone forestière de plus de 0,5 hectares. Selon cette définition, il y a un peu moins de 4 milliards d'hectares de forêts sur Terre, couvrant environ 30 % de la superficie totale. Environ la moitié de la zone forestière mondiale se situe dans trois pays : la Russie, le Canada et le Brésil.

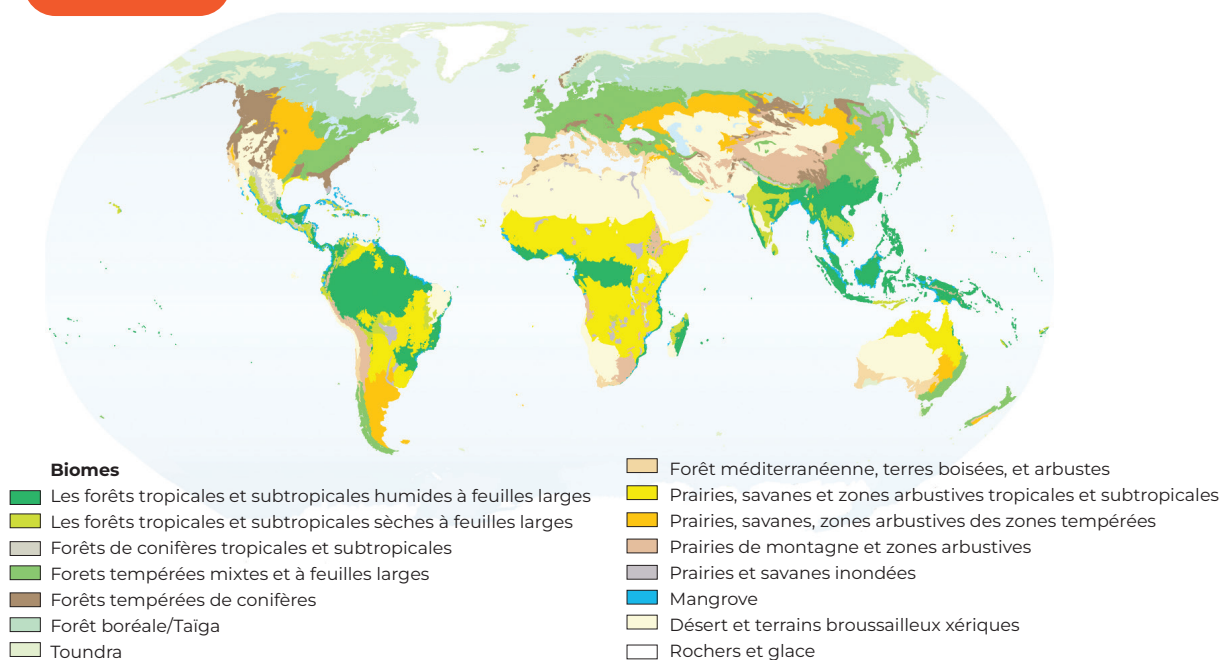
## Types de forêts

Les forêts sont habituellement classifiées en fonction de l'espèce d'arbre dominante (feuillus, conifères (feuillage persistant), ou mixte) et de la durée de vie de leur feuillage (feuilles persistantes ou caduques). Les principaux types de forêts (cf. Fig. 2.3.1) sont les suivants :

- **Les forêts boréales** (taïga) sont généralement composées de conifères et arbres à feuillage persistant.
- **Les forêts tempérées** comprennent des forêts de feuillus décidues, des forêts de conifères et des forêts mixtes (mélange des deux types). Les régions chaudes tempérées abritent des forêts sempervirentes à feuilles larges.
- **Les forêts méditerranéennes** sont généralement composées d'arbres feuillus persistants et sclérophylles. Sclérophylle signifie « feuilles coriaces » en grec, car ces arbres possèdent généralement de petites feuilles sombres couvertes d'une pellicule cireuse visant à retenir l'humidité durant les mois secs de l'été. Des forêts de conifères sont également présentes dans cette zone.
- **Les forêts tropicales et subtropicales** comprennent des forêts humides à feuilles larges, des forêts sèches à feuilles larges et des forêts de conifères.

Figure 2.3.1

Les principaux biomes dans le monde



## Pourquoi les forêts sont-elles dépendantes du climat ?

La vie forestière et sa répartition géographique dépendent des conditions climatiques, notamment de la température de l'air et de la quantité de précipitations. Seuls certains endroits de notre planète disposent d'un climat adapté au développement des forêts. À titre d'exemple, la localisation de la limite forestière la plus au nord dépend de la température annuelle moyenne de l'air. Lorsque les températures sont trop basses, la forêt boréale est remplacée par la toundra. Toutefois, la température de l'air, notamment dans les plaines, ne change pas brusquement, mais progressivement. La limite entre la forêt et la toundra devient donc une zone de transition, où sont présents à la fois des échantillons de forêt et de toundra. Cette zone de transition est appelée la toundra forestière (Fig. 2.3.2).

La limite sud des forêts tempérées, où les forêts laissent place à des prairies (steppe) et des semi-déserts, est déterminée par la pluviométrie. Par temps chaud, les arbres et les plantes perdent constamment l'humidité de leurs feuilles afin de se procurer de la fraîcheur. En cas de faibles précipitations estivales, les réserves d'humidité du sol sont moindres, et les arbres ont des difficultés à l'acheminer jusqu'à leur cime. Lorsque l'air est chaud et que les précipitations sont limitées, les plantes herbacées de petite taille sont avantagées et le paysage se transforme en steppe.

Le relief, la qualité du sol, les étendues d'eau et l'activité humaine sont également des facteurs importants permettant de déterminer le couvert forestier. La part de forêts diminue dans les régions où la plupart des terres sont exploitées à des fins économiques.

Figure 2.3.2

Toundra forestière



### Forêts des zones climatiques tempérées et subarctiques

Les **forêts boréales (taïga)** sont dominées par différentes espèces de conifères : pin, épicéa, mélèze, sapin et cèdre. Il est intéressant de constater que ces forêts en Europe et en Sibérie occidentale sont principalement composées de pins et d'épicéas, tandis qu'en Sibérie centrale et orientale elles sont principalement composées de mélèzes. Cela est dû au pergélisol présent dans les vastes territoires sibériens, qui rend ces régions particulièrement adaptées au mélèze.

Les différences de température (températures estivales moyennes, période de formation et de fonte de la couverture neigeuse) justifient la subdivision de la zone de la taïga en taïga du nord, du centre et du sud. Les arbres adultes des forêts de la taïga du nord ne poussent pas très haut et atteignent 10 à 20 m, tandis que ceux de la taïga du sud peuvent atteindre jusqu'à 50 m (Fig. 2.3.3). La taïga du centre est un intermédiaire entre le nord et le sud, non seulement sur le plan géographique, mais également en termes de hauteur moyenne des arbres, qui s'élèvent à 20 ou 25 m.

La région située au sud de la taïga est occupée par une zone de **forêts tempérées décidues** (Fig. 2.3.4). Celle-ci est dominée par diverses espèces de chênes, charmes et ormes. Ces arbres sont communément connus sous le nom de feuillus à bois dur (du fait que leur bois est relativement dur). Au sud des forêts caducifoliées, en Europe de l'Est et Asie centrale, débutent les prairies (également appelées « steppes »), la zone de transition étant appelée la **steppe boisée**. Cependant, il n'existe pas de zone de forêts de feuillus en Sibérie occidentale et dans les régions centrales d'Amérique du Nord (Fig. 2.3.1), où la taïga laisse immédiatement place aux prairies. Cela est notamment dû au climat continental de ces régions : les précipitations sont faibles, le sol est donc très sec et les forêts de feuillus, qui nécessitent beaucoup d'humidité, ne peuvent s'y développer.

**Figure 2.3.3** Taïga du sud



**Figure 2.3.4** Forêt de feuillus





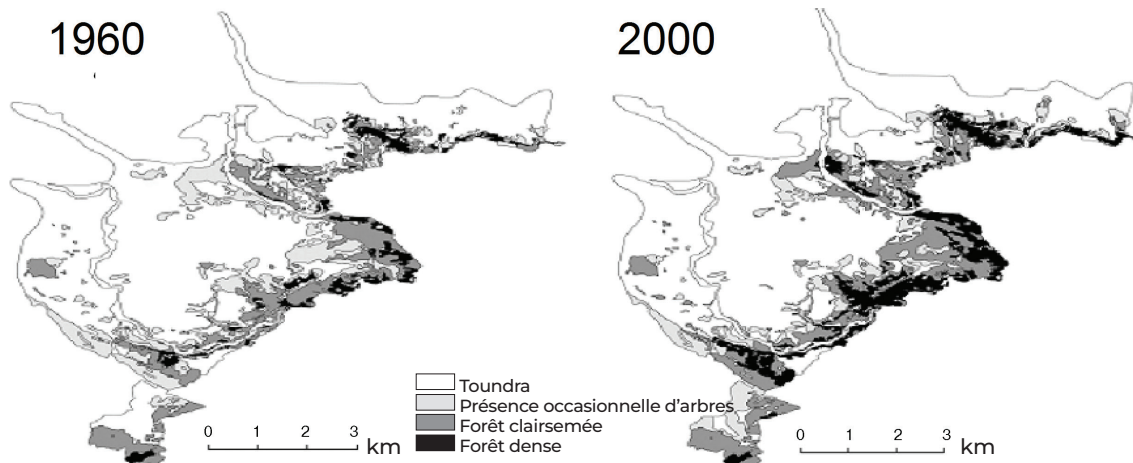
## Le changement climatique qui se produit à l'heure actuelle a-t-il un impact sur les forêts ?

Les forêts sont-elles affectées par le réchauffement climatique qui se produit actuellement ? Oui, elles le sont !

Le changement climatique aura des effets très variables sur les arbres et la composition des espèces d'arbres au sein des écosystèmes forestiers. Si le climat continue de changer, les arbres devront soit s'adapter aux nouvelles conditions, soit migrer vers des régions plus adaptées.

Les changements associés au réchauffement climatique sont particulièrement visibles à la limite nord des forêts boréales. Dans les régions polaires, les arbres et les arbustes montent de plus en plus haut sur les versants des montagnes, prenant progressivement la place de la toundra de montagne (Fig. 2.3.5). La limite supérieure des mélèzes occupant les versants montagneux de la partie polaire de l'Oural (Russie) s'est déplacée de 35 à 40 m vers le haut au cours des 80 ou 90 dernières années, et de 50 à 80 m dans certaines régions. Les arbustes poussent désormais 50 m plus haut (voire plus) sur les versants des monts Khibiny de la péninsule de Kola (Russie), et une croissance intensive des arbustes, notamment des saules, a été observée dans les zones de toundra scandinaves.

**Figure 2.3.5** Modification de la couverture végétale dans l'Oural polaire (Russie)



### La chaleur pousse les arbres à grimper sur les montagnes en Amérique du Sud

Les arbres et les arbustes des régions montagneuses d'Amérique du Sud fuient la chaleur insupportable des plaines en grimpant sur les versants des montagnes où l'air est plus frais, assurant ainsi leur survie. Dans les Andes, les arbres se déplacent chaque année de 2 ou 3,5 m de plus en moyenne vers le haut des montagnes. C'est un exploit pour des plantes qui ne peuvent se déplacer autrement qu'en se reproduisant. Mais, le changement climatique est si rapide dans les Andes que ces arbres n'ont d'autre choix que de migrer plus 6 m plus haut chaque année pour rester à une température confortable.

Sur les 38 espèces de plantes que les scientifiques surveillent, le genre *Schefflera* est celui qui migre le plus rapidement de tous : il monte environ 30 m plus haut chaque année. Le figuier a peu de chance de survivre dans ces régions, car il ne grimpe qu'à un rythme de 1,5 m par an.

Les modèles climatiques suggèrent que plus de 50 % des espèces de plantes tropicales pourraient disparaître.



La limite sud des forêts tempérées est également en train de se modifier. Les forêts de chênes disparaissent progressivement des steppes boisées et des zones de steppe, notamment en raison des sécheresses estivales. Dans la région entourant le lac Baïkal, en revanche, les forêts de pins progressent vers les écosystèmes de la steppe en raison de précipitations accrues. Par conséquent, la limite sud de la forêt se déplace en raison de la modification des taux d'humidité, et non en raison de la hausse des températures.

Les régions forestières russes occupées par des espèces particulières d'arbres se sont modifiées ces dernières décennies, et les scientifiques estiment que cela est principalement dû au réchauffement climatique. Par exemple, les forêts de chênes ont diminué dans les régions du sud, mais gagnent du terrain plus au nord, à la frontière entre les forêts de feuillus et la taïga du nord.

La forêt d'épicéas (Fig. 2.3.6) est en recul dans pratiquement toutes les régions de la Russie. Le système racinaire des épicéas est proche de la surface, ce qui rend cet arbre particulièrement sensible à l'augmentation de la fréquence et de la durée des sécheresses. Dans le même temps, de nombreuses régions de Russie constatent une augmentation de l'étendue des forêts de bouleaux. Ce phénomène est bien connu des spécialistes de la sylviculture : cela vient du fait qu'après un incendie ou la chute de conifères, bouleaux et autres espèces de feuillus apparaissent d'abord à leur place, et qu'un certain laps de temps est nécessaire avant que de nouveaux conifères apparaissent et commencent à remplacer les bouleaux, les trembles et les aulnes. Cependant, au cours des dernières décennies, cette dernière étape n'a pu voir le jour : les conifères semblent incapables de regagner le terrain laissé aux forêts de bouleaux.

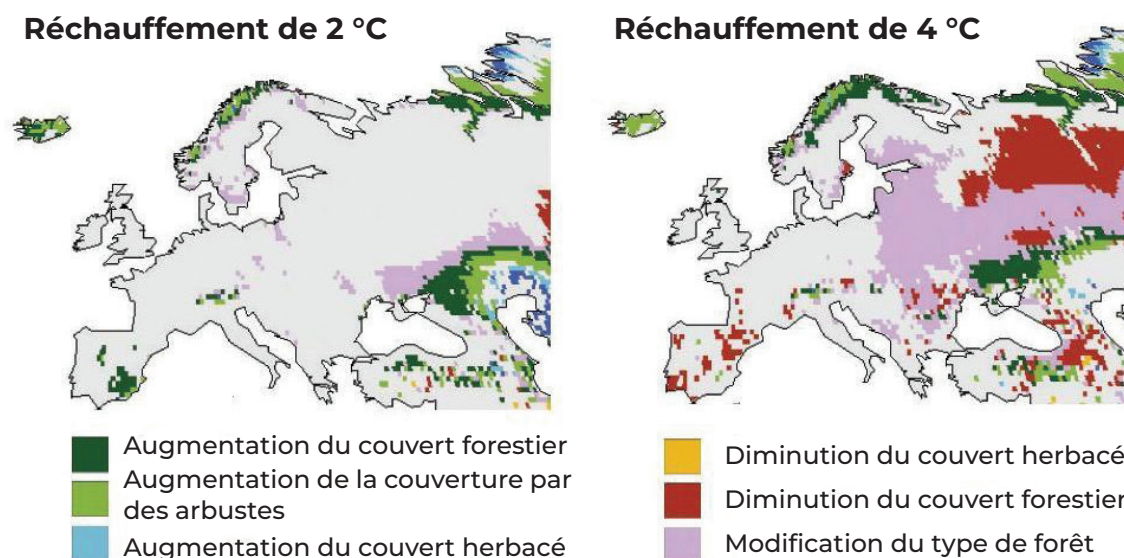
**Figure 2.3.6** Forêt d'épicéas



La plupart des prévisions avancent que les régions du nord de l'Eurasie et de l'Amérique du Nord seront davantage affectées par le réchauffement climatique que les autres forêts du monde, car les limites nord et sud de leur implantation se déplacent. Une augmentation des températures de 2 °C entraînera une augmentation de l'étendue du couvert forestier en Europe en raison de la progression de la taïga vers l'actuelle zone de toundra. Néanmoins, une augmentation des températures de 4 °C entraînera un recul de la limite sud de la forêt vers le nord, effet qui sera bien plus marqué que la progression vers le nord en direction de la toundra (Fig. 2.3.7).

Figure 2.3.7

As follows Changements prévus concernant le couvert forestier en Europe d'ici 2100, en supposant un réchauffement climatique de 2 °C et de 4 °C



La déforestation due au changement climatique aura une incidence sur la quasi-totalité de l'Europe de l'Est et de la Sibérie occidentale. Ces prévisions sont alarmantes et montrent à quel point la disparition des forêts pourrait être un problème sérieux si, dans le pire des scénarios, le réchauffement climatique se poursuivait.

### Destruction des forêts par les incendies, les parasites et les phénomènes météorologiques extrêmes

Autre menace majeure pour les forêts associée au changement climatique, les incendies de grande envergure et les attaques de parasites provoqués par les températures estivales élevées. La chaleur et d'autres phénomènes météorologiques extrêmes sont souvent directement responsables de la destruction des forêts.

Les incendies de forêts sont généralement provoqués accidentellement par l'homme. Mais ils ne peuvent se déclencher que dans certaines conditions, notamment lorsque le temps demeure chaud et sec pendant un certain nombre de jours ou de semaines. Le tapis forestier composé de feuilles mortes, d'aiguilles de pin, de petites branches, de mousse, de lichens et d'herbes poussant sous le couvert forestier s'assèche alors et prend facilement feu, permettant ainsi aux incendies de se répandre sur de vastes étendues. On appelle cela un feu de profondeur.

Lorsque l'incendie se propage aux forêts de conifères, il atteint souvent la cime des arbres. Les aiguilles de pin et les petites branches des sapins et des pins contiennent de grandes quantités de substance résineuse, par conséquent les arbres vivants prennent aisément feu. Le feu de cimes est plus dangereux et plus destructeur, et peut entraîner la destruction complète d'une forêt entière (Fig. 2.3.8).

Les incendies causent d'importants dommages aux forêts : un grand nombre d'arbres périssent, leur croissance est ralentie, la variété des arbres de la forêt s'appauvrit, et la propagation des insectes parasites est facilitée. Avec le changement climatique, le risque d'incendies de forêts augmente, car les températures plus élevées assèchent plus rapidement les matériaux ligneux. La saison chaude, durant laquelle les incendies se produisent, dure également plus longtemps.





Figure 2.3.8

**Incendie de forêt**

Les étés exceptionnellement chauds ayant sévi en 2010 et 2012 au centre de la Russie européenne a affaibli les conifères, qui étaient habitués à des conditions très différentes. Les arbres ainsi affaiblis constituent donc une proie facile pour les espèces d'insectes qui vivent sous leur écorce. Lorsque les températures et les niveaux d'humidité sont normaux, les populations de ces insectes sont contrôlées par d'autres espèces (insectes et oiseaux prédateurs). Toutefois, si la population de dendroctones devient trop importante, de vastes étendues de forêt pourraient périr ! Les arbres desséchés perdent d'abord leurs aiguilles, puis leur écorce. Divers champignons attaquant le bois s'attaquent aux racines, qui ne sont alors plus en mesure de supporter les arbres. Un vent fort peut alors abattre les arbres, les uns après les autres (Fig. 2.3.9). Les oiseaux d'abord, puis les écureuils, désertent la forêt dont ils ne peuvent plus recueillir les pommes de pin. Les martres migrent également ailleurs, à la recherche d'un meilleur endroit où chasser. Le tapis forestier de la forêt, composé de muguet et d'oxalis, qui fleurissent grâce à la protection contre la lumière directe du soleil offerte par les arbres, est remplacé par du calamagrostis, des framboisiers et des orties. En bref, l'aire de répartition des espèces est entièrement modifiée.

Tout n'est pas perdu : les espèces délogées peuvent revenir. Comme souvent après un grave incendie, une forêt d'épicéas se reconstituera intégralement au bout d'un ou deux siècles. Mais uniquement à condition que cette forêt soit demeurée intacte ailleurs, avec l'ensemble de ses habitants, et que les variations anormales de température ne se reproduisent plus.

Plus récemment, en septembre 2021, des incendies ont détruit plus de 18,16 millions d'hectares de forêt russe, établissant un record absolu depuis que le pays a commencé à surveiller les incendies de forêt à l'aide de satellites en 2001. Le précédent record avait été établi en 2012, lorsque les incendies couvraient 18,11 millions d'hectares de forêt.

D'autres phénomènes météorologiques extrêmes (vents violents et tornades) peuvent détruire les forêts au même titre que la sécheresse, en déracinant les arbres (Fig. 2.3.10).

Les fortes pluies peuvent également causer d'importants dommages en emportant le sol avec elles ou bien tuer les arbres du fait d'un engorgement trop prolongé du sol. Les fortes chutes de neige humide et la formation de glace à grande échelle contribuent également à endommager les arbres, les fortes averses de grêle endommagent l'écorce de leurs branches, ce qui affaiblit l'arbre et le conduit à se dessécher.

**Figure 2.3.9** Épicéa déraciné après la sécheresse de 2010



### Ouragan à Kostroma, Russie

En juin 2010, la région de Kostroma et les régions voisines, en Russie, ont été confrontées à des vents violents soufflant de 70 à 90 km/h. Des maisons et des immeubles ont été endommagés, des lignes électriques ont été arrachées, et des arbres déracinés ont provoqué des accidents dans les villes et les villages. Les plantations forestières de la région de Kostroma ont été lourdement endommagées (Fig. 2.3.10). Les chercheurs de l'Université d'État de Kostroma estiment que 21 000 hectares de forêt ont été détruits.

**Figure 2.3.10** Les conséquences des vents violents dans la région de Kostroma



L'histoire de la glaciation, les preuves et les prévisions scientifiques actuelles démontrent que les forêts et autres écosystèmes naturels sont capables de s'adapter à la plupart des bouleversements climatiques. Toutefois, cette adaptation est principalement liée à la migration, c'est-à-dire à la modification des limites des zones naturelles et des types de végétation. Durant les périodes de glaciation, les forêts n'ont survécu que sur des territoires relativement restreints, et de vastes étendues de l'Eurasie ont été recouvertes par la toundra et la steppe-toundra. Lorsque le climat s'est réchauffé, la forêt a regagné sa position de type de végétation dominant. Cependant, le réchauffement climatique actuel est beaucoup trop rapide, laissant présager une modification, non pas progressive mais dramatique, des types de végétation, qui entraînera un assèchement à grande échelle des zones forestières, avec un risque élevé d'incendies de forêt.

Il est donc très important de ne pas laisser le réchauffement climatique atteindre des extrêmes, et d'œuvrer à une stabilisation progressive du changement climatique sur la planète.



## Comment les forêts influencent-elles le climat ?

Nous savons désormais quels sont les effets du climat et du changement climatique sur les forêts. Mais la relation est à double sens : les forêts ont une influence sur le climat !

À titre d'exemple, les vertes forêts modifient la quantité de soleil réfléchi par la surface de la Terre, ce qui affecte la quantité de chaleur absorbée par la Terre. La différence de température entre les zones forestières et les zones dépourvues de forêt est particulièrement notable en hiver. Les rayons du soleil sont réfléchis par les plaines enneigées et dépourvues d'arbres, tandis que les espaces sombres des forêts boréales réfléchissent moins et absorbent davantage la lumière du soleil.

Les forêts aident à conserver l'humidité du sol et affectent son évaporation, rendant le climat régional plus doux et plus humide.

La couverture neigeuse se maintient plus longtemps en forêt, ce qui atténue les brusques changements de température qui surviennent au printemps, et réduit le risque de crue des fleuves.

Mais la raison pour laquelle les forêts sont particulièrement importantes pour le climat, c'est le cycle du carbone. Le dioxyde de carbone émis dans l'atmosphère par la combustion de combustibles fossiles est la principale cause du réchauffement climatique qui se produit à l'heure actuelle. Les forêts jouent un rôle essentiel en absorbant le dioxyde de carbone de l'atmosphère et en retenant le carbone sous la forme de diverses substances organiques.

Vous savez probablement que les plantes vertes absorbent le dioxyde de carbone et produisent de l'oxygène. Ce processus s'appelle la photosynthèse, et il est alimenté par l'énergie du soleil. Les forêts représentent une dense concentration de plantes vertes (arbres, arbustes et herbe) et sont généralement considérées comme vitales pour l'enrichissement en oxygène de l'atmosphère de notre planète. Les forêts sont souvent décrites, à la télévision et dans la presse, comme « les poumons verts de la planète ». L'absorption du dioxyde de carbone et l'émission d'oxygène sont les deux phases du processus unique de photosynthèse, vous pourriez donc être amené à penser que les forêts peuvent supprimer le dioxyde de carbone présent dans l'atmosphère. Mais cela n'est pas si simple. Pour bien comprendre le processus d'échange de dioxyde de carbone entre la forêt et l'atmosphère, nous devons d'abord comprendre comment la forêt emmagasine le carbone (élément qui s'unit à l'oxygène pour former le dioxyde de carbone). Toutes les substances organiques contiennent du carbone. Par exemple, près de la moitié du poids du bois mort est imputable au carbone.



## Qu'est-ce que le réservoir de carbone ?

Toute partie de l'écosystème contenant des quantités significatives de matière organique constitue une réserve de carbone. Les scientifiques qualifient ces réserves de « **réservoirs de carbone** ». Il existe quatre principaux réservoirs de carbone dans l'écosystème forestier : 1) la phytomasse ou biomasse (le poids des plantes vivantes) ; 2) le bois mort ; 3) la litière (feuilles et branches mortes sur le tapis forestier), 4) la matière organique du sol. Dans de nombreux pays il existe un réservoir beaucoup plus réduit, appelé produits du bois récoltés.

Le **réservoir de la phytomasse** est composé de plantes vivantes : les troncs, branches, racines, feuilles et aiguilles des arbres et des arbustes, les brins et racines d'herbe et la mousse (Fig. 2.3.11). En règle générale, les troncs d'arbres représentent la plus grande partie de la phytomasse, mais la mousse en constitue également une partie importante dans les forêts de pins marécageuses et les forêts boréales du Nord.

Le **réservoir de bois mort** est composé de racines et d'arbres morts. La mort des arbres de la forêt est appelée l'« attrition » et survient généralement naturellement lorsque les arbres en croissance rivalisent les uns avec les autres dans leur recherche du soleil. Les arbres les plus petits sont laissés dans l'ombre par les arbres plus grands et dépérissent progressivement car ils ne reçoivent pas suffisamment de lumière pour assurer leur processus de photosynthèse. C'est la raison pour laquelle les jeunes forêts sont beaucoup plus épaisses que les anciennes forêts. Néanmoins, l'attrition peut également survenir dans diverses autres situations : elle peut être provoquée par des incendies de forêt, des sécheresses, des attaques de parasites et par la pollution causée par l'homme. Dans les forêts affectées par un ou plusieurs de ces mécanismes, le réservoir de carbone du bois mort peut être supérieur au réservoir du bois vivant.

La **litière** est constituée de fragments relativement petits de matière organique se trouvant à la surface du sol (Fig. 2.3.13). Elle se compose principalement de feuilles mortes et d'aiguilles de pin, de brindilles sèches, de pétales de fleurs, de pommes de pin et d'autres fragments tombés de plantes vivantes. Dans les forêts caducifoliées, le réapprovisionnement du **réservoir de la litière** est plus soutenu à l'automne, durant la chute des feuilles, tandis que dans les forêts boréales, celui-ci intervient de manière plus uniforme au fil des saisons.

Figure 2.3.11

Le bois des troncs d'arbres est la plus importante composante du réservoir de carbone de la phytomasse



Figure 2.3.12

Les arbres morts font partie du réservoir de carbone du bois mort



Figure 2.3.13

Le réservoir de carbone de la litière grossit à l'automne, avec la chute des feuilles



**Le réservoir du sol** de la forêt renferme des quantités significatives de carbone. Le sol est composé d'un mélange de minéraux et de matière organique, principalement de l'« **humus** », qui est une substance sombre créée par la décomposition progressive des résidus végétaux (litière, bois mort et racines mortes). Le carbone représente 58 % de la composition de l'humus, ce qui est une proportion plus élevée que dans la phytomasse. Plus le sol est foncé, plus il contient de carbone (Fig. 2.3.14).

Le carbone stocké dans les produits ligneux est souvent appelé **réservoir de carbone des produits ligneux récoltés**. Certains produits du bois, tels que les meubles en bois de haute qualité et les bâtiments à ossature de bois, peuvent retenir le carbone plus longtemps que si l'arbre avait été laissé dans la forêt. Les produits du bois sont importants pour aider à stocker le carbone forestier existant, tandis que la récolte contribue à donner de l'espace aux arbres de remplacement.

Dans les forêts boréales, la phytomasse contient 21 % de la réserve de carbone, le bois mort 4 %, la litière 3 %, et 72 % se trouve dans le sol. Dans ces forêts, le carbone est donc concentré dans le sol.

Ces proportions sont très différentes dans les forêts tropicales, où la matière organique vivante et morte compte 50 % de carbone.

Pourquoi une telle différence ? Dans les forêts boréales, la plupart des plantes mortes se décomposent sous l'effet des champignons et des bactéries, un processus relativement lent. Il faut plusieurs décennies pour que les troncs des arbres morts de grande taille disparaissent. Ainsi, les forêts accumulent de grandes quantités de matière organique morte (bois mort, litière et humus du sol). Dans les forêts tropicales, une grande partie de la litière et du bois mort est consommée par les animaux, notamment les termites. Cela accélère la vitesse de décomposition et réduit la contribution de la matière organique morte à la quantité totale de carbone présente dans l'écosystème.

Figure 2.3.14

**Si le sol est foncé, il contient une grande quantité de carbone**





## Budget carbone

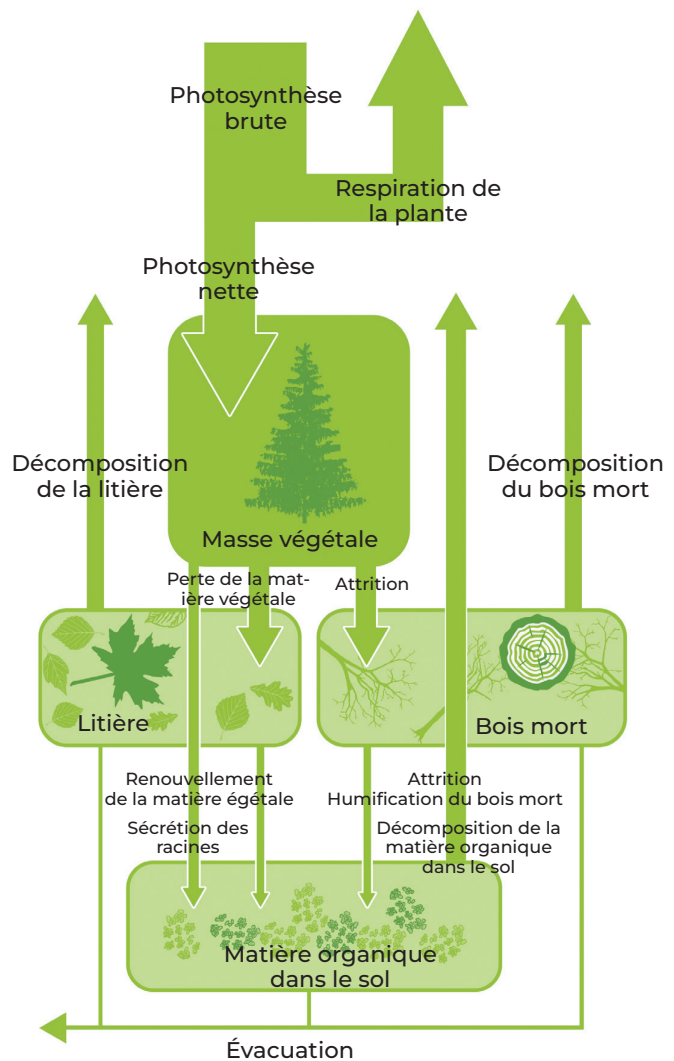
Maintenant que nous savons tout au sujet des réservoirs de carbone présents dans l'écosystème de la forêt, voyons de quelle façon ces réservoirs sont reliés entre eux, ainsi qu'à l'atmosphère (Fig. 2.3.15). Les scientifiques appellent ce système de connexions le « **budget carbone** », car celui-ci est semblable au budget financier d'un pays, d'une société ou d'une famille, où les entrées (revenus) doivent être comparées aux sorties (dépenses).

Le seul « élément de revenu » dans l'écosystème forestier est la photosynthèse. Le résultat de la photosynthèse crée une substance organique. Les premiers consommateurs de cette substance sont les plantes elles-mêmes : près de la moitié de la substance créée par la photosynthèse est utilisée par les plantes lorsqu'elles respirent, renvoyant ainsi le carbone de la substance dans l'atmosphère. Le reste de la substance est appelé la « photosynthèse nette » : elle réapprovisionne le réservoir de la phytomasse.

Les divers organismes vivants peuplant une forêt consomment la matière vivante des plantes : chenilles et autres insectes se nourrissant des feuilles des arbres ; oiseaux et rongeurs récupérant les fruits et les semences, et ongulés mangeant l'herbe et les jeunes branches.

Figure 2.3.15

### Le budget carbone d'un écosystème forestier



Dans la taïga et dans les forêts tempérées, une grande partie de la vie végétale meurt naturellement (quand une plante dépérit et meurt complètement ou lorsqu'elle perd ses feuilles et ses brindilles) et est ensuite consommée par les champignons et les bactéries (Fig. 2.3.16). Cela réapprovisionne les réservoirs de carbone du bois mort et de la litière.

Lorsque les champignons et les bactéries respirent, **l'humification carbonée** des sécrétions de la litière produites par les racines de la matière organique se lie à l'oxygène et retourne dans l'atmosphère sous forme de dioxyde de carbone. Cela intervient lorsque le bois mort et la litière se décomposent. Une part infime de ces réservoirs est transformée en humus et vient réapprovisionner le réservoir de carbone du sol (on parle d'humification). Le carbone pénètre également dans le sol par l'intermédiaire des plantes vivantes, sous forme de substances organiques sécrétées par les racines.

La matière organique du sol est également décomposée par les champignons et les bactéries, et donne donc lieu à un rejet de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Une partie du carbone est évacuée de l'écosystème par les eaux souterraines et de surface : vous avez certainement déjà vu les feuilles d'automne être emportées par les ruisseaux des forêts.

Les forêts composées d'arbres matures et anciens absorbent autant de dioxyde de carbone de l'atmosphère qu'elles en rejettent. Les réservoirs de carbone de ces forêts demeurent constants. Ils sont tels des piscines : plein à ras bord et incapables de contenir plus d'eau, sauf qu'ils sont pleins à ras bord de carbone et non pas d'eau. Cela ne signifie pas pour autant que les forêts matures ne jouent pas de rôle dans la régulation de la composition gazeuse de l'atmosphère. Le fait est qu'elles n'absorbent plus activement le carbone, et sont plutôt devenues les gardiennes du carbone « stocké », à savoir du carbone qui ne contribue plus à l'effet de serre.

Le budget carbone des jeunes forêts en pleine croissance est différent de celui des forêts matures. Les jeunes forêts accumulent du carbone, en l'éliminant de l'atmosphère. Ce carbone s'accumule dans des réservoirs. Par conséquent, seules les jeunes forêts méritent leur nom de « poumons verts » de la planète.

Figure 2.3.16

**L'amadouvier décompose le bois mort et renvoie le carbone dans l'atmosphère**



## Différences dans l'incidence qu'ont les forêts sur l'atmosphère

Comme nous l'avons vu, les forêts jeunes et anciennes fonctionnent différemment : les jeunes forêts en pleine croissance absorbent le dioxyde de carbone de l'atmosphère et peuvent ainsi partiellement compenser les émissions de ce gaz résultant de la combustion de charbon, de gaz et de pétrole. Les forêts matures stockent de grandes quantités de carbone sous forme liée, empêchant ainsi la formation de dioxyde de carbone susceptible de contribuer à l'effet de serre. Par conséquent, si nous souhaitons utiliser la forêt comme moyen de lutter contre le changement climatique, il nous faut : 1) planter de nouvelles forêts, là où aucune autre forêt n'existait auparavant ; 2) prendre bien soin des forêts existantes.

Les pays développés (États-Unis, pays de l'Union européenne, Russie et autres) comptent beaucoup de jeunes forêts, qui absorbent le dioxyde de carbone de l'atmosphère. L'économie de ces pays étant déjà complètement formée, les forêts n'y sont plus détruites pour les besoins industriels de l'homme. Ces dernières décennies, de nombreux pays (USA, Canada, pays de l'Union européenne et autres) encouragent également les propriétaires terriens à planter de nouvelles forêts.

Étant donné que les forêts boréales et tempérées grandissent et absorbent du carbone depuis de nombreuses décennies, voire parfois depuis plusieurs centaines d'années, le carbone s'accumule désormais grâce au renouvellement de la forêt dans de nombreux endroits où le couvert forestier avait été fortement réduit durant l'industrialisation du siècle dernier. La reconstitution de la forêt de pins le long de la côte pacifique du Canada en est un exemple probant.

Au début du XX<sup>e</sup> siècle, ce territoire était recouvert d'immenses forêts de sapins de Douglas et de cèdres rouges, dont certains s'élevaient à 80 ou 90 m. Au milieu du XX<sup>e</sup> siècle, ces forêts ont été abattues, toutefois on peut encore observer les immenses souches des arbres ainsi abattus, de plus de 2 m de diamètre. Depuis, des lois environnementales strictes ont été adoptées au Canada ont permis la reconstitution de forêts dans d'anciennes zones d'exploitation forestière.

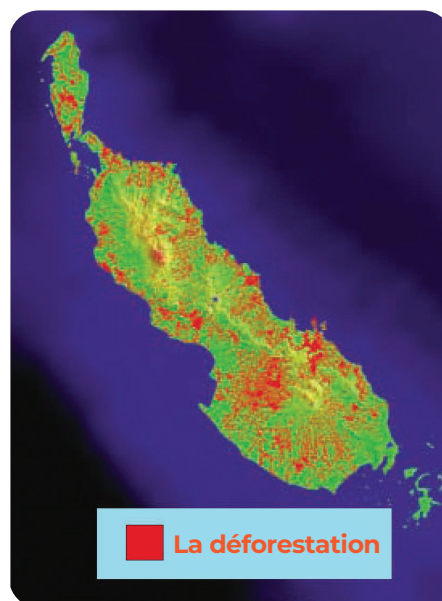
Figure 2.3.17

Cette énorme souche d'arbre dans la forêt de l'Ouest canadien (Colombie-Britannique) témoigne de l'exploitation intensive des arbres au cours de la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle



Figure 2.3.18

Réduction du couvert forestier sur l'île de Bougainville (Papouasie-Nouvelle-Guinée), 1972-2002





La situation est bien différente dans les pays en développement, notamment en Amérique du Sud, en Asie du Sud-Est et en Océanie. La population et l'économie de ces pays est en plein essor, ce qui augmente le besoin de terres pour l'agriculture, l'industrie, les villes et les villages, et les routes. Ces terres proviennent principalement de la destruction de forêts tropicales, et aucune nouvelle forêt n'est plantée pour absorber le dioxyde de carbone. Une photo prise dans la partie tropicale de l'Argentine (Fig. 2.3.19) montre le début de la déforestation. Ce territoire forestier appartenait auparavant à l'armée, mais a été cédé au gouvernement local au début des années 2000. Le gouvernement local a donné l'autorisation d'exploiter le terrain à des fins agricoles, et les arbres ont commencé à être abattus.

La déforestation se produit très rapidement dans certaines régions tropicales. La déforestation en Papouasie-Nouvelle-Guinée est étendue et se produit à un rythme de 1,4 % de la forêt tropicale humide perdue chaque année. L'exploitation forestière illégale est la principale cause de la déforestation, contribuant à 70 à 80 % de toutes les exportations de bois. Entre 1972 et 2002, le pays a perdu plus de cinq millions d'hectares de forêts, derrière le Brésil et l'Indonésie parmi les pays tropicaux (Fig. 2.3.18). En conséquence, les émissions de gaz à effet de serre dues à la déforestation en Papouasie-Nouvelle-Guinée ont plus que doublé au cours de cette période de 30 ans. Grâce aux efforts de conservation de la forêt tropicale, le rythme de la déforestation a récemment ralenti pour atteindre une moyenne de 0,5 % par an.

Environ 10 % du dioxyde de carbone actuellement émis dans l'atmosphère par les activités humaines résultent de la destruction de la forêt tropicale.

Le programme des Nations Unies, Réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation des forêts (REDD+), est une étape vers un système mondial visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre causées par la déforestation dans les pays en développement. Des projets internationaux bilatéraux visant à préserver les forêts tropicales sont mis en place (un accord entre le Brésil et la Norvège, et l'Australie et l'Indonésie, par exemple). Certains pays en développement, comme la Chine, l'Inde et le Costa Rica, disposent de leurs propres programmes d'augmentation de la superficie de leurs forêts. Malgré tout, la rapide libération des stocks de carbone découlant de la destruction des forêts tropicales demeure fort préoccupante.

**Figure 2.3.19**

**Un ancien territoire forestier en Argentine (province d'Iguazu).**



## La disparition des forêts tropicales

Les forêts tropicales figurent parmi les écosystèmes les plus importants de la planète. Leur écosystème est le plus riche au monde en termes de diversité des espèces. Les forêts tropicales sont une source de bois, de nourriture et de matières premières pour les médicaments. Elles jouent également un rôle très important dans la régulation du climat de la Terre. La disparition des forêts tropicales entraîne la disparition de la couche fertile du sol, la disparition de la biodiversité et une rupture de l'équilibre écologique sur de vastes étendues.

Malgré tous les efforts déployés jusqu'à ce jour, les forêts tropicales continuent de disparaître à un rythme très rapide, notamment en Amérique du Sud et en Afrique. Les pertes enregistrées de 2005 à 2010 ont été d'environ 3,6 millions d'hectares en Amérique du Sud et de 3,4 millions d'hectares en Afrique. Aujourd'hui, les forêts tropicales ne couvrent que 5 % de la surface de la Terre, contre 12 % cent ans auparavant. Une parcelle de forêt plus large que la totalité de l'Angleterre (130 000 km<sup>2</sup>) est abattue ou brûlée chaque année.

Fait encourageant, la déforestation a diminué et la couverture forestière nette a augmenté depuis 2010. Les initiatives gouvernementales et les moratoires internationaux ont réussi à réduire la déforestation en Amazonie entre 2004 et 2015, tandis que la repousse des forêts s'est produite en Europe, en Eurasie et en Amérique du Nord. Mais maintenir les taux de déforestation à un faible niveau est un défi, compte tenu de l'augmentation des taux de déforestation au cours des quatre dernières années en Amazonie et ailleurs.

L'une des principales causes de la déforestation est la transformation de la forêt en terres agricoles afin de nourrir une population mondiale croissante. Les forêts tropicales sont souvent remplacées par des plantations de caféiers, cocotiers ou hévéas. Les exploitations minières non contrôlées représentent également une menace pour les forêts tropicales d'Amérique du Sud. Ce sont toutes les principales causes de la perte des forêts tropicales, détruisant certains des endroits les plus riches en biodiversité de la planète, abritant des espèces telles que des jaguars, des paresseux, des orangs outans, des toucans et des lémuriers. Une telle déforestation pourrait être irréversible. Si la déforestation se limitait à une petite superficie, la forêt pourrait alors se re-développer dans cette zone après quelques années, mais si de larges pans de forêt sont abattus, celle-ci pourrait ne jamais réapparaître : les fortes pluies emporteraient les nutriments essentiels du sol et le soleil brûlerait la couche supérieure du sol, de sorte que seules des mauvaises herbes pourraient y pousser..



Que peut-on faire pour sauver les forêts ? Tout d'abord, les pays pauvres bénéficiant d'importantes zones de forêt tropicale (essentiellement le Pérou, l'Équateur et l'Indonésie) doivent être encouragés à mener d'autres activités économiques, qui n'impliquent pas la destruction de la forêt. Sinon, la destruction des arbres se poursuivra à des fins d'exploitation minière et de production alimentaire.

Les incitations économiques et les réglementations peuvent contribuer à réduire la déforestation et à prévenir la perte des forêts. Le Brésil a connu un succès considérable dans la réduction de la déforestation en Amazonie à la fin des années 2000 et au début des années 2010. Les lois environnementales, un nouveau code forestier, une meilleure surveillance de l'exploitation forestière illégale sur brûlis et un moratoire sur le soja en Amazonie ont été à l'origine de cette chute. Cependant, depuis lors, la déforestation a fortement augmenté dans la plus grande forêt tropicale du monde en raison du manque d'application des lois. De même, le récent succès de l'Indonésie dans le ralentissement de la déforestation grâce à un moratoire sur l'expansion de l'huile de palme est fragile pour les mêmes raisons : les incitations économiques au défrichement des forêts n'ont pas changé.

## Comment gérer le bilan carbone des forêts et aider les forêts à s'adapter au changement climatique

Le bilan carbone des forêts dépend de plusieurs facteurs, dont les plus importants sont l'impact de l'homme, les catastrophes naturelles (incendies de forêts, attaques de parasites, etc.) et le changement climatique. Le bilan carbone des forêts peut être géré : si la déforestation à des fins d'exploitation et autre est réduite, les forêts absorberont davantage de carbone atmosphérique.

Un tel projet a été lancé dans l'Extrême-Orient de la Russie, dont l'objectif est de mettre fin à l'exploitation forestière à grande échelle dans les forêts de cèdres et de feuillus du bassin du fleuve Bikin, où seuls les habitants locaux seront autorisés à couper du bois (Fig. 2.3.20). Le projet encourage les résidents locaux à développer des formes traditionnelles de gestion forestière : collecte des pignons de pin, baies, champignons, fougères et herbes.

Il est également essentiel de réduire les dommages causés par les incendies de forêts, dont la plupart sont provoqués par des personnes oubliant d'éteindre des barbecues sauvages, jetant leurs mégots de cigarette sur la litière sèche ou le lichen, mettant le feu de l'herbe sèche (Fig. 2.3.21), autant d'actions pouvant être considérées comme « imprudentes avec le feu ». Nous avons tous été avertis de la nécessité de « protéger la forêt des incendies », mais cet avertissement revêt un nouveau caractère d'urgence face au changement climatique. Si vous parvenez à convaincre vos amis de ne pas brûler les herbes sèches ou de ne pas mettre le feu à des substances pelucheuses en été, et à éteindre soigneusement le feu de camp après une sortie familiale en forêt, vous saurez fait votre part pour lutter contre le changement climatique !



Figure 2.3.20

**Forêt de cèdres et de feuillus  
dans le bassin du fleuve Bikin**



Figure 2.3.21

**Brûlage d'herbe sèche,  
allumé par l'homme**



En général, les scientifiques font la distinction entre l'adaptation se référant aux forêts naturelles et celle aux forêts aménagées. L'adaptation des forêts naturelles comprend des mesures de conservation, de protection et de restauration. Dans les forêts gérées, les options d'adaptation comprennent la gestion durable des forêts, la diversification et l'ajustement de la composition des espèces d'arbres pour renforcer la résistance, et la gestion des risques accrus liés aux ravageurs, aux maladies et aux incendies de forêt. La gestion forestière est une stratégie populaire pour faire face à la sécheresse, réduire les risques d'incendie et préserver la biodiversité des paysages et les emplois ruraux. La restauration des forêts naturelles et des tourbières asséchées et l'amélioration de la durabilité des forêts gérées renforcent la résistance des stocks et des puits de carbone.

L'AR6 du GIEC note que les stratégies d'adaptation réussies pour les forêts d'Europe et de Russie incluent la modification de la composition des espèces d'arbres pour améliorer la résistance des forêts. La diversification des espèces d'arbres et l'augmentation des zones de conservation réduisent la vulnérabilité aux ravageurs et aux agents pathogènes, renforcent la résistance aux perturbations naturelles et peuvent augmenter la séquestration du carbone, la biodiversité et la qualité de l'eau. Les approches de gestion active peuvent limiter l'impact des incendies sur la productivité forestière. Il s'agit notamment du reboisement, de la gestion de la réduction des combustibles, du brûlage dirigé, du passage des conifères aux espèces de feuillus moins inflammables, de la recréation de forêts mixtes et de l'agroforesterie.



# QUESTIONS

1

Qu'est-ce que la taïga ou forêt boréale ?

\_\_\_\_\_

2

Quelles sont les espèces d'arbres dominantes dans la taïga de Sibérie orientale et pourquoi dominent-elles ?

\_\_\_\_\_

3

Comment la limite de la toundra forestière s'est-elle déplacée durant les dernières décennies et pourquoi ?

\_\_\_\_\_

4

Si les températures augmentent de 4 °C avant la fin de ce siècle, comment cela affectera-t-il les forêts ?

\_\_\_\_\_

5

Quel est l'impact des activités humaines sur les forêts ?

\_\_\_\_\_

6

Quels sont les principaux réservoirs de carbone présents dans l'écosystème forestier ?

\_\_\_\_\_

7

Les plantes respirent-elles ?

\_\_\_\_\_

8

Quels sont les organismes qui assurent la décomposition des résidus végétaux ?

\_\_\_\_\_

9

Les forêts matures et anciennes peuvent-elles absorber l'excédent de dioxyde de carbone de l'atmosphère ?

\_\_\_\_\_

10

Pourquoi les forêts tropicales perdent-elles leurs réserves de carbone ?

\_\_\_\_\_

11

Quels types de mesures d'adaptation au climat, mentionnées dans ce chapitre et dans d'autres, sont recommandées pour faire face aux impacts climatiques sur les forêts européennes et russes ?





# EXERCICES



1

## Expérience

**Objectif :** Identifier les arbres et les arbustes les plus sensibles au réchauffement climatique.

**Matériel :** branches d'arbres (avant l'apparition des feuilles), vases contenant de l'eau.

**L'expérience :** L'expérience est à réaliser quelques semaines avant la fonte habituelle de la neige dans votre région. Coupez les branches de plusieurs arbres et arbustes (bouleau, orme, saule, peuplier, érable) dehors. Mettez les branches dans un vase rempli d'eau, et observez-les régulièrement. Notez de quelle manière les bourgeons évoluent, le moment où ils s'ouvrent et la manière dont la feuille pousse. Observez également de quelle manière se développent les bourgeons sur les arbres dehors. Une fois que les feuilles sont apparues sur les arbres dehors, tracez un graphique pour déterminer la croissance des bourgeons et des feuilles à l'intérieur et à l'extérieur. Vous découvrirez alors quelles sont les trois espèces les plus sensibles à un environnement plus chaud (lesquelles réagissent plus vite à la chaleur).

2

## Expérience

**Objectif :** Déterminer quelles sont les trois espèces qui contiennent le plus de carbone dans leur bois.

**Matériel :** Morceaux de différents types de bois (chêne, épicéa, bouleau, tremble et autres), une règle, une balance.

**L'expérience :** Mesurez chaque morceau de bois pour calculer son volume (multipliez la longueur par la largeur par la hauteur) et pesez-le. Divisez le poids de chaque morceau par son volume afin de déterminer combien de grammes pèse un morceau de bois dont les côtés font 1 cm. Divisez le résultat par 2 et vous obtiendrez le poids du carbone contenu dans le morceau de bois. Discutez des résultats et décidez laquelle des trois espèces possède le plus gros réservoir de carbone. Vous pourrez ensuite déterminer quelle espèce planter pour réduire l'effet de serre.



## 3

**Expérience**

**Objectif :** Comparer la quantité d'oxygène et de dioxyde de carbone émise par les plantes à la lumière et dans l'obscurité.

**Matériel :** Deux gros récipients en verre munis de couvercles étanches et contenant de l'eau (environ un tiers du volume de chaque récipient), des boutures de plantes à larges feuilles, une bûchette, des allumettes.

**L'expérience :** Placez une bouture de plante dans chaque pot et fermez-le. Mettez un récipient à un endroit chaud et lumineux, et couvrez l'autre avec un linge filtrant la lumière. Au bout de 1 ou 2 jours, mettez le feu à une bûchette et utilisez-la afin de déterminer dans lequel des récipients la flamme brûle davantage : faites-le immédiatement après avoir retiré le couvercle et jusqu'à ce que le gaz à l'intérieur du récipient se soit dissipé. Notez l'éclat lumineux de la flamme sur la bûchette lorsque vous l'avez mise dans le récipient « lumineux » immédiatement après avoir retiré le couvercle, et notez comme la flamme s'est atténuée lorsque vous l'avez mise dans le récipient « obscure ». La conclusion est que la plante produit plus d'oxygène que de dioxyde de carbone lorsqu'elle est exposée à la lumière, mais plus de dioxyde de carbone que d'oxygène lorsqu'elle se trouve dans l'obscurité.



## 2.4

## Les effets du changement climatique sur les ressources en eau

## L'eau dans le milieu naturel

L'eau occupe une place particulière parmi le grand nombre de composés chimiques que l'on peut trouver sur notre planète. Elle coule du robinet, nous la faisons bouillir et elle remplit les rivières, les lacs, les mers et les océans.



L'eau peut exister sous diverses formes : solide, liquide et gazeuse. Lorsque la température de l'air est inférieure à 0 °C, l'eau gèle, passe à l'état solide et devient de la glace. L'eau coule du robinet sous forme liquide, tandis que le jet de vapeur qui sort de la bouilloire est de l'eau sous forme gazeuse. D'ailleurs, l'eau présente dans les nuages que nous voyons dans le ciel revêt très souvent trois formes à la fois, c'est ce qui détermine les différentes formes que peuvent prendre les nuages.

Figure 2.4.1

Nuages noctulescents en Suède

Les **nuages noctulescents** sont un type de formation atmosphérique particulièrement beau. Ils se trouvent à une altitude de 76 à 85 km au-dessus de la terre et ne sont formés que de cristaux de glace, ce qui détermine leur apparence fantastique. Les nuages noctulescents ne peuvent être observés que la nuit aux latitudes polaires, lorsqu'ils sont éclairés par le soleil, qui a déjà disparu derrière l'horizon.

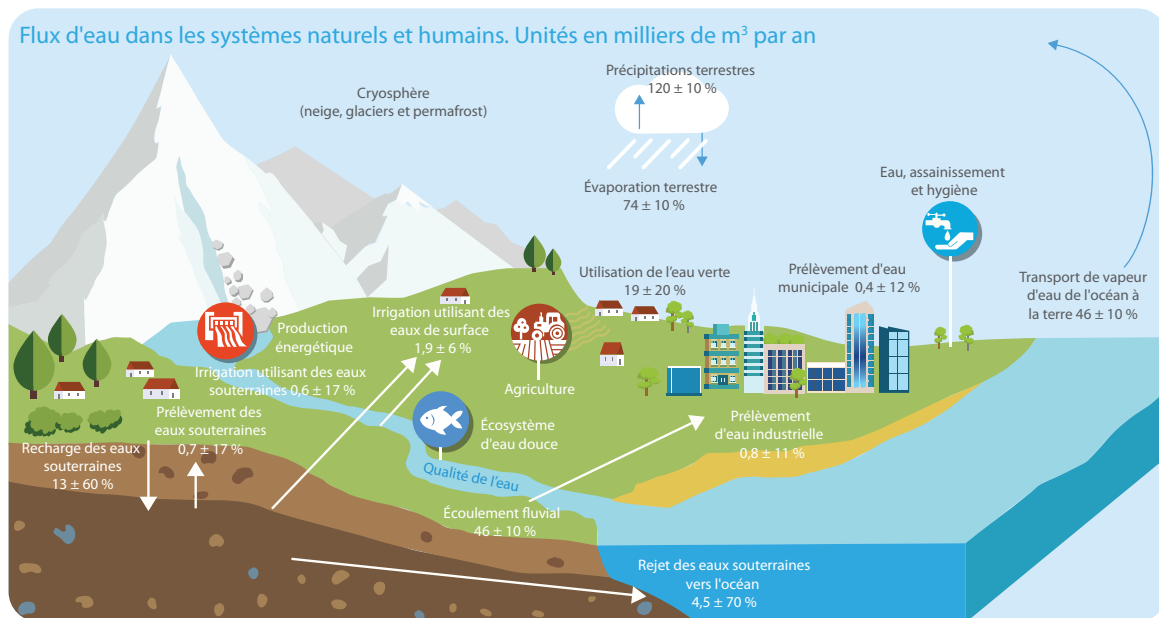


La science qui permet d'étudier l'eau s'appelle **l'hydrologie**. On estime que les premières études hydrologiques ont été menées il y a 5 000 ans par les anciens Égyptiens sur le Nil : ils mesuraient la hauteur des inondations saisonnières en faisant des marques sur les murs des bâtiments, les rochers ou les marches situés le long du fleuve.

Sans eau sur notre planète, il n'y aurait pas de vie : nombres de plantes et d'animaux sont composés en grande partie d'eau. À titre d'exemple, le corps humain contient en moyenne 60 % d'eau. Cette proportion dépend de l'âge : le corps d'un nouveau-né contient 86 % d'eau, mais celui d'une personne âgée n'en contient que 50 %. Il est extrêmement important de boire suffisamment d'eau. Une personne peut vivre sans nourriture pendant environ un mois, mais ne peut survivre que 3 à 10 jours sans eau.

L'eau sur Terre prend de nombreuses formes qui sont en mouvement constant et qui constituent le cycle de l'eau. Le cycle de l'eau (Fig. 2.4.2) est le processus par lequel l'eau circule entre les océans, l'atmosphère et les terres de la Terre, comprenant les précipitations sous forme de pluie et de neige, le drainage dans les ruisseaux et les rivières et le retour dans l'atmosphère par évaporation et transpiration. Le cycle de l'eau est affecté par des facteurs à la fois climatiques et non climatiques.

**Figure 2.4.2** Le cycle de l'eau, comprenant les interventions humaines directes





Toutes les parties du cycle de l'eau sur Terre qui sont utilisées ou pourraient être utilisées par les êtres humains sont appelées « ressources en eau ». Elles comprennent toute l'eau des rivières, des lacs, des canaux, des réservoirs, des mers et des océans, les eaux souterraines, l'humidité du sol, l'eau gelée (glace) des glaciers de montagne et des calottes glaciaires polaires, et même la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère.

Plus de 97 % de l'ensemble de l'eau de la planète se trouve dans les océans et les mers. L'eau de l'océan est salée et n'est pas potable. L'eau douce des rivières, des lacs, des cours d'eau et autres étendues d'eau de surface représente moins de 1 % du volume total d'eau de la planète. Cela peut sembler peu, mais il existe une autre vaste réserve d'eau douce : les glaciers et les calottes glacières de l'Antarctique et du Groenland. Ils représentent 2 % du volume total d'eau de la Terre, soit près de 8 fois plus que le volume total d'eau des lacs et des rivières combinés.

La protection des réserves d'eau douce de la planète est l'un des principaux problèmes environnementaux auxquels nous sommes confrontés à ce jour : sans ces réserves, l'homme ne peut survivre !

Le changement climatique et la demande croissante de nourriture et d'assainissement de la part d'une population mondiale croissante ont créé des pénuries d'eau dans de nombreux pays. Depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle, la population mondiale est passée de 1,6 à plus de 8 milliards de personnes. Dans la plupart des pays, l'utilisation d'eau a augmenté au cours des dernières décennies en raison de la croissance démographique rapide, des changements de modes de vie et du développement de la production agricole. Environ 70 % du volume total d'eau douce utilisée par l'homme est destiné à l'arrosage des champs de culture. Les experts de l'ONU estiment que d'ici 2050, près de 90 % des ressources mondiales en eau douce seront nécessaires à la production alimentaire.



Les experts de l'ONU ont également signalé la répartition inégale de l'eau potable à travers les continents : l'Asie héberge 60 % de la population mondiale, mais ne dispose que d'un tiers des ressources mondiales en eau. Selon l'Organisation mondiale de la Santé, en 2020, environ une personne sur quatre ne disposait pas d'eau potable gérée en toute sécurité dans son foyer et près de la moitié de la population mondiale ne disposait pas d'installations sanitaires gérées en toute sécurité, la plupart en Afrique.

L'objectif 6 des objectifs de développement durable des Nations Unies adoptés en septembre 2015 porte sur l'eau potable et l'assainissement, l'un de ses objectifs visant à parvenir à « un accès universel et équitable à une eau potable salubre et abordable pour tous » d'ici 2030.

## Quels sont les effets du changement climatique sur les ressources en eau ?

Toutes les sources d'eau douce de la Terre (rivières, lacs, marais, neige, glaciers, eau souterraine) sont étroitement liées au climat. Dans une certaine mesure, elles sont toutes le produit du climat, même si, bien sûr, elles dépendent toutes de différents composants du milieu naturel.

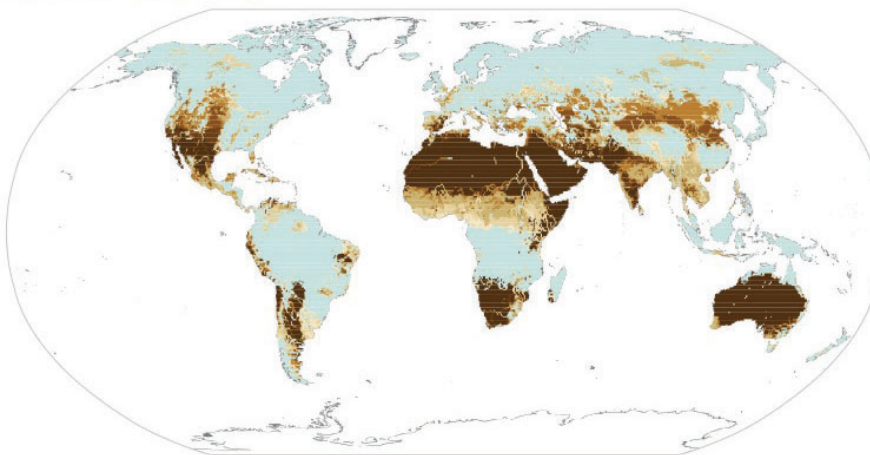
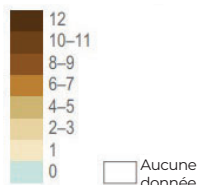
Nous savons déjà que le réchauffement climatique entraînera probablement, dans de nombreuses parties du monde, une augmentation de la fréquence des fortes précipitations, ce qui causera de graves inondations. Dans d'autres régions, au contraire, les précipitations devraient diminuer, laissant la place à des sécheresses plus fréquentes. Malheureusement, les régions bénéficiant d'un climat déjà trop humide gagneront encore davantage en humidité, et les régions sèches, notamment les régions situées au centre des continents, subiront davantage les effets de la sécheresse.

Les scientifiques notent que le changement climatique affectera considérablement les ressources en eau, entraînant des pénuries d'eau dans les régions arides du monde, notamment les pays méditerranéens, l'ouest des États-Unis, l'Afrique australe et le nord-est du Brésil. Ils définissent l'inadéquation entre la demande d'eau douce et sa disponibilité comme une pénurie d'eau. On estime qu'environ la moitié de la population mondiale, soit quatre milliards de personnes, vit dans des conditions de grave pénurie d'eau au moins un mois par an (Fig. 2.4.3). Près de la moitié d'entre eux vivent en Inde et en Chine. Même si les régions où l'eau est très rare sont déjà naturellement sèches, l'influence humaine sur le climat réduit la disponibilité de l'eau dans ces régions et dans de nombreuses autres régions. Avec un réchauffement de 2 °C, à l'échelle mondiale, 800 millions à trois milliards de personnes devraient connaître une pénurie chronique d'eau en raison de la sécheresse, et jusqu'à environ quatre milliards avec un réchauffement de 4 °C, si l'on considère les seuls effets du changement climatique, avec la population actuelle.

Figure 2.4.3

### Pénuries d'eau actuelles

Nombre de mois pendant lesquels la pénurie d'eau est > 100 %



Modification de la disponibilité des ressources en eau d'ici 2050 comparé à la moyenne enregistrée entre 1961 et 1990.

Le changement climatique aura également une incidence significative sur les glaciers et la couverture neigeuse. Les satellites météorologiques indiquent que la superficie des terres enneigées de l'hémisphère Nord a considérablement diminué au cours de ces 45 dernières années. La diminution la plus manifeste du manteau neigeux des régions montagneuses a été observée dans l'ouest de l'Amérique du Nord et dans les Alpes suisses, notamment à basse altitude

Figure 2.4.4

#### Satellite météorologique des États-Unis du service météorologique par satellite

Les satellites météorologiques artificiels sont envoyés en orbite autour de la Terre afin d'obtenir des données météorologiques, lesquelles peuvent être utilisées pour les prévisions météorologiques et l'observation du climat. Pour ce qui est des autres satellites, ceux-ci peuvent transmettre des signaux TV, faire fonctionner des systèmes de navigation pour véhicules, et bien plus.



La modification de la quantité et du cycle de précipitations, la fonte des glaciers de montagne et la hausse générale des températures sur la planète, tout cela entraîne une modification du volume d'eau des rivières. En règle générale, le débit fluvial varie selon les saisons, mais certaines tendances s'inscrivent sur le long terme qui sont touchés actuellement par le changement climatique. Il pourrait en résulter des inondations importantes qui inonderont les villages situés le long des cours d'eau ou, inversement, un assèchement du lit des rivières. Sous les latitudes tempérées, les rivières gèlent plus tard et dégèlent plus tôt. Ces changements sont à prendre en considération dans la planification économique, les rivières jouant un rôle important dans l'économie de nombreux pays. Elles constituent des voies de transport de marchandises et de passagers, sont sources d'énergie hydroélectrique et constituent des réservoirs d'eau douce pour la consommation humaine et pour l'irrigation

#### UN BASSIN DE DRAINAGE

est une zone où toutes les eaux souterraines et de surface s'écoulent vers un plan d'eau donné, y compris ses affluents.



Figure 2.4.5

**Le fleuve Amazone, en Amérique du Sud, possède la plus grande aire de drainage du monde, d'une superficie de 7 millions de km<sup>2</sup>**



Figure 2.4.6

**Le Nil est le plus long fleuve du monde**



Les pays qui disposent des plus importantes réserves d'eau douce au monde sont le Brésil (le plus grand fleuve du monde, l'Amazone, traverse son territoire), suivi de la Russie et du Canada. Cependant, la répartition des réserves d'eau douce dans le monde est extrêmement inégale. Environ 700 millions de personnes dans 43 pays sont, de nos jours, victimes de pénuries d'eau. Même dans les pays comme le Brésil ou la Russie, certaines régions ont déjà été confrontées à des pénuries (Fig. 2.4.9). Cette injustice de la nature ne fera que croître avec le temps en raison du changement climatique : les régions souffrant déjà de pénuries d'eau deviendront encore plus arides (Fig. 2.4.3 et 2.4.8).

Figure 2.4.7

**Le lac Baïkal est la plus grande réserve d'eau douce sur Terre**



Figure 2.4.8

Baisse prévue de l'approvisionnement en eau dans différents comtés des USA : (a) sans les effets du changement climatique, et (b) avec les effets projetés du changement climatique

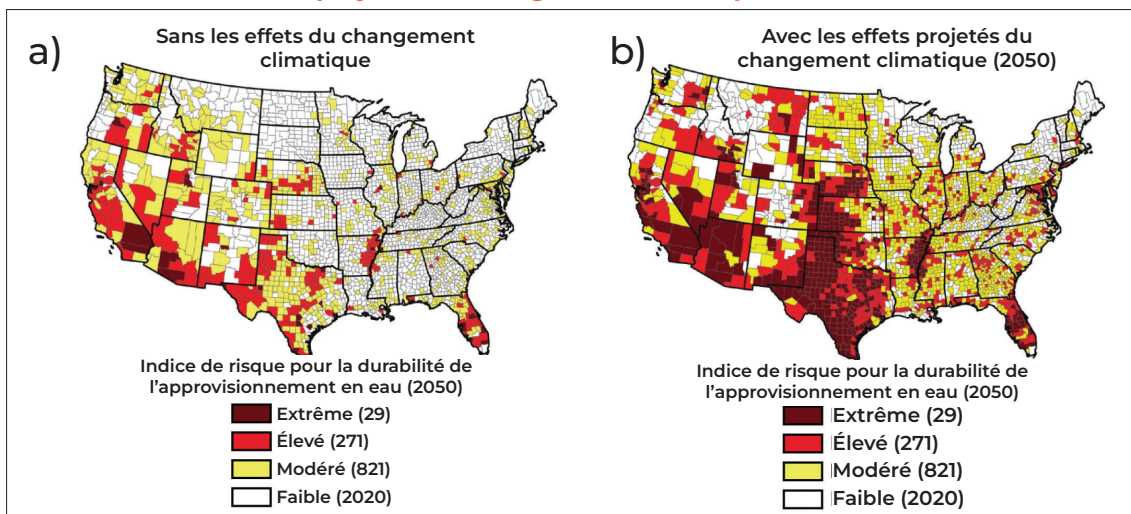


Figure 2.4.9

Les pénuries d'eau sont déjà un problème dans le sud de la Russie



### Comment réduire les risques et faciliter l'adaptation ?

Jusqu'à récemment, les personnes en charge de la gestion des ressources en eau n'avaient pas conscience que le changement climatique les contraindrait à revoir l'intégralité du système de gestion des ressources en eau. Faute de mesures appropriées en temps opportun, les dommages causés par les soudaines et graves sécheresses, inondations ou réductions des ressources en eau pourraient être considérables. Les scientifiques notent que l'adaptation aux risques et impacts liés à l'eau constitue une grande partie de toutes les adaptations documentées dans le monde et proposent une série de mesures.



Premièrement, l'amélioration des prévisions météorologiques est nécessaire. Cela permettra de prévoir à l'avance les éventuels phénomènes météorologiques graves.

Deuxièmement, de nombreuses solutions technologiques et techniques peuvent contribuer à réduire les risques pour les personnes et les infrastructures, de la construction de nouveaux barrages et réservoirs le long des rivières pour réguler leur débit, à la création de structures le long des berges pour protéger les communautés voisines des inondations.

Troisièmement, nous devons réduire notre consommation d'eau. Nous pouvons y parvenir, par exemple, en utilisant l'eau de pluie ou en utilisant deux fois la même eau pour différents besoins. Les installations spéciales visant à transformer l'eau salée en eau douce par dessalement semblent également prometteuses (Fig. 2.4.10). Mais avant toute chose, nous devons nous rappeler d'utiliser l'eau de manière efficace.

**Figure 2.4.10**

**Une usine de dessalement de l'eau de mer aux Émirats arabes unis**



Quatrièmement, nous pouvons appliquer plus largement des solutions fondées sur la nature pour nous adapter à la pénurie d'eau résultant du changement climatique. De telles solutions s'appuient sur des processus naturels pour améliorer la disponibilité et la qualité de l'eau, et réduire les risques associés aux catastrophes liées à l'eau tout en contribuant à la biodiversité. Par exemple en utilisant des systèmes naturels ou semi-naturels tels que les zones humides et les écosystèmes d'eau douce sains pour fournir de l'eau propre, réguler les inondations, améliorer la qualité de l'eau et contrôler l'érosion. Des villes comme New York et Copenhague ont intégré dans leur planification urbaine des plans d'investissement à grande échelle comprenant des solutions fondées sur la nature pour faire face aux événements de précipitations extrêmes à fort impact. Il s'agit d'une tendance croissante : selon la base de données du Carbon Disclosure Project, une ville sur trois utilise des solutions fondées sur la nature pour faire face aux risques climatiques liés à l'eau.



### **S'inspirer des connaissances locales et autochtones : comment les anciens Indiens d'Amérique Latine se sont adaptés au changement climatique**

Les peuples indigènes d'Amérique centrale et du Sud vivaient principalement des cultures qu'ils faisaient pousser autour de leurs villages. Dans les régions des hauts plateaux, où étaient concentrées de nombreuses anciennes civilisations indiennes, la production de nourriture était limitée en raison de la répartition inégale des ressources en eau. Il n'y avait pas de pénurie d'eau durant la saison des pluies, mais comment ces anciens peuples faisaient-ils durant la saison sèche ?

La principale source d'eau durant la saison sèche était les rivières coulant des glaciers des montagnes, mais elles n'approvisionnaient que les villages situés dans les vallées fluviales. Les anciennes tribus indiennes ont inventé toute une série de technologies et de dispositifs pour assurer un approvisionnement en eau provenant des montagnes tout au long de l'année.

Les indiens ont appris à retenir, filtrer et stocker l'eau, à construire des canaux d'irrigation souterrains et de surface, et ont inventé des dispositifs pour mesurer la quantité d'eau dont ils disposaient en réserve. Ils ont même relié les bassins fluviaux des océans Pacifique et Atlantique. Ils ont également développé un système de prévisions météorologiques capable de prédire le début de la saison des pluies et de la saison sèche, afin de pouvoir mieux organiser l'ensemencement et la récolte des cultures.

Les peuples indigènes d'Amérique ont utilisé leurs compétences en ingénierie pour redresser les lits des rivières et construire des ponts, des ponts suspendus et des ponts sur supports implantés dans le lit de la rivière. Ils ont construit des conduites d'eau courante pour leur usage quotidien et pour les cérémonies religieuses. Les prêtres de la culture Chavin ont, à l'aide de conduites, acheminé l'eau à l'intérieur de leurs temples pour obtenir un son semblable au rugissement d'un jaguar, un animal qu'ils vénéraient comme dieu.

A l'aide d'une technique ingénieuse, ils utilisaient l'eau pour couper des blocs de pierre utilisés aux fins de construction. L'eau était acheminée au moyen de conduites spécialement conçues à cet effet à l'intérieur de la pierre, puis était exposée la nuit aux températures négatives afin de geler, ce qui créait progressivement des fissures qui divisaient la pierre en formes régulières, nécessaires pour la construction.

Les Indiens d'Amérique centrale et du Sud, habitants d'un vaste territoire s'étendant du Mexique moderne, au nord, au Chili et à l'Argentine, au sud, ont donc été des pionniers de l'utilisation des diverses technologies pouvant être utilisées pour s'adapter aux conditions climatiques défavorables.



**Figure 2.4.11**

**Système de collecte de l'eau dans la région Nazca (côte sud-est du Pérou) pour les aqueducs souterrains et la distribution de l'eau souterraine**



# QUESTIONS

1

Comment s'appelle la science permettant d'étudier l'eau ?

\_\_\_\_\_

2

Quel est le pays qui dispose de la plus grande réserve d'eau douce au monde ?

\_\_\_\_\_

3

Quelles sont les régions du monde particulièrement touchées par les pénuries d'eau et pourquoi ?

\_\_\_\_\_

4

Quel est le nom du bassin fluvial où se trouve votre ville de résidence et dans quelle mer se déverse-t-il ?

\_\_\_\_\_

5

Énumérez au moins trois mesures d'adaptation qui contribuent à réduire les risques liés au changement climatique sur les ressources en eau.





## EXERCICE



Trouvez le fleuve Amazone sur une carte physique du monde. Mesurez sa longueur et la superficie de son bassin de drainage et comparez-les avec la plus importante rivière de votre pays.





## 2.5 | Les effets du changement climatique sur l'agriculture

D'aucun pourrait penser que le changement climatique serait favorable à l'agriculture dans les pays du nord. Mais un climat plus chaud n'est pas nécessairement meilleur. S'il se réchauffe dans les régions où il faisait auparavant trop froid pour cultiver du blé, il se réchauffera également dans les régions bénéficiant déjà d'un climat idéal pour l'agriculture, et une température plus élevée entraînera un taux d'humidité moindre et une productivité réduite. Il deviendra donc plus difficile (voire impossible) de cultiver les terres dans des régions où elles l'ont été pendant des siècles et où des traditions agricoles particulières ont pris forme.



Les conditions de production agricoles seront donc meilleures à certains endroits, mais pires à d'autres, et il est extrêmement difficile pour l'heure de prédire le résultat final d'un tel « bouleversement mondial » pour plusieurs pays.

Il est important de rappeler que le climat n'est pas le seul facteur naturel ayant une incidence sur l'agriculture.

Par exemple, l'une des principales cultures céréalières en Amérique du Nord, en Europe et en Sibérie est le blé d'hiver. Le réchauffement climatique signifie que la zone bénéficiant des conditions climatiques propices à sa culture sera amenée à se déplacer vers le nord. Mais le sol de ces nouvelles régions n'est pas aussi adapté que celui des régions où le blé d'hiver est actuellement cultivé. L'amélioration de la qualité du sol dans les régions plus au nord nécessitera beaucoup de travail et coûtera très cher.

Le **blé d'hiver** est semé non pas au printemps, comme les autres variétés de blé, mais à la fin de l'été et au début de l'automne, afin que les semences aient le temps de germer et de prendre racine avant l'arrivée de la neige hivernale. Le blé reprend ensuite sa croissance lorsque la chaleur du printemps fait son apparition et mûrit un peu plus tôt que les cultures qui n'ont été semées qu'au printemps.



Le changement climatique affecte la production de fruits et de légumes. Les fruits à noyaux, notamment les cerises, ont besoin d'heures fraîches pour porter des fruits. Si les nuits fraîches sont trop peu nombreuses, les arbres auront moins de chance de mener à bien leur pollinisation et produiront moins de fruits. Une vague de froid exceptionnelle peut être toute aussi désastreuse. En 2023, le « Peach State » de Géorgie, aux États-Unis, a perdu plus de 90 % de sa récolte annuelle de pêches à cause d'un hiver anormalement chaud, suivi d'un gel en fin de saison.

Les pays bénéficiant de climats tempérés et plus rigoureux, comme le Canada et la Russie, pourraient être confrontés à un autre type de problème, à savoir une concurrence accrue entre la sylviculture et l'agriculture. Le changement climatique permettra de transformer les terres actuellement occupées par des forêts en terrains agricoles, ce qui pourrait accélérer la déforestation. Même dans les régions où les conditions propices à l'agriculture sont tout juste acceptables (à l'extrême nord de la zone agricole), la productivité d'un hectare de terres consacrées aux cultures reste supérieure à celle d'un hectare de terrain forestier. Une profonde réflexion devra donc être menée avant que de nouveaux territoires ne décident de se tourner vers l'agriculture.

Partout dans le monde, l'agriculture devra s'adapter aux nouvelles conditions climatiques. Les experts de l'Organisation internationale pour l'alimentation et l'agriculture estiment que les rendements des cultures, dans de nombreuses régions du monde, connaîtront un déclin après 2030 en raison du changement climatique. Selon les prévisions, les conséquences les plus graves se feront ressentir dans les régions tropicales, où une nouvelle baisse des précipitations pourrait être enregistrée.

Des sécheresses, inondations et fluctuations pluviométriques de plus en plus fréquentes dans l'Afrique subsaharienne compliqueront considérablement l'alimentation des populations locales pendant les décennies à venir. Les experts de la Banque mondiale ont calculé qu'une diminution des précipitations associée à une hausse des températures moyennes mondiales de 1,5 à 2 °C, réduira de 40 à 80 % la superficie des terres propices aux cultures de maïs, de millet et de sorgho en Afrique subsaharienne d'ici 2030 à 2040.

Au Mexique, la sécheresse réduit actuellement la superficie des terres propices à la culture du maïs, laquelle est la principale culture agricole du pays.





Les céréales sont un groupe de plantes extrêmement important, produisant des graines, qui constituent l'alimentation de base des populations, ainsi que les matières premières nécessaires pour de nombreuses industries et l'alimentation des animaux d'élevage. Les principales cultures de céréales sont le blé, le seigle, le riz, l'avoine, l'orge, le maïs, le sorgho, le millet, le sarrasin, entre autres.



La principale culture de céréales en Asie du Sud-Est est le riz, lequel est majoritairement cultivé dans les deltas des vastes fleuves. À mesure que le niveau des océans augmente, en raison des effets du changement climatique, les sections basses des rivières se remplissent d'eau salée, ce qui pourrait entraîner une perte des récoltes. Certaines parties du Delta du Mékong au Vietnam, l'un des plus importants centres de culture du riz au monde, sont particulièrement touchées par la montée du niveau des océans. Une simple montée de 30 cm du niveau des océans peut entraîner une réduction des cultures de riz de 11 %.





L'agriculture est donc menacée par les effets du changement climatique comme la hausse des températures, la modification des régimes pluviométriques, la montée du niveau des océans (qui affecte les basses terres littorales) et les sécheresses et inondations fréquentes, notamment dans les régions sujettes aux catastrophes naturelles. À la suite de ces changements qui ont une incidence majeure sur l'agriculture, la sécurité alimentaire devient un problème de plus en plus sérieux.

Le concept de sécurité alimentaire prévoit que tous les êtres humains aient, à tout moment, la possibilité de se procurer une nourriture suffisante, saine, nutritive et savoureuse afin de mener une vie active et saine.

La FAO a estimé que 2,3 milliards de personnes, soit 28 % de la population mondiale, étaient confrontées à l'insécurité alimentaire en 2021, exacerbée par les effets de la pandémie de COVID-19. L'Inde, le Pakistan et la Corne de l'Afrique ont été particulièrement touchés en raison des pertes dues aux phénomènes météorologiques extrêmes. La chaleur extrême en Inde et au Pakistan a entraîné une baisse des rendements agricoles qui, combinée à l'interdiction des exportations de blé et aux restrictions imposées sur les exportations de riz par l'Inde, a constitué une menace pour les marchés alimentaires internationaux et les pays déjà touchés par des pénuries alimentaires.



Les pluies de mousson ont provoqué des inondations sans précédent au Pakistan, avec une augmentation des maladies d'origine hydrique, qui se propagent dans les régions les plus vulnérables et les plus exposées à l'insécurité alimentaire. En Éthiopie, au Kenya et en Somalie, on estime que 22,5 à 23,4 millions de personnes sont confrontées à une crise alimentaire ou à l'insécurité alimentaire en raison de la sécheresse et d'autres facteurs. Des réductions importantes de l'aide alimentaire ont touché 75 % de la population totale de réfugiés.

L'agriculture est la principale source de revenu d'un tiers de la population active mondiale. Dans certains pays d'Asie et d'Afrique, plus de la moitié de la population exerce des activités agricoles. Le changement climatique non seulement réduit le volume de production alimentaire, mais a également des répercussions sur les revenus tirés de l'agriculture. Et si la chaleur et la sécheresse impliquent que les aliments, en quantité limitée, sont préparés dans des plats sales, par des personnes ayant les mains sales, et ne peuvent être convenablement conservés, alors ces aliments représenteront un danger pour la santé humaine.

Par conséquent, même les pays du nord ne peuvent espérer que le changement climatique leur sera profitable pour l'agriculture, sans souffrir d'aucun inconvénient ; et les populations vivant dans des régions tempérées ou plus fraîches pourront difficilement s'attendre à cultiver des oranges dans leur jardin dans un proche avenir. Les stratégies d'adaptation intelligentes face au climat qui soutiendront l'agriculture et les personnes qui y travaillent sont devenues une priorité urgente.

Quels sont les meilleurs moyens d'adaptation en agriculture ? La plupart des approches d'adaptation en agriculture reposent sur une utilisation efficace des ressources en eau et se concentrent principalement sur l'augmentation de l'efficacité des systèmes d'irrigation. Cela comprend l'utilisation de l'irrigation goutte à goutte, l'expansion des zones irriguées, la collecte et l'utilisation de l'eau de pluie pour l'irrigation, l'ajustement des horaires d'irrigation et le passage d'une agriculture pluviale à une agriculture irriguée.

D'autres options d'adaptation liées aux ressources en eau comprennent la restauration des bassins versants des rivières et des programmes de gestion intégrée de l'eau. Les options spécifiques à l'agriculture comprennent la promotion d'une agriculture et d'une agroforesterie durables, la diversification des plantes et du bétail, la modification des modèles et des systèmes de culture en plantant des plantes résistantes à la chaleur et à la sécheresse, et des changements dans les pratiques agricoles, telles que la plantation d'arbres le long des champs pour servir de protection contre le vent, l'installation de filets anti-grêle et construction de serres supplémentaires.

Les scientifiques nous préviennent que l'irrigation des cultures, l'ajustement des périodes de plantation et la modification des modèles et des systèmes de culture pourraient atteindre de plus en plus les limites d'adaptation à mesure que le réchauffement climatique dépasse 1,5 °C et 2 °C. Cela s'applique particulièrement à l'Afrique, où l'adaptation devient beaucoup moins efficace avec une augmentation de 1,5 °C.

Figure 2.5.1

**Les systèmes d'irrigation intelligents, un pas en avant pour la conservation de l'eau et l'adaptation au changement climatique**





# QUESTIONS

1

Quelle est la différence entre le blé de printemps et le blé d'hiver ? Lequel serait-il le plus adapté à votre région et pourquoi ?

\_\_\_\_\_

2

Quelles sont les céréales cultivées dans votre région ? Sont-elles menacées par le changement climatique ?

\_\_\_\_\_

3

Pourquoi la montée du niveau des océans constitue-t-elle une menace pour la production du riz en Asie du Sud-Est ?

\_\_\_\_\_

4

Qu'est-ce que la sécurité alimentaire ? Expliquez-la à l'aide d'un exemple.

\_\_\_\_\_

5

Quel est le pourcentage de personnes exerçant des activités agricoles dans le monde ?

\_\_\_\_\_

6

Quels types de mesures d'adaptation – mentionnées dans ce chapitre et dans d'autres – sont recommandées pour faire face aux impacts climatiques sur l'agriculture ? Quel est le lien entre ces mesures et les ressources en eau ?







## EXERCICE



Avec l'aide de votre professeur de géographie, faites une liste des principales cultures cultivées dans votre région.

Trouvez des informations sur le rendement de ces cultures dans votre région au cours de ces dernières années. Est-il en hausse ou en baisse ? Y a-t-il eu de mauvaises récoltes durant cette période et pour quelle raison ?

Réfléchissez à la manière dont le changement climatique pourrait affecter le rendement de ces cultures et des autres cultures dans votre région. Les nouvelles conditions climatiques pourraient-elles permettre le développement d'autres cultures ?



## 2.6 | Les effets du changement climatique sur les régions côtières



Plus de 40 % de la population mondiale vit à moins de 100 kilomètres de la côte. La plupart des plus grandes villes, ports et zones touristiques du monde sont situés sur ou à proximité des côtes, où est concentrée plus de 70 % de la production mondiale totale.

Les régions côtières sont étroitement liées aux régions situées dans les terres. Par conséquent, tout impact sur les régions côtières a des répercussions sur l'économie et les conditions de vie, y compris pour les régions plus en retrait. Les zones côtières sont très vulnérables aux effets du changement climatique. Les principales menaces qui pèsent sur elles proviennent de l'élévation du niveau de la mer, des tempêtes plus intenses qui provoquent des inondations et de l'érosion des côtes, ainsi que de phénomènes météorologiques extrêmes plus fréquents.

### La montée du niveau des océans du monde

Le niveau des océans du monde monte progressivement depuis plus de 100 ans. Il s'est élevé de 15 à 25 cm, une moyenne de 1-2 mm par an, entre 1901 et 2018. Cela peut sembler peu, mais cela constitue un réel danger pour les pays où le niveau de la terre n'est pas beaucoup plus élevé que celui de la mer (ou est même inférieur).

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat estime que la montée du niveau des océans du monde depuis le milieu du 19<sup>e</sup> siècle s'est accélérée par rapport à la moyenne enregistrée au cours des 2 000 années précédentes. Depuis 1901, le niveau de la mer augmente à un rythme accéléré. Le taux moyen d'élévation du niveau de la mer était de 15 à 25 cm, soit 1 à 2 mm par an entre 1901 et 2018, passant à 4,62 mm par an pour la décennie 2013-2022.

Le changement climatique d'origine humaine est principalement à l'origine de l'élévation du niveau de la mer et est principalement dû à :

1. La dilatation thermique de l'eau. À mesure que les températures augmentent, l'eau se dilate et occupe plus d'espace.
2. La fonte des glaciers au Groenland et en Antarctique, qui rajoute de l'eau dans les océans du monde.

Pour prévoir le changement climatique, les scientifiques utilisent des modèles mathématiques complexes, qui tiennent compte de la diversité des facteurs responsables du changement climatique. Bien sûr, ces modèles ne peuvent prédire avec précision de combien de centimètres le niveau des océans montera au cours des 30, 50 ou 100 prochaines années. Bien qu'ils appliquent des scénarios selon lesquels, par rapport à la période 1995-2014, le niveau de l'océan mondial augmentera entre 15 et 29 cm d'ici 2050 et entre 28 cm et 1,01 m d'ici 2100. Au cours des 2000 prochaines années, le niveau de l'océan mondial augmentera d'environ deux à trois mètres si le réchauffement est limité à 1,5 °C et de deux à six mètres si le réchauffement est limité à 2 °C.

La montée prévue du niveau des océans d'ici la fin de ce siècle sera en moyenne comprise entre 40 et 63 cm, ce qui constitue une grave menace pour les régions côtières, et particulièrement les petites îles coralliennes ainsi que la côte Pacifique basse de l'Asie du Sud-Est. La montée du niveau des océans sera inégale, et devrait être beaucoup plus marquée sous les tropiques, où le XXII<sup>e</sup> siècle pourrait être le témoin d'élévations de 1 à 3 m, suivies au cours du siècle suivant d'une montée de 5 à 10 m par rapport aux niveaux actuels.

La forte croissance démographique et l'urbanisation dans les zones côtières de basse altitude seront les principaux facteurs de risque résultant de l'élévation du niveau de la mer dans les décennies à venir. D'ici 2030, 108 à 116 millions de personnes seront exposées à l'élévation du niveau de la mer en Afrique (contre 54 millions en 2000), et ce chiffre passera à 190 à 245 millions d'ici 2060 (degré de confiance moyen). D'ici 2050, plus d'un milliard de personnes vivant dans des villes et des agglomérations de basse altitude seront menacées par des aléas climatiques spécifiques aux côtes.

### Les Pays-Bas se préparent à un choc climatique

Les Pays-Bas sont un pays très bas. Une grande partie des terres de ce pays de petite taille, mais fortement industrialisé, ont été obtenues grâce au drainage des régions côtières.

Les Hollandais ont développé depuis des siècles des techniques d'élimination de l'eau des plaines marécageuses. Les ingénieurs hollandais, novateurs, ont depuis longtemps prévu la menace que représente la montée du niveau de la mer, et ont amélioré la conception des structures hydrauliques, qui sont capables de freiner l'avancée de la mer.

**Figure 2.6.1**

Des moulins à vent ont été utilisés pour pomper l'eau des lacs



**Figure 2.6.2**

Afsluitdijk, en Hollande, est le plus grand barrage d'Europe





## Les régions côtières seront-elles englouties par les océans ?

Du fait de la montée du niveau des océans, les plaines côtières seront inondées, le littoral sera progressivement englouti par la mer, et les réserves d'eau douce proches des régions côtières pourraient disparaître. Ces menaces sont particulièrement graves pour les régions côtières densément peuplées comme le Bangladesh, le Nigeria et l'Indonésie. Plusieurs grandes villes sont également menacées par la montée du niveau des océans, notamment Shanghai, Bangkok, Mumbai, Jakarta, Buenos Aires, Rio de Janeiro, Miami et la Nouvelle-Orléans.

Une élévation du niveau de la mer de l'ordre de 1 m engloutira jusqu'à 15 % des terres cultivables en Égypte, et 14 % des terres cultivables du Bangladesh, contraignant ainsi des millions de personnes à s'installer ailleurs. L'eau salée de la mer pourrait s'infiltrer dans les eaux côtières souterraines, lesquelles constituent la principale source d'eau douce dans de nombreuses régions du monde.

En Chine, les prévisions indiquent que même une légère élévation de l'ordre de 0,5 m entraînera l'inondation d'environ 40 000 km<sup>2</sup> de plaines fertiles en Chine. Les basses plaines et les cours inférieurs des grands fleuves (le fleuve Jaune, le fleuve Yangtze, etc.) seront particulièrement vulnérables. La densité moyenne de population le long de ces fleuves s'élève parfois à 800 habitants par km<sup>2</sup>.

Dans un bon nombre de petits États insulaires, les terres émergées ne s'élèvent qu'à quelques dizaines de centimètres au-dessus du niveau de la mer. Ces îles pourraient être complètement submergées par la montée des océans, et leurs habitants seront alors contraints de chercher refuge dans d'autres pays.

Figure 2.6.3

**Prévisions d'inondations côtières sur différents continents, en supposant une montée de 5 m du niveau des océans**



## Avis de tempête

Les tempêtes sont récemment devenues plus fréquentes au niveau des régions côtières et en mer. Des vents violents, que ce soit près des côtes ou en mer, provoqueront des « ondes de tempête », c'est-à-dire une montée soudaine du niveau des étendues d'eau semi-ouvertes sur la mer (baies, cours inférieurs des fleuves). Les ondes de tempêtes frappent les régions côtières et sont souvent accompagnées de fortes précipitations et d'inondations, ce qui menace le déplacement des navires, le travail sur les plateformes pétrolières et le tourisme balnéaire, et provoque également une érosion du littoral.

Figure 2.6.4

**Les tempêtes sont devenues plus fréquentes en zones côtières**



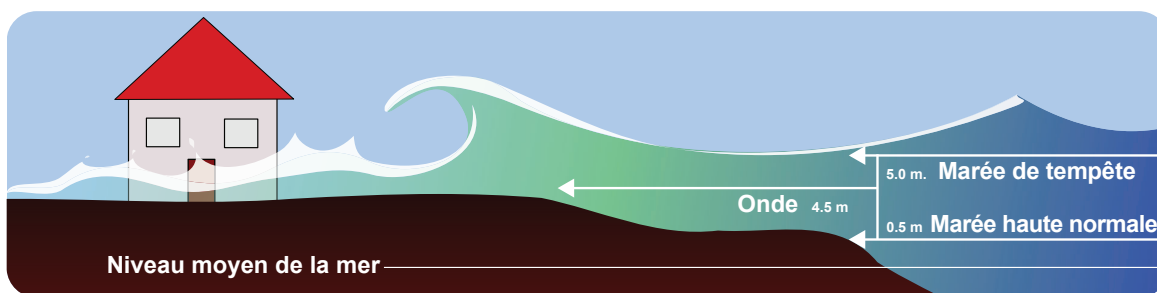
### Tragédie aux Philippines

En novembre 2013, les Philippines ont été frappées par une catastrophe naturelle comparable, par son envergure, à la tragédie survenue au Japon deux ans plus tôt, lorsque celui-ci a été frappé par un tsunami occasionné par un séisme sous-marin dans l'océan Pacifique. Les Philippines sont un archipel montagneux souvent victime de typhons provenant de l'océan Pacifique : en pareil cas, les Philippines protègent efficacement le continent asiatique situé derrière elles. Le scénario, en 2013, a été le suivant.



Dans un premier temps, les Philippines ont été frappées par un super-typhon nommé « Haiyan » (connu sous le nom de « Yolanda » aux Philippines), qui a coûté la vie à 6 300 personnes ; puis il a été suivi d'une seconde tempête, appelée « Zoraida ». Les autorités philippines ont déclaré que près de 7 millions d'habitants du pays ont été touchés par la catastrophe (cette perturbation météorologique a complètement détruit 21 200 foyers et en a endommagé 20 000 autres).

Le plus important dommage en novembre 2013 a été occasionné par l'onde de tempête de 5 mètres de haut (soit la hauteur d'un deuxième étage) ayant frappé certaines régions ; aucun barrage ne permettait de protéger le littoral de ces régions.

**Figure 2.6.5** Onde de tempête

## Érosion et destruction du littoral

L'érosion et la destruction du littoral par la mer est une autre conséquence de la montée du niveau des océans (Fig. 2.6.6 à 2.6.9). L'érosion touche particulièrement la côte arctique, qui était auparavant protégée par la glace, mais qui perd désormais rapidement du terrain, car la couverture glaciaire s'est amoindrie et les tempêtes sont plus fréquentes. La côte arctique recule d'au moins 10 à 25 m chaque année à certains endroits.

**Figure 2.6.6** Destruction du littoral des Îles de Nouvelle-Sibérie en Arctique.

Bien sûr, l'érosion du littoral par les vagues et les inondations n'est pas un fait nouveau. En prenant une carte des archipels faite il y a plus de 100 ans, vous constaterez que nombre des îles qui y figurent n'existent plus (Fig. 2.6.8). Aujourd'hui, ce processus s'accélère. Les phares initialement construits à une distance sûre du bord de la falaise tombent désormais dans la mer (Fig. 2.6.9), de grandes zones de peuplement submergées contraignent les habitants à se réinstaller ailleurs, et les routes doivent être déviées.

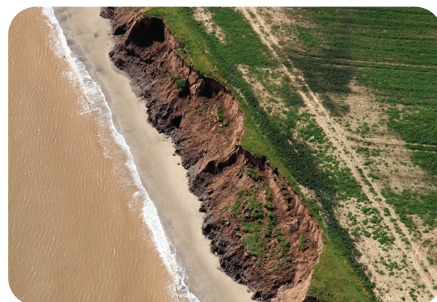
**Figure 2.6.7** Exemple de littoral marin érodé





Figure 2.6.8

**Érosion de la côte arctique.** Sur cette partie de la carte, qui date de 1890 et montre la mer de Laptev et les îles de Nouvelle-Sibérie, les cercles rouges indiquent des îles qui n'existent plus aujourd'hui (elles ont été englouties par des raz-de-marée)



Figure 2.6.9

**Le phare côtier de Vankin (mer de Sibérie orientale, île de Bolshoi-Lyakhovsky), qui n'existe plus**

En Alaska, l'ensemble du village de Kivaluna, où vivaient 400 personnes sur une étroite bande de terre en bordure de l'océan Arctique, a dû être abandonné, et ses habitants transférés loin de la côte. L'opération a coûté plus de 200 millions de dollars américains, malgré la taille relativement petite du village (environ 70 logements).

### Les plages disparaissent au Portugal

Les écologistes sont préoccupés par l'impact de l'érosion du littoral portugais, qui pourrait priver ce pays européen de nombre de ses plages dans un proche avenir

À certains endroits le long de la côte portugaise, la mer submerge chaque année plusieurs mètres de terres, et la situation est critique dans la région nord d'Espinho, où le rivage a régressé de 70 m au cours des dernières décennies. Ce processus est irréversible.



## Risque pour les écosystèmes côtiers

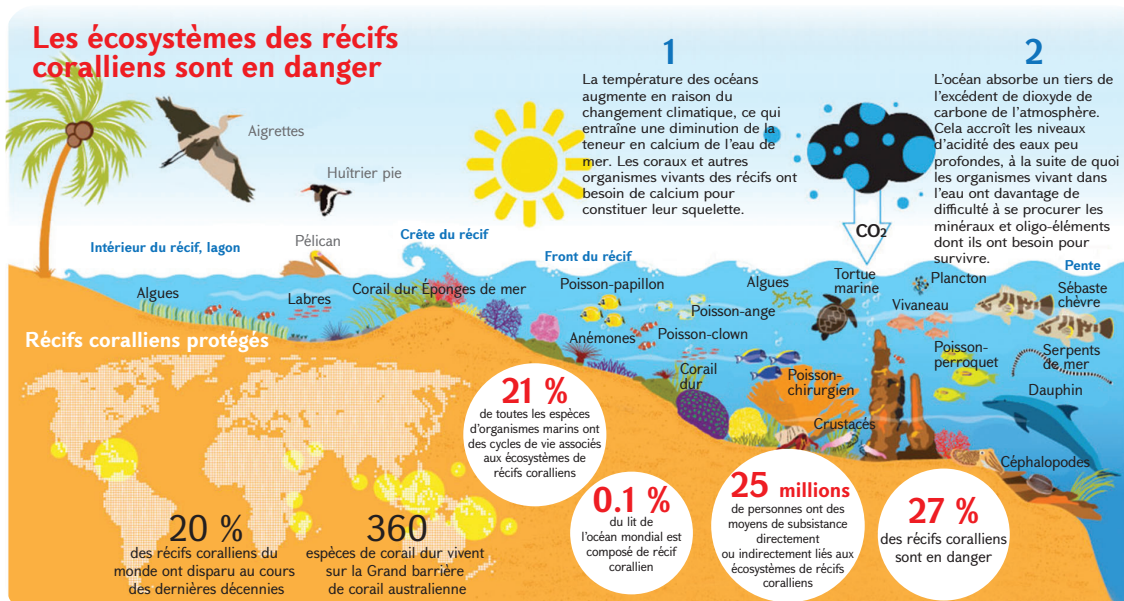
Outre son impact sur les populations et l'économie, la montée du niveau de la mer affecte également les écosystèmes marins et terrestres situés le long des côtes.

Les écosystèmes des basses terres littorales sont particulièrement vulnérables, car ils ne se trouvent généralement qu'à quelques centimètres au-dessus du niveau de la mer. Ces basses terres abritent de nombreuses espèces d'animaux et de plantes, et jouent un rôle essentiel dans l'accumulation des nutriments. Ces écosystèmes comprennent des marais salants, qui sont inondés à marée haute. Les forêts de mangrove, que l'on trouve généralement dans les basses terres littorales bénéficiant d'un climat tropical humide, sont également menacées par la montée du niveau des océans.



Le réchauffement climatique constitue une menace importante pour les récifs coralliens, car l'augmentation de la température de l'eau au-delà d'un certain seuil entraînera le blanchiment du corail. Le blanchiment signifie que les coraux se sont délestés des algues symbiotiques qui y résident normalement et se sont décolorés suite à un stress. En cas de blanchiment important ou prolongé, ils peuvent mourir. Un tel blanchiment des coraux est déjà visible en de nombreux endroits

**Figure 2.6.10 Écosystèmes de récifs coralliens en danger**





Une augmentation à long terme de la température de l'eau de mer pourrait entraîner une dégradation majeure de l'ensemble de l'écosystème des récifs coralliens. Des atolls coralliens, qui offrent un habitat à un grand nombre d'organismes vivants, pourraient être détruits. Selon les prévisions du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 18 % des récifs coralliens du monde seront détruits au cours des trois prochaines décennies, en conséquence de l'incidence d'une foule de facteurs.

## Changement climatique et pêche

Les scientifiques et les pêcheurs sont préoccupés par l'augmentation de la température et de l'acidité de l'eau de mer. À mesure que les concentrations de  $\text{CO}_2$  présent dans l'atmosphère augmentent, l'absorption de  $\text{CO}_2$  par l'océan augmente également, ce qui accroît les niveaux d'acidité (pH). Les variations de pH et de température de l'eau n'ont, jusqu'à présent, pas été significatives, mais ont néanmoins été suffisantes pour provoquer le blanchiment de coraux. D'ici le milieu du siècle, l'acidité pourrait augmenter de 0,06 à 0,34 pH, ce qui est 100 fois plus rapide que le taux de variation enregistré au cours des 20 derniers millions d'années. De nombreux organismes marins éprouveront des difficultés à s'adapter aux nouvelles conditions, ce qui aura de sérieuses conséquences sur la diversité des espèces de poissons et la productivité marine.

Figure 2.6.11

**Prévisions de modification de l'acidité des eaux océaniques de surface d'ici la fin du XXI<sup>e</sup> siècle, selon le scénario de changement climatique le plus favorables (à gauche) et le moins favorable (à droite)**

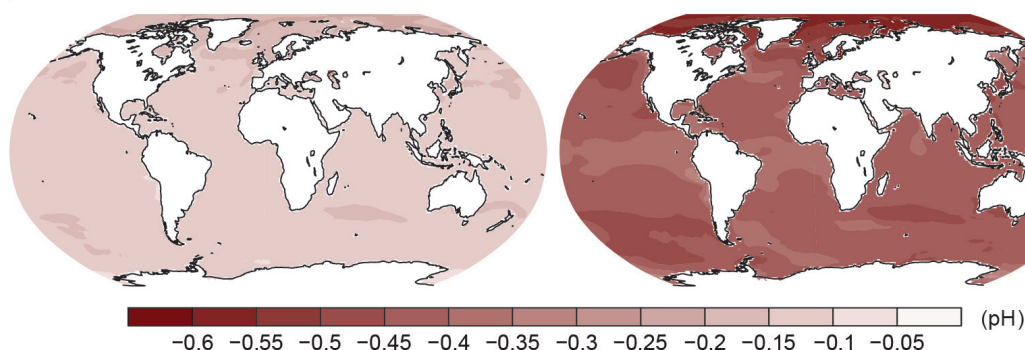
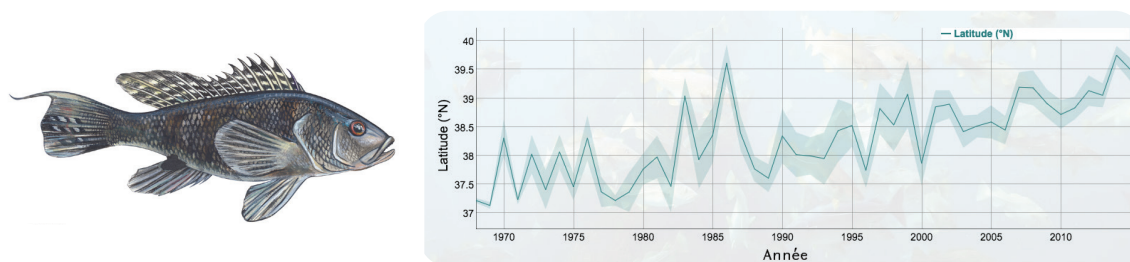


Figure 2.6.12

**Le bar noir migre vers le nord, car les océans se réchauffent**



La National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) des États-Unis et l'université Rutgers ont développé l'**outil web OCEANADAPT** afin de suivre les déplacements des poissons et des invertébrés résultant de l'évolution des conditions climatiques et océaniques. Cet outil permet d'accéder facilement à diverses informations concernant les changements de profondeur et de latitude de près de 650 espèces marines consignées au cours des 40 ou 50 dernières années. Il constitue une ressource utile pour les gestionnaires, les pêcheurs, les communautés de pêcheurs et les scientifiques leur permettant de développer des stratégies d'adaptation opportunes.



La modification des propriétés de l'eau de mer est déjà responsable d'une migration massive des espèces de poissons de mer et d'eau de douce, la direction de leur migration n'étant pas aléatoire mais intentionnelle. Les poissons d'eau chaude migrent vers des latitudes plus élevées et plus fraîches. Cela n'est pas directement dû à l'augmentation de la température de l'eau, mais à la réduction de la quantité de phytoplancton, qui constitue l'alimentation de base des poissons de mer, à mesure que la température de l'eau augmente.

Le nombre de morues au large du Groenland, ainsi que de harengs et de sardines japonaises et adriatiques, augmente durant les périodes de réchauffement climatique et diminue nettement au cours des périodes de refroidissement.

De nombreuses espèces de poissons sont actuellement exploitées aux limites de leur capacité à renouveler leur population, et il est à craindre que la pression supplémentaire découlant de la nécessité à s'adapter au changement climatique dépasse la capacité de certaines espèces à se reproduire en nombre suffisant pour survivre.

La destruction des habitats côtiers, notamment des récifs coralliens et des mangroves, est un autre facteur majeur menaçant les populations marines.

Le Programme alimentaire mondial souligne que le poisson assure plus de 15 % de l'apport moyen en protéines pour plus de 2,9 milliards de personnes. Dans les petits États insulaires et certains pays en développement (Bangladesh, Cambodge, Guinée équatoriale, Guyane, Gambie, Ghana, Indonésie et Sierra Leone), le poisson couvre plus de 50 % des apports en protéines animales. Les populations de ces pays dépendent de la pêche, par conséquent toute diminution des captures locales représente un sérieux problème.

L'élévation du niveau de la mer est l'une des modifications du système global résultant du changement climatique et à laquelle il est le plus difficile de s'adapter. Les stratégies visant à promouvoir l'adaptation visent à sensibiliser à l'augmentation attendue du niveau de la mer, à améliorer les systèmes d'alerte précoce et à renforcer la défense côtière et la gestion intégrée des zones côtières.





# QUESTIONS

1

Quel pays, entre la Suisse et les Pays-Bas, souffrira le plus en cas d'élévation du niveau de la mer supérieure à 1,5 m ?

\_\_\_\_\_

2

Pourquoi les côtes maritimes s'érodent-elles plus rapidement ?

\_\_\_\_\_

3

Qu'est-il arrivé aux îles disparues ?

\_\_\_\_\_

4

Citez des exemples de l'incidence du changement climatique sur les écosystèmes côtiers.

\_\_\_\_\_

5

Pourquoi certaines espèces de poissons migrent-elles vers des latitudes plus au nord ?

\_\_\_\_\_

6

Que peut-on faire pour s'adapter au changement climatique dans les zones côtières ?





# EXERCICES

1

Situez la République des Maldives et le Tuvalu sur une carte physique du monde. Déterminez leur altitude au-dessus du niveau de la mer et expliquez pour quelle raison la montée du niveau des océans du monde est si dangereuse pour ces territoires. Trouvez les États insulaires et les régions côtières sur les divers continents qui risquent d'être totalement ou partiellement submergés par la mer au cours des 50 ou 100 prochaines années. Proposez plusieurs moyens de remédier au problème.

---

2

Indiquez sur une carte isocontour comment l'aspect du continent sud-américain changerait si le niveau des océans montait de 100m : utilisez des crayons de couleur pour colorier les étendues de terre qui disparaîtraient sous la mer. Réfléchissez à des noms géographiques à attribuer à ces régions. Qu'arrivera-t-il aux animaux et aux plantes présents sur ces territoires : périront-ils ? Inscrivez vos propositions dans un cahier d'exercice.

---

3

À l'aide de l'outil Internet OCEANADAPT (<http://oceanadapt.rutgers.edu/>), déterminez comment les différentes espèces de poissons présentes aux USA ont changé d'habitat au cours des 40 ou 50 dernières années. Quelles sont les espèces qui ont dû le plus migrer ? Pourquoi ces migrations se produisent-elles ?





## 2.7 | Les effets du changement climatique sur les régions montagneuses

### Qu'est-ce que les montagnes ?

« Que sont les hommes aux rochers et aux montagnes ? » s'est exclamée Elizabeth Bennet, l'héroïne du roman *Orgueil et Préjugés* de Jane Austen, enthousiasmée par son exploration à venir des plaisirs de la nature en été. Il est vrai que les montagnes sont l'une des plus belles créations de la nature. Rien n'est comparable au sentiment étonnant qui s'empare de vous lorsque vous êtes au sommet d'une montagne, avec au-dessus de vous le seul ciel bleu, et sous vos pieds le reste du monde, qui vous paraît alors si petit depuis les blancs nuages. À ces moments-là, vous ressentez la beauté et le pouvoir de la nature, et en même temps sa fragilité.

Les scientifiques définissent les montagnes comme une forme de relief élevé qui se dresse au-dessus des plaines environnantes. À moins qu'il ne s'agisse de volcans, les montagnes sont rarement isolées, et font généralement partie de chaînes et de crêtes montagneuses. Les chaînes montagneuses, quant à elles, se regroupent pour former des pays ou systèmes montagneux.

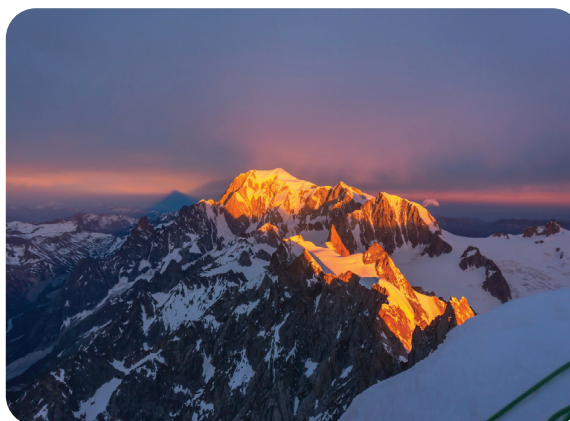
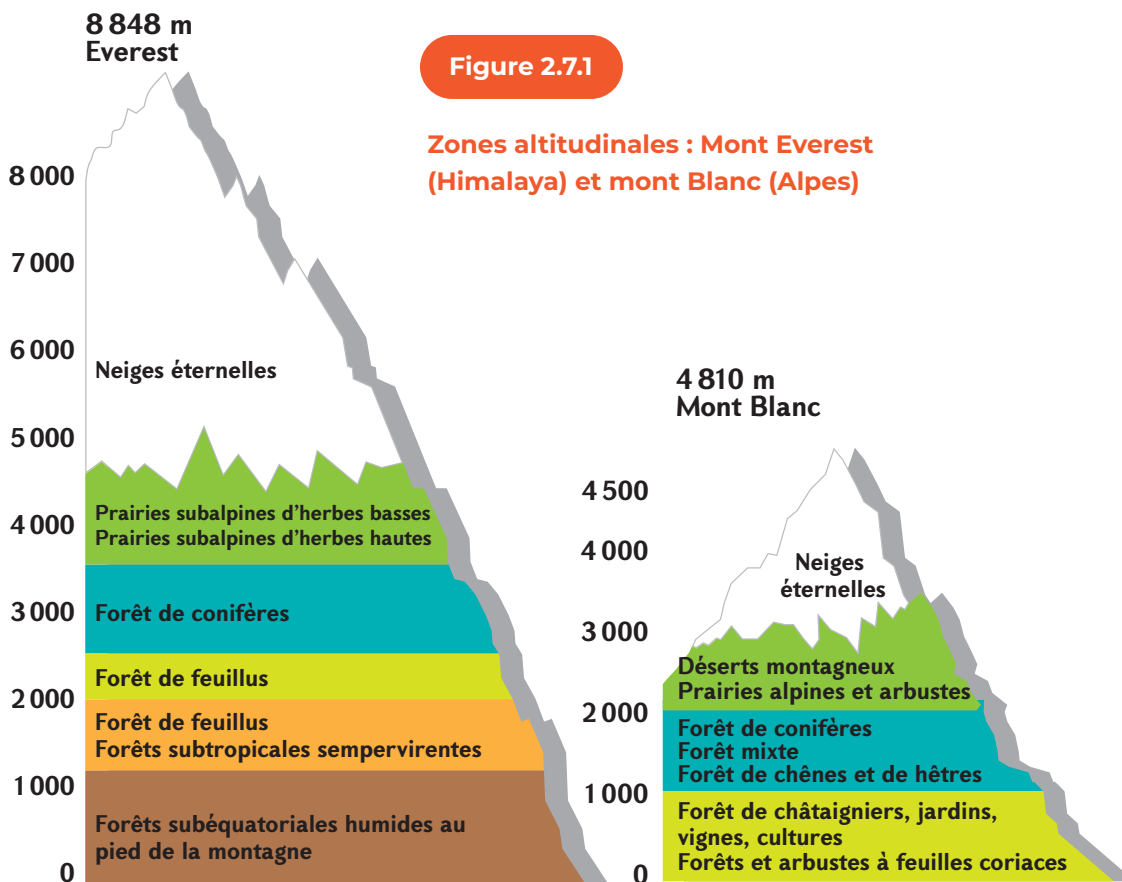
Les montagnes peuvent être hautes (plus de 3 000 m), moyennes (1 000 à 3 000 m) et basses (moins de 1 000 m). Les basses montagnes se caractérisent généralement par ses sommets arrondis et des pentes douces, tandis que les hautes montagnes possèdent des pentes abruptes et des pics angulaires.



## Montagnes et climat

Les montagnes jouent un rôle important dans la détermination du climat. Elles constituent une barrière aux masses d'air, qui ne peuvent aisément passer les hauts sommets. C'est la raison pour laquelle les différents versants d'une même montagne bénéficient souvent de conditions climatiques différentes, avec plus de précipitations d'un côté que de l'autre. Les températures moyennes et les paysages peuvent également varier significativement.

Les montagnes se distinguent également en ce sens qu'elles regroupent un grand nombre de climats différents sur une surface restreinte : le climat et les paysages varient à différents niveaux du bas de la montagne au sommet. (Fig. 2.7.1). On les appelle les « zones altitudinales » (« altitude » signifiant « hauteur »).



### Les plus hautes montagnes du monde

La plus haute chaîne de montagnes du monde est l'Himalaya, qui en sanskrit signifie « demeure des neiges ». Dix des douze montagnes culminant à plus de 8 000 m d'altitude s'y trouvent, dont le sommet le plus haut du monde : le mont Everest, également appelé Chomolungma ou Sagarmatha en langues locales. Le mont Everest s'élève à 8 848 m.

Les Andes sont, pour leur part, la chaîne de montagnes la plus longue de la planète. Cette immense chaîne de montagnes sud-américaines s'étend tout le long de la côte pacifique du continent. Le point le plus haut des Andes et des hémisphères Ouest et Sud du globe est le mont Aconcaguaga (6 960 m).

Le système montagneux le plus important d'Europe est la chaîne de montagnes des Alpes, qui couvre huit pays : Autriche, Allemagne, Italie, Liechtenstein, Monaco, Slovénie, France et Suisse. Le mont Blanc (4 807 m), à la frontière entre la France et l'Italie, est le sommet le plus élevé des Alpes et d'Europe de l'Ouest. Le plus haut sommet du continent européen est le volcan Elbrouz (5 642 m), possédant deux pics principaux, situé dans le Grand Caucase. C'est également le plus haut sommet de Russie.

L'Amérique du Nord possède un système de chaînes de montagnes, dont les montagnes les plus élevées sont la crête de l'Alaska et les Montagnes Rocheuses. L'Alaska possède le plus haut sommet d'Amérique du Nord et des États-Unis, le mont McKinley (6 193 m). Le président américain Barack Obama a annoncé, le 31 août 2015, que le mont McKinley allait être rebaptisé Denali, comme le nomment les autochtones d'Alaska.

La montagne la plus élevée d'Afrique est le Kilimandjaro (5 895 m). La montagne la plus élevée d'Australie est le mont Kosciuszko (2,228 m).

**Figure 2.7.2**

N. Roerich. *Himalaya*.  
Everest. 1938



**Figure 2.7.3**

Le volcan Elbrouz à deux pics (5 642 m) –  
le plus haut sommet d'Europe





Vous vous êtes probablement déjà demandé pourquoi les sommets des montagnes sont souvent recouverts de neige, même sous les latitudes tropicales. Les premiers alpinistes se sont rapidement aperçus que plus ils montaient haut, plus la température baissait et la respiration devenait difficile. L'air est chauffé par le soleil et par la surface de la terre. Une fois chaud, il s'élève et se diffuse, perdant ainsi de sa chaleur. Par conséquent, quand l'altitude augmente, la pression de l'air et sa température chutent progressivement.

En altitude, la température chute en moyenne de 6 °C par kilomètre au-dessus de la surface de la Terre. En conséquence, si la température au pied d'une montagne de 4 000 m est de +24 °C, la température au sommet sera d'environ 0 °C. C'est pourquoi, même si la température moyenne de l'air sous les tropiques ne chute jamais en dessous de zéro, il y a encore de la neige à haute altitude sur les montagnes.

Les montagnes ont une incidence sur le climat, mais elles en sont également fortement dépendantes. Les régions montagneuses figurent parmi les premières à réagir à l'évolution des conditions climatiques. Les principaux « indicateurs » du changement climatique dans les montagnes sont les glaciers, qui se rétrécissent ou grossissent selon que le climat est plus chaud ou plus froid.

### Une beauté qui fond

Les glaciers se forment dans les chaînes montagneuses lorsque l'accumulation de neige dans les parties supérieures des montagnes se transforme en glace. La formation d'un glacier requiert un climat froid et humide, dans lequel les chutes de neige sont plus abondantes durant l'année que les fontes. Dès que les températures augmentent et que les précipitations diminuent, le glacier cesse de grossir et commence à fondre.

**Figure 2.7.4** Régions glaciaires de la Terre



Les glaciers des montagnes du monde entier ont commencé à fondre (à « se retirer ») il y a environ 15 000 ans, lorsque la dernière période glaciaire a laissé place à une nouvelle période de réchauffement climatique. Ce processus de fonte s'est accompagné de brèves périodes durant lesquelles les glaciers ont de nouveau progressé. L'histoire nous a appris qu'entre le Ve siècle et le VIIe siècle Après J.C., de nombreux cols de montagnes aujourd'hui occupés par des glaciers servaient de routes caravanières. Le climat s'est ensuite refroidi, les glaciers ont commencé à grossir, et aux XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles, ces cols sont devenus impraticables.

Par exemple, le célèbre col du Saint-Gothard dans les Alpes. Comme le poète Friedrich Schiller l'a écrit en 1799 : « Le sentier qui donne le vertige conduit au bord de l'abîme ; il serpente entre la vie et la mort », la traversée d'un col enneigé était extrêmement dangereuse et n'était possible que durant les mois d'été.

Figure 2.7.5

**W. Rothe. *La traversée du col du St. Gotthard*, 1790**

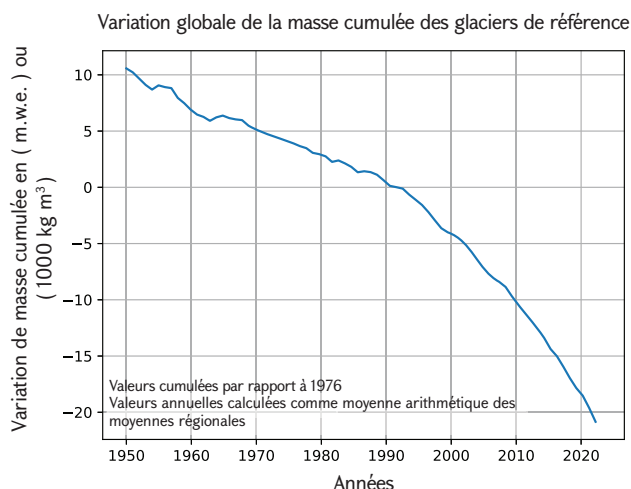


Cependant, au cours des 70 dernières années, les glaciers du monde entier ont reculé particulièrement vite (Fig. 2.7.6). Les scientifiques tirent le signal d'alarme : la rapide fonte des glaciers des montagnes, à laquelle nous assistons aujourd'hui, ne correspond pas à un cycle naturel. La réduction du volume des glaciers des montagnes pourrait avoir des conséquences catastrophiques pour l'environnement et l'économie des régions montagneuses, ainsi que des plaines avoisinantes, qui hébergent un sixième de la population mondiale.



Figure 2.7.6

**Modification de la masse des glaciers à travers le monde, 1950-2022, mesurée en unités de mètre équivalent eau (m.e.e.)**



### Les glaciers de montagne reculent

Les glaciers de l'Himalaya reculent de 10 à 15 m par an en moyenne. Le glacier Gangotri, qui constitue la source du Gange, fond particulièrement vite et opère un recul de 30 m chaque année. Le Gangotri représente l'une des principales sources d'eau pour les 500 millions de personnes qui vivent le long du Gange.

Au Pérou, les glaciers se retirent également à vive allure. Selon les estimations les plus prudentes, leur superficie aurait diminué d'un tiers au cours des 30 dernières années.

Le volcan africain Kilimandjaro, est peut-être celui à avoir le plus souffert : sa célèbre calotte glaciaire, immortalisée dans le roman d'Ernest Hemingway intitulé « Les Neiges du Kilimandjaro », a presque entièrement disparu.

Figure 2.7.7

**C'est ainsi que les scientifiques étudient les glaciers**



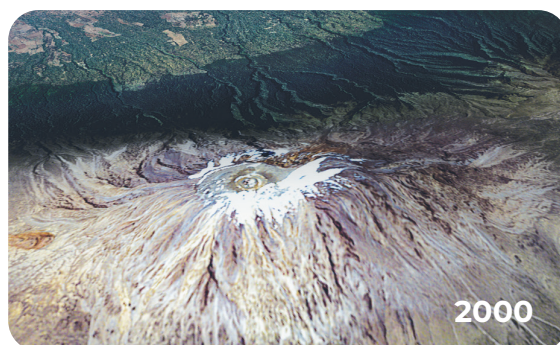
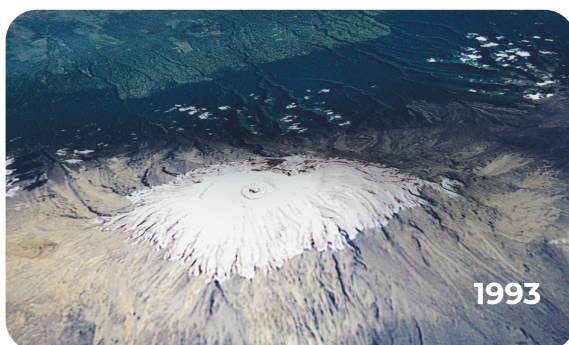
Figure 2.7.8

**Le glacier Gangotri**



Figure 2.7.9

**La calotte glaciaire et la neige du Kilimandjaro ont presque entièrement fondu**





Les glaciers des Alpes fondent plus rapidement que jamais. Selon une étude menée en 2023 par le groupe scientifique Glacier Monitoring Switzerland (GLAMOS), les glaciers suisses ont perdu autant de glace en deux ans qu'au cours des trois décennies précédant 1990 : il a suffi de deux étés chauds en 2022 et 2023 pour que les glaciers alpins perdent le même volume de neige qu'entre 1960 et 1990. Les scientifiques ont conclu que la dégradation du climat provoquée par la combustion de combustibles fossiles est à l'origine d'étés et d'hivers inhabituellement chauds avec un très faible volume de neige, ce qui a accéléré la fonte des glaciers. L'Agence européenne pour l'environnement estime que 75 % des glaciers alpins auront fondu d'ici 2050.

Au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, le parc national de Glacier situé dans les Montagnes Rocheuses, à la frontière des États-Unis et du Canada, comptait auparavant 150 glaciers. Au début du XXI<sup>e</sup> siècle, il n'en restait que 25 et selon les scientifiques, ces glaciers auront entièrement disparu du parc au cours des prochaines décennies, par conséquent les visiteurs qui souhaiteraient voir pourquoi ce parc était réputé devrait se dépêcher !

**Figure 2.7.10****Parc national de Glacier en août 2013**

Le volume des glaciers néo-zélandais a diminué de 11 % entre 1975 et 2005. Les glaciers victimes de la fonte la plus rapide dans ce pays insulaire sont le Tasman, le Classen, le Mueller et le Maud.

Figure 2.7.11

Le glacier Grand Azau dans le Caucase. La photographie tenue par la jeune femme date de 1956. Derrière elle se trouve ce qui restait du glacier en 2007



Le glacier Azau dans le Caucase a subi d'importants changements. À la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, le processus de fonte a entraîné la séparation du glacier en deux parties, appelées le Petit Azau et le Grand Azau. Aujourd'hui, le Grand Azau n'a plus rien de grand. De 1957 à 1976, le glacier a reculé de 360 m, puis encore de 260 m entre 1980 et 1992. Le Petit Azau se retire d'environ 16 m chaque année.

Le nombre de glaciers dans les montagnes de l'Altaï en Russie orientale a diminué de 7,5 % entre 1952 et 1998, et ceux qui demeurent ont reculé de 100 à 200 m par rapport à leur position au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle. Le glacier Sofia, placé sous observation par les experts de l'Université d'État de l'Altaï, a reculé de 1,5 ou 2 km au cours des 150 dernières années. Ce glacier « s'élève » également de 20 à 30 m chaque année.



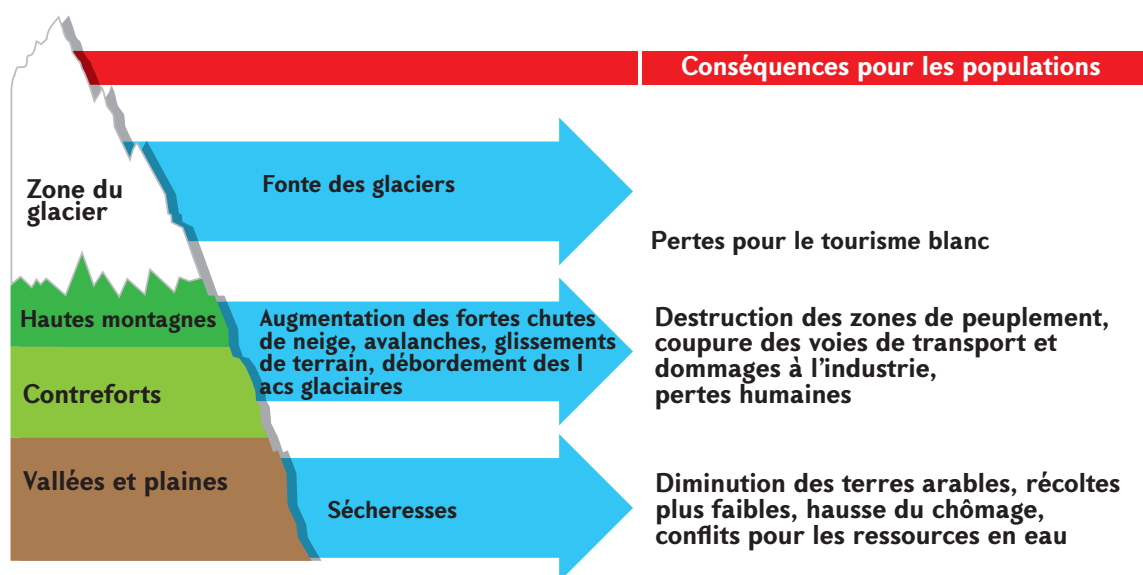
## Les effets du changement climatique sur les populations vivant dans les montagnes

Vivre en montagne n'est pas chose facile. L'altitude élevée, la complexité du terrain et les conditions météorologiques souvent changeantes rendent la production de denrées et l'élevage du bétail bien plus difficiles sur ce terrain que dans les plaines.



Figure 2.7.12

Impact du changement climatique sur la vie dans les montagnes



Depuis les temps les plus anciens, les populations s'installent dans les étroites vallées des montagnes, séparées les unes des autres par des chaînes de montagnes aux pentes abruptes rendant souvent très difficiles les contacts avec les vallées (et populations) voisines. Encore aujourd'hui, les populations vivant dans les régions montagneuses possèdent souvent leurs propres coutumes, culture et moyens de subsistances. Le mode de vie des populations des montagnes et leurs principaux moyens de subsistance (agriculture et tourisme) dépendent directement du climat. Même de légers changements climatiques peuvent avoir une incidence sur le bien-être des populations des régions montagneuses.



## Détérioration du tourisme

L'exemple des Alpes confirme la façon dont le changement climatique affecte le tourisme dans les régions montagneuses. Actuellement, le tourisme blanc compte pour 20 % des revenus des pays alpins (Fig. 2.7.13). Pour les 13 millions de personnes vivant dans les Alpes en Autriche, en Allemagne, en Suisse et en France, le manque de neige est une véritable catastrophe économique : deux tiers des touristes qui s'y rendent le font pour profiter des plaisirs du ski et du snowboard.

Les prévisions sont alarmantes : d'ici 2030, il n'y aura quasiment plus aucune chute de neige dans les Alpes en-dessous de 1 000 m d'altitude, ce qui contraindra de nombreuses stations de ski populaires à fermer. La moitié des stations de ski autrichiennes se situent à moins de 1 300 m d'altitude, et seront contraintes de fermer à cause du manque de neige. Les prévisions les plus pessimistes ont déjà commencé à se réaliser : à l'hiver 2006-2007, 60 des 660 stations de ski alpines sont restées fermées et de nombreuses autres n'ont pu fonctionner qu'à l'aide de neige artificielle, ce qui a grandement augmenté leurs coûts déjà élevés. Il en a résulté une baisse de la demande de vacances dans les Alpes.

Comment les régions montagneuses peuvent-elles s'en sortir sans neige ? L'industrie des sports et loisirs s'adapte du mieux qu'elle peut, en tentant de développer d'autres types d'activités touristiques et récréatives moins dépendantes des conditions neigeuses. Les espaces auparavant utilisés pour skier sont transformés en parcs de loisirs et stations thermales ouvertes tout au long de l'année. Il se pourrait qu'un jour les gens viennent dans les Alpes, non pas pour les sports d'hiver, mais pour profiter de promenades autour des lacs de montagne, se délecter de la nourriture locale et respirer l'air frais de la montagne.

Figure 2.7.13

**L'industrie du tourisme représente une part importante des revenus des régions de montagne**



Le lac de Trift, dans le canton suisse de Bern, illustre parfaitement les conséquences du réchauffement climatique sur les Alpes. Dans les années 1990, un glacier voisin a commencé à rapidement rétrécir, l'eau de fonte a donné naissance à un petit lac et une plus grande superficie de la vallée s'est délestée de sa glace. Auparavant, les gens pouvaient passer d'un pic de la montagne à l'autre à pied, en traversant le glacier. Les autorités locales ont décidé de construire un pont suspendu pour les promeneurs avant que le glacier n'ait complètement fondu, et le pont est rapidement devenu une attraction majeure, attirant des visiteurs du monde entier.

Figure 2.7.14

**Pont surplombant le lac de Trift, Suisse**



### Retrait du glacier Pastoruri au Pérou

Jusqu'à récemment, les touristes et les alpinistes professionnels pouvaient affluer sur le glacier Pastoruri, qui domine les Andes au Pérou. Cependant, le glacier a diminué d'un quart au cours des 35 dernières années et, de l'avis des scientifiques, pourrait entièrement disparaître au cours des prochaines décennies. Un magnifique paysage de neige et de glace a laissé la place à de noires falaises. Les autorités locales ont interdit l'escalade en raison de l'instabilité des roches associée à la fonte du glacier.

Le nombre de touristes venus admirer le glacier Pastoruri est trois fois moins élevé qu'au début des années 1990, ce qui a eu une incidence majeure sur le tourisme au Pérou et les revenus des résidents locaux. Néanmoins, les entrepreneurs péruviens ne désespèrent pas : ils exposent désormais les restes du glacier afin de témoigner des résultats du changement climatique, et la région est parvenue à attirer un nombre croissant d'écologistes et de touristes curieux.

Toutefois, le sauvetage du glacier lui-même est une tâche bien plus ardue que le sauvetage des revenus des entreprises locales.

**Figure 2.7.15**

**Retrait du glacier Pastoruri dans les Andes péruviennes**



## Catastrophes naturelles dans les montagnes

Le déclin de l'activité touristique ne constitue pas, pour les peuples montagnards, la menace la plus meurtrière du réchauffement climatique. Ils doivent également craindre les catastrophes naturelles (avalanches, glissements de terrain et inondations), qui sont devenues bien plus fréquentes dans les montagnes en raison des évolutions climatiques et constituent une véritable menace pour la vie humaine, en plus d'occasionner d'importants dommages à l'économie locale.

Lorsqu'un glacier se retire, il produit une importante quantité d'eau de fonte, laquelle s'accumule dans une vallée montagneuse et forme un lac glaciaire. À mesure que la quantité d'eau augmente, le lac peut déborder et provoquer une inondation. Selon les scientifiques, les 20 lacs glaciaires que compte le Népal et les 24 que compte le Bhoutan constituent une grave menace pour les populations installées en contrebas dans la vallée. Si ces lacs étaient amenés à déborder, et que l'eau se déversait dans la vallée, de nombreuses personnes risqueraient de perdre la vie ou du moins leurs foyers. Plusieurs inondations de ce type se sont déjà produites ces dernières années dans les vallées de Thimphou, Paro et Punakha-Wangdu au Bhoutan.

Les risques pour la population locale peuvent être réduits en creusant des canaux de protection et en construisant des barrages avant que de telles inondations ne se produisent.

**Le volume du lac Tsho Rolpa au Népal, qui a été formé par l'eau issue de la fonte des glaciers, a septuplé au cours des 50 dernières années. Selon certaines études, les 20 lacs glaciaires du Népal et les 24 du Bhoutan pourraient bientôt déborder, ce qui aurait des conséquences catastrophiques sur les populations et les économies de ces pays, à moins que des mesures appropriées ne soient prises.**

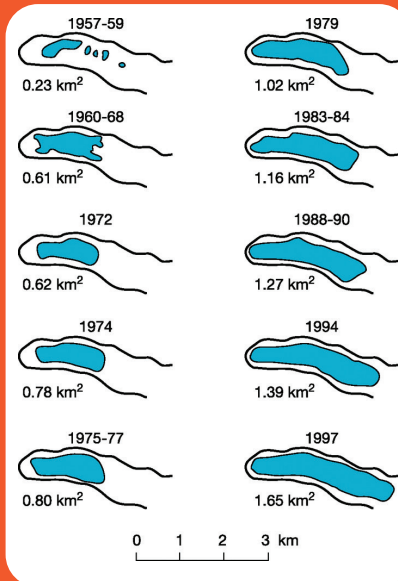
**Figure 2.7.16**

Lacs glaciaires dans l'Himalaya



**Figure 2.7.17**

La taille du lac Tsho Rolpa s'est multipliée par sept au cours des 50 dernières années





Une **avalanche** est une immense masse de neige qui se détache puis dévale un versant de montagne. Les avalanches peuvent avoir des conséquences désastreuses. En février 1999, une avalanche d'un poids de 170 000 tonnes a complètement détruit le village autrichien de Galtür et coûté la vie à 30 personnes. En mars 2012, une série d'avalanches en Afghanistan a détruit des maisons et fait plus de 100 morts. Plus récemment, en janvier 2023, une avalanche a frappé une route à Nyingchi, en Chine, tuant 28 personnes et en blessant 53 autres.

Un **glissement de terrain** est une masse de boue et de pierres extrêmement puissante, qui dévale subitement les vallées fluviales montagneuses. Les glissements de terrain sont généralement causés par de fortes précipitations ou une rapide fonte des neiges. Ils peuvent également être causés par le débordement des lacs glaciaires. Les glissements de terrain, tout comme les avalanches, peuvent entraîner une destruction massive.



## Diminution des réserves d'eau douce

La future diminution des réserves d'eau douce, tant dans les régions montagneuses que dans les plaines adjacentes, constitue une sérieuse menace. Les glaciers sont l'une des principales sources d'eau douce sur Terre, car ils constituent la source de nombreux fleuves et rivières. La fonte de la glace entraînera donc des pénuries d'eau dans les régions proches des montagnes, ce qui compliquera grandement les conditions de production agricole, d'exploitation minière et de production d'électricité. Les pénuries d'eau douce dans les régions proches des montagnes entraînent déjà de graves conflits politiques dans certaines parties du monde. Les scientifiques notent que les impacts du changement climatique sur les montagnes, tels que les changements hydrologiques résultant du retrait des glaciers ou certains changements dans les écosystèmes, ne peuvent être réduits par des mesures d'adaptation.

Les montagnes ont toujours représenté un risque, et le changement climatique sur Terre pourrait ajouter à ces risques. La hausse des températures, la variation de la quantité de précipitations, la fonte des glaciers des montagnes et les catastrophes naturelles de plus en plus fréquentes pourraient avoir des conséquences catastrophiques sur l'environnement, les populations et l'économie des régions montagneuses et des régions avoisinantes.



# QUESTIONS

1

Quelle est l'altitude atteinte par un alpiniste si celui-ci se trouve à une altitude où la température est de  $-9^{\circ}\text{C}$  alors que celle-ci est de  $18^{\circ}\text{C}$  au pied de la montagne ?

\_\_\_\_\_

2

La neige restera-t-elle au sommet d'une montagne culminant à 5 200 m de haut, si la température de l'air au pied de celle-ci est de  $+30^{\circ}\text{C}$  en été durant les jours les plus chauds ?

\_\_\_\_\_

3

Pourquoi les glaciers sont-ils souvent qualifiés d'indicateurs du changement climatique ?  
Que leur arrive-t-il lorsque la température de l'air change ?

\_\_\_\_\_

4

Pourquoi y a-t-il souvent beaucoup de diversité ethnique dans les régions montagneuses ?

\_\_\_\_\_

5

Quels sont les principaux moyens de subsistance des populations vivant dans les régions montagneuses. Comment sont-elles affectées par le changement climatique ?

\_\_\_\_\_

6

Que peut-on faire pour préserver les principaux moyens de subsistance des personnes vivant dans les régions de montagne et s'adapter aux conséquences du changement climatique ?





# EXERCICES

1

Sur une carte du monde isocontour, marquez les plus hauts sommets sur chaque continent. À quel système montagneux appartiennent-ils ? Dans quels pays se situent-ils ?

\_\_\_\_\_

2

La beauté et l'inaccessibilité des montagnes en ont toujours fait une source d'inspiration pour les plus grands poètes, écrivains, artistes et compositeurs. Citez des œuvres littéraires ou artistiques célèbres portant sur des chaînes de montagnes ou des sommets montagneux. Choisissez une œuvre que vous aimez particulièrement et expliquez les modifications que son auteur aurait dû apporter s'il avait vécu une période de changement climatique mondial. Comment aurait-il pu le faire ?





## 3

**Jeu**

Les joueurs se divisent en deux équipes.

**L'équipe N° 1** vit à High Village, situé dans la vallée montagneuse de la rivière Rapide. Ces dernières années, la fonte des glaciers des hautes montagnes a entraîné, à plusieurs reprises, le débordement de la rivière Rapide, ce qui a occasionné des problèmes aux résidents locaux. Les habitants locaux souhaitent construire un barrage sur la rivière afin de se protéger des inondations et, dans le même temps, produire de l'électricité et créer de nouveaux emplois. Les habitants de la montagne ne sont pas fortunés, ils n'ont pas d'argent pour la construction du barrage et vivent principalement de l'agriculture et de l'élevage. Ces dernières années, en raison de la hausse des températures, les habitants de High Village ont commencé à cultiver des fleurs et des fruits exotiques.

**L'équipe N° 2** vit dans le village de Cowgrazing, situé dans la plaine au pied des montagnes, en aval de la rivière Rapide. Le village est prospère, ses habitants sont des agriculteurs et utilisent l'eau de la rivière aux fins d'irrigation et de consommation. Les habitants de Cowgrazing aiment la nourriture exotique, les divertissements et les voyages. Le budget local de Cowgrazing est suffisamment élevé pour financer de nouveaux projets de construction.

Les membres des différentes équipes doivent débattre des questions suivantes (l'enseignant ou l'un des élèves joue le rôle du Ministre en charge du développement régional, qui mènera les négociations) :

- 1) Quelles seront les conséquences pour le village de Cowgrazing, si les habitants de High Village construisent un barrage sans les consulter ?
- 2) Sous quelles conditions le village de Cowgrazing peut-il accepter la mise en place du barrage et financer sa construction ?
- 3) Les habitants de High Village peuvent-ils trouver un moyen de se protéger des conséquences du changement climatique sans construire de barrage ?
- 4) Quels nouveaux projets et nouvelles activités les habitants de High Village et Cowgrazing peuvent-ils mener ensemble ?

## 2.8 | Les effets du changement climatique sur les régions arctiques

L'Arctique est la région polaire nord de la Terre, laquelle comprend l'océan Arctique et ses mers, les régions nord des océans Pacifique et Atlantique, l'archipel Arctique canadien, le Groenland, les îles Svalbard, la terre François-Joseph, la Nouvelle-Zemble, la Terre du Nord, les îles de Nouvelle-Sibérie et l'île Wrangel, ainsi que les côtes nord de l'Eurasie et de l'Amérique du Nord.

Il n'y a pas de limites clairement définies dans la région Arctique. La limite sud généralement admise est donnée par le cercle arctique se trouvant à 66 degrés et 33 minutes de latitude nord. Dans ce cas, la superficie totale de l'Arctique s'élève à 21 millions de km<sup>2</sup> (Fig. 2.8.1).

La seconde délimitation de la région arctique correspond à l'isotherme de juillet, une ligne fictive où les températures au cours du mois le plus chaud de l'année ne dépassent pas les 10 °C. La limite forestière correspond à peu près à l'isotherme de juillet et constitue la troisième délimitation de l'Arctique. La limite forestière marque la transition entre les territoires forestiers et les arbustes et herbes de la toundra. La Russie, les États-Unis (Alaska), le Canada, la Norvège, la Suède, la Finlande, l'Islande et le Danemark (Groenland) possèdent tous des territoires dans l'Arctique



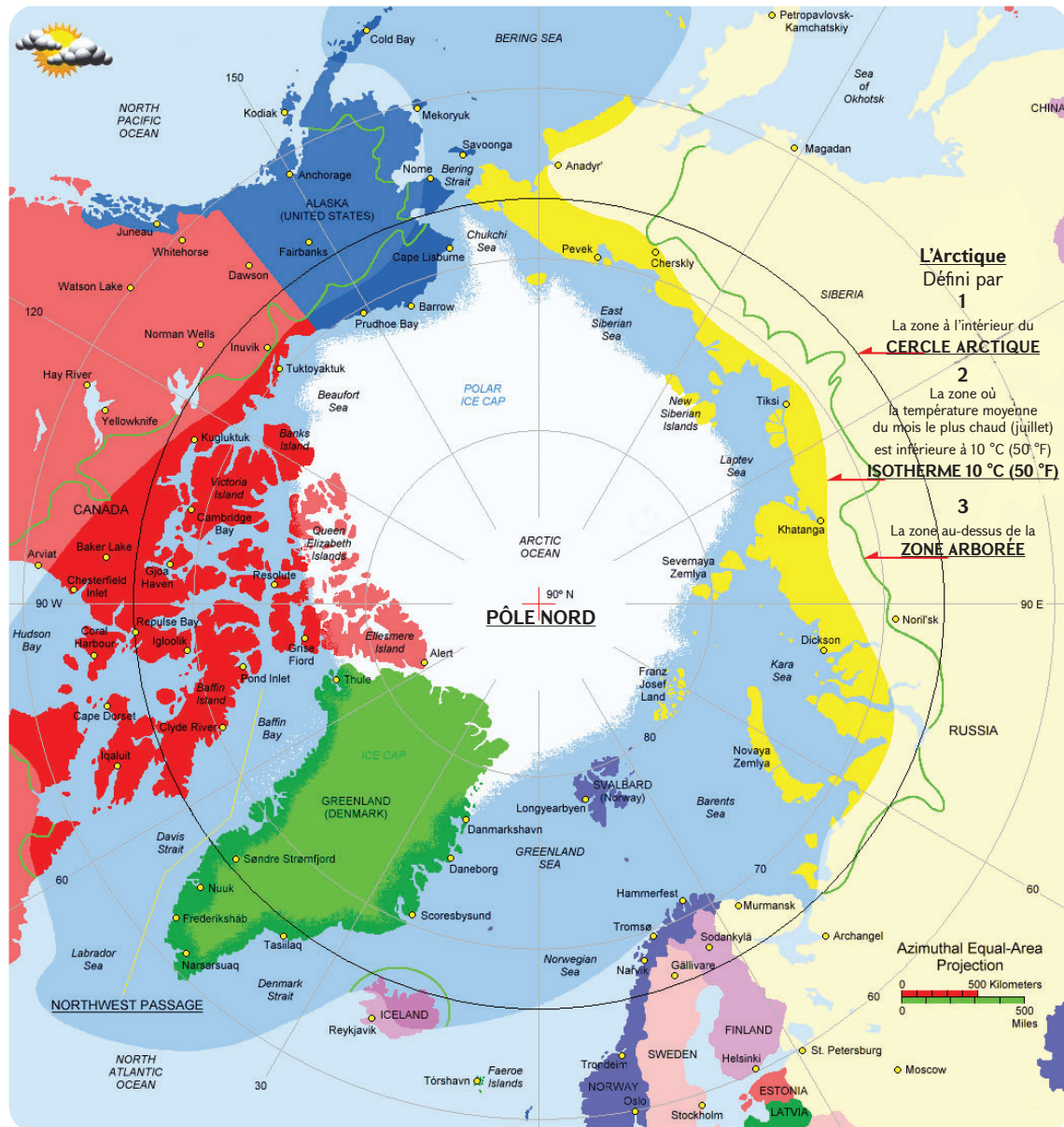
## L'Arctique se réchauffe plus vite que le reste du monde

Le changement climatique dans l'Arctique est bien plus prononcé que dans le reste du monde. Les températures le long de la côte arctique ont déjà augmenté de 2 ou 3 °C au cours des dernières décennies.

Toutefois, l'effet le plus notable du changement climatique en Arctique est la hausse des fluctuations climatiques et météorologiques. Dans les régions tempérées, les variations soudaines de température ne sont généralement pas supérieures à 10 °C : il peut faire très chaud au cours d'une journée, mais le lendemain les températures chutent de 10 °C, puis augmentent de nouveau de 10 °C une semaine plus tard. Cependant, dans l'Arctique, la température peut subitement enregistrer des variations allant jusqu'à 20 °C, et il arrive régulièrement qu'en été les températures de l'une des régions de l'Arctique soient supérieures de 5 °C à ce qu'elles étaient au milieu du XX<sup>e</sup> siècle, tandis que dans une région voisine, elles sont 5 °C plus basses.

**Figure 2.8.1**

## L'Arctique et la définition de ses limites





On pourrait penser que le réchauffement de l'Arctique est une bonne chose, mais pas du tout ! Qu'est-ce qui est le mieux : une température de -35 °C avec un temps dégagé et sans vent, ou une température de -20 °C avec un blizzard ? Bien sûr, plus il fait froid mieux c'est, mais sans blizzard, notamment car l'Arctique est une région habituée à de telles températures. Le problème n'est pas la température en tant que telle : quoi qu'il se passe, les températures de l'Arctique ne seront jamais suffisamment élevées pour que les hommes et les animaux qui y vivent souffrent de la chaleur.

Il existe un concept en météorologie, appelé l'indice de refroidissement éolien, qui reflète la sensation de froid produite par l'effet combiné du vent et de températures basses que ressent une personne. Par exemple, avec une température de -10 °C et un vent de 30 km/h, l'indice de refroidissement éolien sera de -20 °C, ce qui signifie que la sensation ressentie par une personne et la manière dont son organisme réagira dans ces conditions sera la même que si l'air était à une température de -20 °C.

La vie des hommes et des écosystèmes de l'Arctique est affectée par différents paramètres climatiques : la force du vent (blizzards et tempêtes), la réduction des glaces de mer et de rivière, la grave érosion des côtes et la fonte du pergélisol. La modification de ces paramètres n'est pas uniquement la conséquence de la hausse des températures ; les paramètres eux-mêmes sont des forces actives qui contribuent à l'augmentation des températures. Les scientifiques appellent cela l'effet de « rétroaction ». Il en existe au moins deux :

1. Des températures de l'air plus élevées entraînent la fonte et l'éclatement des champs de glace, laissant ainsi la place à de vastes étendues d'eau entre les îlots de glace. La surface sombre de l'eau, contrairement à la glace, ne réfléchit pas mais absorbe le rayonnement solaire, par conséquent l'eau se réchauffe, davantage de glace fond et le processus est accéléré.
2. Une quantité d'eau plus importante implique une plus grande évaporation de l'humidité et davantage de nuages. Souvenez-vous, les nuits sont relativement douces lorsque le ciel est nuageux, car les nuages retiennent la chaleur, et il fait bien plus froid par nuit claire. De même, en Arctique, lorsque le temps est couvert et qu'il y a une importante quantité d'eau, la température est plus élevée, notamment la nuit, ce qui accélère la fonte des glaces.

L'économie de l'Arctique repose sur deux types d'activités polaires. D'une part, les activités traditionnelles des populations indigènes, comme la chasse, la pêche, l'élevage de rennes. D'autre part, la production à grande échelle de pétrole et de gaz naturel, de fer, de zinc, d'or, de diamants, de poisson et de bois pour le marché international. Les plus grandes économies de l'Arctique sont celles de la Russie et de l'Alaska (USA), notamment grâce à leurs activités minières et pétrolières. Les régions encore dominées par des activités plus traditionnelles et à petite échelle, notamment le Groenland et le nord du Canada, ont une activité économique nettement inférieure.

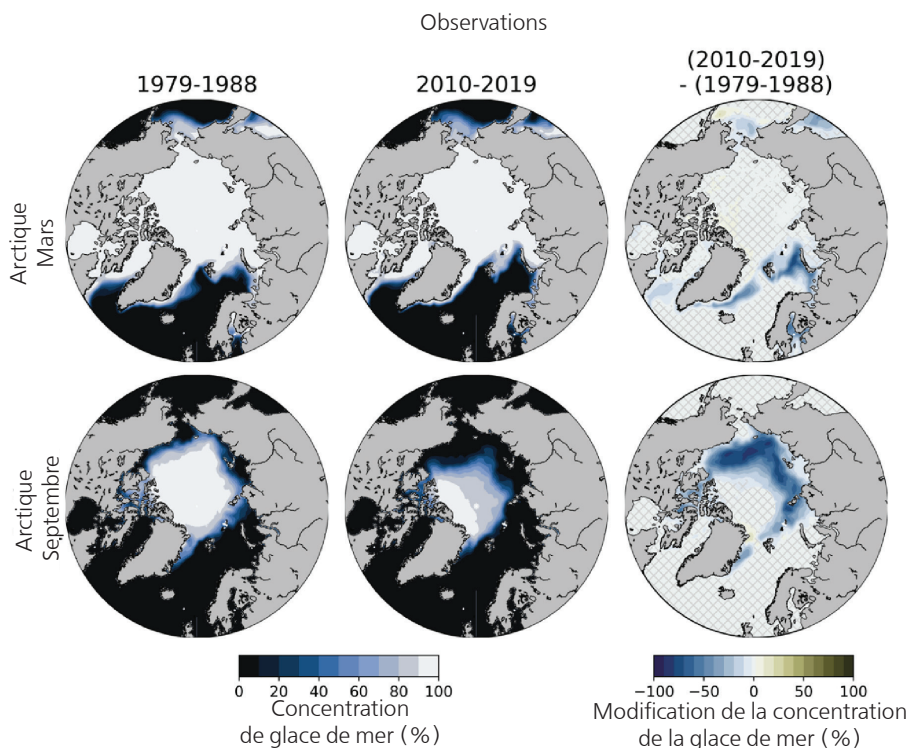


## La fonte des glaces de l'Arctique

Les scientifiques suivent de près l'état de la glace en Arctique depuis 1979 grâce à des satellites. Les données satellite indiquent que la quantité de glace dans l'Arctique a considérablement diminué (Fig. 2.8.2). Les cartes de la glace de mer arctique montrent la concentration moyenne de glace de mer obtenue par satellite au cours des décennies 1979-1988 et 2010-2019, ainsi que le changement absolu de la concentration de glace de mer entre ces deux décennies. Au cours des 40 dernières années, la concentration de glace de mer dans l'océan Arctique et ses mers a diminué de plus de 20 %.

**Figure 2.8.2**

**Cartes de la concentration de glace de mer dans l'Arctique pour mars et septembre, qui correspondent généralement respectivement aux mois de superficie maximale et minimale de glace de mer**



La superficie de la couverture glaciaire est généralement mesurée au moment du minimum et du maximum de son extension, normalement à la fin du mois de mars et fin septembre. Le rétrécissement observé en septembre 2012 est un record absolu : la superficie de la couverture glaciaire a reculé à 3,41 millions km<sup>2</sup> (Fig. 2.8.2 et 2.8.3).

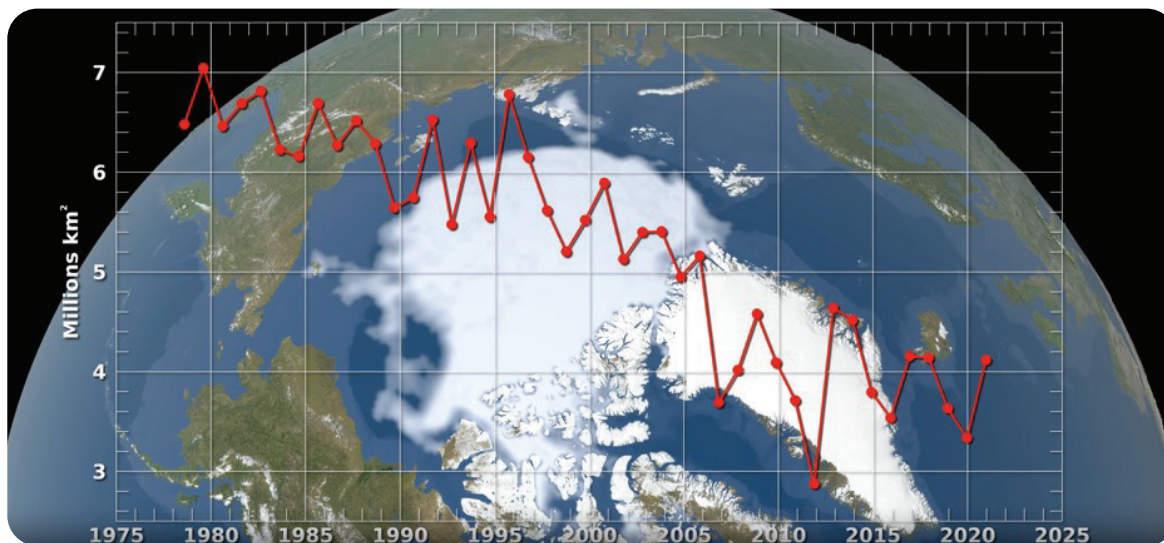
Bien sûr, la glace recouvre toujours la totalité de l'Arctique en hiver. Même un énorme réchauffement de 15 à 20 °C ne permettrait pas d'élever les températures hivernales des régions polaires au-dessus de zéro. Mais l'épaisseur de la glace serait beaucoup plus réduite. Cet effet est clairement visible, même à l'heure actuelle.

Les scientifiques soulignent que la superficie et l'épaisseur des glaces de mer offriront de nouvelles opportunités d'exploiter davantage la voie maritime arctique pour le transport de marchandises entre l'Europe et l'Asie, et vice et versa. La voie traversant l'océan Arctique est bien plus courte que les voies classiques passant par le canal de Suez, et peut considérablement réduire les frais de transport.

Les navires ont plus de chances de réussir à naviguer sur la voie maritime arctique en septembre, lorsque la couverture glaciaire est au minimum de son extension. Toutefois, comme l'illustre la Fig. 2.8.2, même lorsque la couverture glaciaire est au minimum de son extension, rien ne garantit que tous les détroits seront praticables. Cela est notamment vrai pour le détroit de Vilkitsky entre la péninsule de Taïmyr et la terre du Nord, qui constitue un obstacle pour l'ensemble de la voie maritime arctique. Ce détroit est resté encombré de glaces, même en 2007. En revanche, il arrive parfois que la couverture glaciaire soit bien plus étendue, mais que les détroits soient praticables. En bref, il est pour le moment bien trop tôt pour parler avec certitude de navigation exempte de glace le long de la côte arctique de la Russie. Selon les modèles climatiques, l'Arctique ne deviendra entièrement dépourvue de glace que durant la saison estivale, aux alentours de 2050.

Figure 2.8.3

**Extension des glaces de l'océan Arctique (minimum annuel) entre 1978 et 2022**



Il convient de rappeler que la fonte des glaces de l'Arctique entraîne la formation d'icebergs, qui peuvent être dangereux pour les navires, ainsi que pour les plateformes pétrolières implantées sur le plateau continental en pleine mer. À l'avenir, les compagnies pétrolières et les sociétés de transport devront garantir une protection proactive contre les icebergs afin d'éviter les collisions et accidents.



## Menaces pour les animaux de l'Arctique

La fonte des glaces dans les régions polaires a des conséquences majeures sur les animaux marins, notamment le « roi » de l'Arctique, l'ours polaire. Il n'a pas besoin de la glace en tant que telle, mais ses principales proies sont les phoques, qui se trouvent toujours en bordure des glaces.

En raison du réchauffement climatique, la lisière des glaces se retire vers le nord très rapidement au cours du printemps arctique, si rapidement que les ours polaires n'ont pas le temps de réagir et se retrouvent coupés des phoques par de vastes étendues d'eau exempte de glace (Fig. 2.8.4). Un ours est capable de nager sur plusieurs dizaines de kilomètres, mais pas sur des centaines, et la capacité de nage de ses petits est très limitée. En conséquence, un grand nombre de ces animaux sont bloqués sur la côte. Ils sont affamés et peuvent entrer dans les villages à la recherche de nourriture parmi les ordures, ce qui peut être très dangereux, tant pour les animaux que pour les populations. Il existe certaines façons de parer à ce problème.

Premièrement, les populations doivent disposer de moyens d'éloigner les ours, comme des fusils à balles de caoutchouc. Deuxièmement, les villages doivent se débarrasser des déchets alimentaires et les emmener à au moins 1 ou 2 kilomètres du village, de sorte que les ours s'y rendent et ne pénètrent pas dans des zones habitées. Troisièmement, les ours doivent être surveillés par des hommes spécialement formés à cet effet, armés et équipés comme il se doit (leur équipement devant être composé de radios et de téléphones satellites). Cela permettrait de prévenir à la fois les attaques d'ours et le braconnage.

Même s'ils doivent renoncer à leur repas favori de phoque, les ours peuvent trouver suffisamment de nourriture sur la côte maritime (oiseaux morts, œufs et petits animaux). Ils peuvent également chasser les morses, bien qu'un ours polaire ne s'attaquera pas à un morse adulte : un animal blessé et affaibli ou un jeune morse sont de meilleures proies. Les ours s'introduiront parfois dans une colonie de morses, causant ainsi une panique au cours de laquelle les morses se presseront les uns contre les autres et les jeunes morses seront écrasés par les mâles plus imposants, ce qui permettra alors aux ours de se nourrir. Ces tactiques fonctionnent particulièrement bien si les morses ont établi leur colonie non pas sur une plage plate, mais sur une pente ou au bord d'une falaise : lorsque les animaux les plus imposants chutent vers le bas, ils peuvent écraser les jeunes animaux sous eux.

Les morses sont de plus en plus contraints de choisir des lieux inadaptés pour l'établissement de leurs colonies, également en raison de l'absence de glace. Les morses ont non seulement besoin d'îlots de glace sur lesquels se reposer sans perdre leurs forces durant leur migration. Mais ils ont également besoin de glace sur les rives. Auparavant, on dénombrait une grande quantité de glace épaisse le long des côtes, dont une partie formait une croûte sur la plage. Aujourd'hui, il y en a beaucoup moins, et les tempêtes érodent rapidement les sites appropriés pour les colonies de morses ! Les animaux sont donc contraints de choisir d'autres endroits, où ils sont menacés non seulement par les ours, mais également par les hommes.

Figure 2.8.4

**Cet ours, abandonné à son sort sur la côte, à plus de 100 km du bord de la banquise, est particulièrement mécontent du changement climatique.**



Il est arrivé que des milliers de morses apparaissent à de nouveaux endroits (Fig. 2.8.5), entre autres à des endroits proches d'aérodromes. Le son d'un avion approchant a causé une panique au cours de laquelle des dizaines de morses ont été tués. Afin d'éviter qu'une telle chose ne se reproduise, le personnel de l'aérodrome fait délibérément du bruit avant l'arrivée des avions, afin que les morses prennent la mer. Néanmoins, ce type de solution requiert une surveillance minutieuse du déplacement des populations de morses, avec le déploiement de personnels et d'équipements.



**Figure 2.8.5**

**Un nombre record de quelques 35 000 morses regroupés sur le rivage près de Point Lay, Alaska, en septembre 2014. Ils cherchaient un endroit où se reposer après une longue nage dans des eaux exemptes de glace**



Les mers de Barents et de Kara constituent l'habitat du morse de l'Atlantique, lequel est répertorié dans le Livre rouge. On ne dénombre que quelques colonies de ces animaux, dont certaines se situent dans des zones reculées de l'archipel François-Joseph, et d'autres dans des lieux relativement accessibles, le long des voies de transport et dans des endroits prévus pour y installer des plateformes pétrolières et gazières. Il sera essentiel d'effectuer une surveillance étroite et d'identifier les problèmes de manière anticipée, afin d'éviter la disparition des morses dans cette partie de l'Arctique.

La survie des phoques de la mer Blanche pose un autre problème. Contrairement aux ours et aux morses, les phoques ne peuvent vivre le long des côtes où ils constitueraient une proie facile pour les loups, les chiens et autres prédateurs. Pendant longtemps, le phoque a été chassé par les populations de la côte arctique, et la fourrure blanche des jeunes phoques était particulièrement prisée. La chasse en est aujourd'hui interdite. De nombreux phoques périssent également en raison du passage des navires dans les zones où ils sont implantés. Les capitaines de navire ont désormais l'instruction d'éviter les endroits où les phoques se rassemblent.

Les phoques de la mer Blanche étaient auparavant chassés pour la fourrure des bébés phoques. Les voies de navigation qui passent par les endroits où ces animaux se rassemblent ont également posé problème. Aujourd'hui, les phoques sont confrontés à un autre problème : la diminution de la couverture glaciaire de la mer Blanche due au réchauffement climatique ne leur permet pas d'assurer la survie de leurs bébés.



Les phoques sont confrontés à un autre problème en raison du réchauffement climatique : la fourrure des bébés phoques est très chaude, mais pas étanche. Par conséquent, toute chute dans l'eau ou même dans des flaques formées par la fonte des glaces peut leur être fatale : ils gèlent, tombent malades et souvent meurent. Plus tard, si les quantités de glace venaient à se réduire davantage, il pourrait s'avérer nécessaire de trouver une île protégée permettant aux bébés phoques de grandir en toute sécurité.

Le renne est également touché par le changement climatique. Du fait de la mauvaise qualité de la couverture glaciaire des rivières, les éleveurs ont davantage de difficultés à guider leurs troupeaux vers des endroits appropriés au début de l'hiver. Le renne peut traverser une rivière à la nage, ou marcher sur une glace robuste. Mais il ne peut traverser une rivière couverte d'une fragile couche de glace. La disparition de la glace formée sur les rivières plus tôt dans l'année et la fonte de la toundra créent des obstacles à la migration des rennes et entraînent souvent le décès de nombreuses bêtes.

Nous ne pouvons facilement et rapidement mettre fin au changement climatique, il est donc essentiel de parer à ces problèmes en supprimant les autres obstacles créés par l'homme. Par exemple, en s'assurant que les conduites de gaz n'interfèrent pas avec la migration des rennes. Pour le moment, les conduites présentes dans les régions du pergélisol sont placées au-dessus du sol sur des supports spéciaux, ce qui empêche le renne de passer dessous ou de sauter au-dessus. La construction de sections aériennes spéciales est nécessaire pour permettre aux animaux de passer sous les conduites.



## Fonte du pergélisol

La région du pergélisol arctique est peuplée depuis plusieurs milliers d'années, toutefois ces peuples autochtones (Chukchi, Nenets, Yakuts, Evenks, Aleut, Yupik et Inuit) n'ont pas construit de maisons et leur mode de vie n'a pas endommagé le sol gelé de la région du pergélisol arctique. Lorsque les Russes sont arrivés pour la première en Arctique et ont découvert que le sol gelait sur une profondeur de plusieurs mètres et que seule la couche supérieure fondait en été, ils ont été particulièrement surpris. Les chefs des colons écrivirent que la terre était gelée, de sorte qu'il était impossible d'y cultiver du blé.

Figure 2.8.6

Fonte du pergélisol, Svalbard Norvège



La nature du pergélisol n'a été comprise qu'à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, lorsqu'il a été constaté que le pergélisol allait jusqu'à 1 500 m de profondeur à certains endroits. Néanmoins, la couche gelée exposée à des températures comprises entre -2 et -7 °C affichait généralement une épaisseur de 100 m.

Dans les endroits exempts de pergélisol, la température du sous-sol est toujours de quelques degrés au-dessus de zéro, de sorte que des canalisations d'eau peuvent être installées en toute sécurité et l'eau des ruisseaux et rivières être acheminée à l'aide de canalisations et de tunnels au profit des villes. La couche supérieure du sol dégèle en été, cependant les couches gelées restent en place à une profondeur allant de 10 cm au nord à 1 m au sud du pergélisol.

La construction est particulièrement difficile sur le terrain du pergélisol en raison de problèmes avec les fondations. Le sol gelé ne peut être creusé, mais doit être péniblement cassé ou dégelé. Il est possible de percer, découper et même faire exploser le pergélisol, mais cela coûte cher et nécessite un équipement spécifique. Le pergélisol contient de grandes quantités de glace, parfois même des couches entières (Fig. 2.8.7).

Par conséquent, lorsque le dessus du pergélisol fond en été, il forme une légère couche « semi-liquide » incapable de supporter des bâtiments, des appuis de pont ou des lignes électriques. De telles constructions doivent reposer sur des piliers enfoncés profondément dans le sol, à des niveaux où la glace ne fond jamais.

Le dégel parfaitement inégal qui intervient en été pose également d'autres problèmes. Le relief n'est pas plat, et la nature du sol peut varier uniquement en se déplaçant de quelques mètres vers la gauche ou la droite. Il peut arriver qu'une quantité d'eau plus importante s'accumule à certains endroits durant la saison chaude et soit bloquée dans le sous-sol en raison du pergélisol. L'hiver venu, l'eau ainsi piégée gèle et se transforme en inclusions (lentilles) et couches de glace. La glace prend plus d'espace que l'eau, par conséquent le sol gonfle. Des bosses et des irrégularités se forment, lesquelles sont susceptibles de détruire des bâtiments et des routes (Figures : 2.8.8 et 2.8.9).

Figure 2.8.7

Une section verticale du pergélisol avec des couches de glace



Figure 2.8.8

Une section ferroviaire endommagée par les effets du pergélisol



Figure 2.8.9

Un bâtiment détruit par un gonflement et un affaissement inégal au-dessus du pergélisol





À mesure que le climat change et que les températures augmentent, le pergélisol se dégèle à des niveaux de plus en plus profonds en été. La profondeur d'ancrage des piliers précédemment construits pourrait ne pas suffire et ceux-ci pourraient commencer à « flotter », entraînant la déformation et l'effondrement des bâtiments.

Les problèmes ne s'arrêtent pas là. Lorsque le réchauffement climatique progresse, une année particulièrement chaude peut entraîner le dégel du pergélisol sur une plus grande profondeur que d'ordinaire, et l'eau piégée s'échapper. Cela laisse des espaces vides dans le sous-sol, le terrain s'affaisse et les appuis de pont, les lignes électriques ou même les petites constructions peuvent s'effondrer. Cet effet s'appelle le thermokarst. Il est extrêmement dangereux et son ampleur du fait du réchauffement climatique n'était pas prévisible à l'époque où les bâtiments ont été conçus et construits dans l'Arctique (Figures 2.8.10 et 2.8.11).

Les fuites d'eau s'infiltrant dans le sol du fait de l'action humaine ajoutent aux risques. L'affaiblissement supplémentaire du pergélisol dû au réchauffement climatique pourrait entraîner de graves problèmes de thermokarst associés à la fuite des canalisations d'eau et conduites d'évacuation, qui étaient moins dangereuses lorsque le pergélisol était solidement établi. La règle à suivre est la suivante : ôter la neige des toits et des espaces adjacents à un bâtiment avant qu'elle ne fonde, car l'eau ne doit pas s'infiltrer sous le bâtiment.

Quelles sont les mesures à prendre ? Nous ne pouvons arrêter rapidement le changement climatique, et ses effets nuisibles augmentent rapidement. D'importantes sommes devront être investies dans la congélation directe du sol et dans la conception de bâtiments plus onéreux, capables de résister aux nouvelles conditions.

**Figure 2.8.10**

**Un immeuble qui s'est effondré dans le village de Chervis (Russie)**



**Figure 2.8.11**

**Un angle d'immeuble qui s'est effondré à Yakutsk (Russie)**





Le maintien du pergélisol en Arctique peut être assuré par des dispositifs relativement simples. Parfois, des conduits de ventilation souterrains suffisent : l'air très froid de la surface gèle le sol à des températures si basses qu'il n'a pas le temps de fondre durant l'été. Cette méthode convient particulièrement pour les routes, qui sont sur des remblais surélevés. Le sol du remblai peut être maintenu gelé grâce à la pose de canalisations d'environ 20 cm de diamètre, espacées de 50 cm, de part et d'autre du remblai.

Le sol peut également être congelé à l'aide de dispositifs appelés thermosiphons – tubes verticaux, hermétiquement fermés des deux côtés, enfoncés d'un côté dans le sol et dépassant de l'autre de 2 ou 3 m au-dessus du sol (Fig. 2.8.13). Le tube est partiellement rempli d'un liquide de refroidissement (réfrigérant), tel que l'ammoniaque ou le dioxyde de carbone liquide. Le thermosiphon congèle le sol en hiver en raison de la différence de température entre le sol relativement chaud (quelques degrés en-dessous de zéro) et l'air, qui est 20 à 40 °C plus froid. Le liquide réfrigérant au fond du tuyau s'évapore du fait de la température plus élevée du sol, entraînant le refroidissement du sol. La vapeur réfrigérante s'élève ensuite vers le haut et se condense dans l'atmosphère froide au-dessus du sol, à la suite de quoi elle reflue vers le bas et le processus se répète.

Le thermosiphon achemine donc le froid dans le sous-sol, abaissant ainsi la température du sol de quelques degrés supplémentaires par rapport à ce qui se serait autrement produit, cela suffit à s'assurer que le sol ne fondra pas en été. Le thermosiphon ne fonctionne pas en été, car l'air est plus chaud que le sol et le réfrigérant à l'intérieur du conduit ne circule pas. En été, le conduit métallique achemine la chaleur dans le sol, mais l'effet est moindre que celui obtenu en hiver. Cela est un moyen de congeler le sol situé sous les routes et les supports de tuyauteries, et même sous les grands édifices. Cependant, les thermosiphons ne doivent pas être installés à plus de 1 m de distance les uns des autres (Fig. 2.8.13).



Figure 2.8.12

**Dégel futur du pergélisol au travers de l'Arctique. Les zones en rouge correspondent aux régions touchées par le dégel d'ici 2050, les régions en orange à celles touchées d'ici 2100, et les régions en jaune à celles encore gelées en 2100**

Il serait erroné de croire que les thermosiphons offrent une solution simple au problème de la fonte du pergélisol. Ils doivent être régulièrement remplacés, et malgré leur simplicité, ils sont onéreux. Selon les estimations, une congélation permanente du sol situé sous les supports de gazoducs en Russie exigerait un investissement de 10 milliards de dollars américains !

Par ailleurs, les thermosiphons ne constituent qu'une mesure provisoire, car ils ne peuvent abaisser la température que de quelques degrés et seront sans effet en cas de réchauffement plus intense. Les routes devront être installées sur des supports spéciaux enfoncés profondément dans le sol, essentiellement, afin de créer une voie surélevée sur piliers, ce qui augmentera considérablement les coûts de construction (Fig. 2.8.14).

**Figure 2.8.13**

**Route équipée de thermosiphons refroidissant le sol**



**Figure 2.8.14**

**Route reposant sur des supports enfoncés profondément dans le sol**



Il n'est pas toujours possible de s'assurer que le sol reste gelé, et les technologies de congélation sont impuissantes face aux tempêtes et à l'importante érosion côtière. Il arrive de plus en plus souvent qu'il soit impossible de sauver les édifices et les infrastructures, la seule solution consistant à déplacer les populations.

Autre point important, de grandes quantités de gaz à effet de serre sont rejetées par le sol de la toundra lors du processus de fonte du pergélisol, ce qui augmente l'effet de serre et accélère le réchauffement climatique

## Anomalies climatiques dans l'Arctique

Comme vous le savez déjà, le vent et la température sont deux facteurs à prendre en compte lors de l'évaluation des conditions météorologiques. Un froid extrême sans vent vaut bien mieux qu'un puissant blizzard empêchant quasiment toute activité extérieure, notamment le déplacement d'un lieu à un autre. Travailler dans le blizzard est particulièrement dangereux et difficile. Les vents forts sont de plus en plus courants dans l'Arctique, ce qui requiert l'utilisation de quantités croissantes d'équipements spéciaux, de vêtements, d'équipements de sécurité et de provisions pour faire face aux tempêtes de neige prolongées.

Les niveaux d'humidité dans l'Arctique ont augmenté, ce qui a souvent entraîné une alternance de périodes de gelée et de dégel. Par conséquent, les routes, les ponts et les lignes électriques sont souvent recouverts d'une couche de glace, ce qui donne lieu à des pannes et des accidents plus fréquents. Les édifices et structures se détériorent plus rapidement en raison de l'action de l'eau et de la glace sur les micro fissures. L'eau peut s'infiltrer dans la moindre petite fissure, puis se transforme en glace et gonfle, ce qui contribue à agrandir la fissure. La glace fond, davantage d'eau s'infiltrer, qui gèle à son tour, ce qui agrandit d'autant plus la fissure. Plus ce cycle se répète, plus l'édifice se dégrade rapidement.

Les basses régions, comme la péninsule de Yamal, sont de plus en plus affectées par les puissantes inondations printanières, durant lesquelles de vastes territoires sont inondés d'eau sur une profondeur d'un mètre ou plus. La péninsule de Yamal connaît aujourd'hui davantage de chutes de neige, toutefois les grandes quantités de neige qui en résultent fondent désormais plus vite au printemps. Yamal est également confrontée à un autre problème, à savoir l'infiltration d'eau salée dans les eaux souterraines, ce qui entraîne la rapide érosion des sections souterraines de tous types d'édifices.

## Quels sont les effets du changement climatique sur les peuples autochtones du Nord ?

Les populations autochtones de l'Arctique souffrent du changement climatique, car leur mode de vie et leurs moyens de subsistance traditionnels dépendent directement des conditions climatiques. La chasse, la pêche, la récolte de produits naturels et l'élevage de rennes offrent à ces populations de quoi se nourrir, elles constituent leur principale source de revenus et sont très importantes pour la préservation des traditions et de la culture de ces peuples et des territoires où ils vivent.

Figure 2.8.15

Mode de vie des peuples autochtones de l'Arctique





L'élevage de rennes représente une part importante des moyens de subsistance et du mode de vies des peuples autochtones du Grand Nord. Les dégels plus fréquents dus au changement climatique impliquent que le sol est souvent recouvert d'une couche de glace, les rennes ayant alors davantage de difficultés à trouver et consommer du lichen. La fonte du pergélisol, les changements des conditions d'enneigement, ainsi qu'une fonte plus précoce et un gel plus tardif de la glace des rivières bouleversent les itinéraires de migration des rennes entre les pâturages d'hiver et d'été. Les changements apportés aux itinéraires de migration des rennes et la diminution des populations d'animaux marins, dont la chasse fait partie intégrante du mode de vie des peuples du Grand Nord, contraignent les populations à chercher de nouvelles sources d'alimentation et de revenus.

Comment aider les peuples autochtones de l'Arctique à s'adapter au changement climatique ?

1. Mener des campagnes d'information au sein de la population locale au sujet du changement climatique et de ses conséquences éventuelles, afin qu'elle puisse se préparer à combattre ces problèmes.
2. Développer l'écotourisme dans ces régions.
3. Offrir un meilleur accès aux soins dans le Grand Nord, notamment dans les régions et villages reculés, et assurer un approvisionnement fiable en électricité et en chaleur.

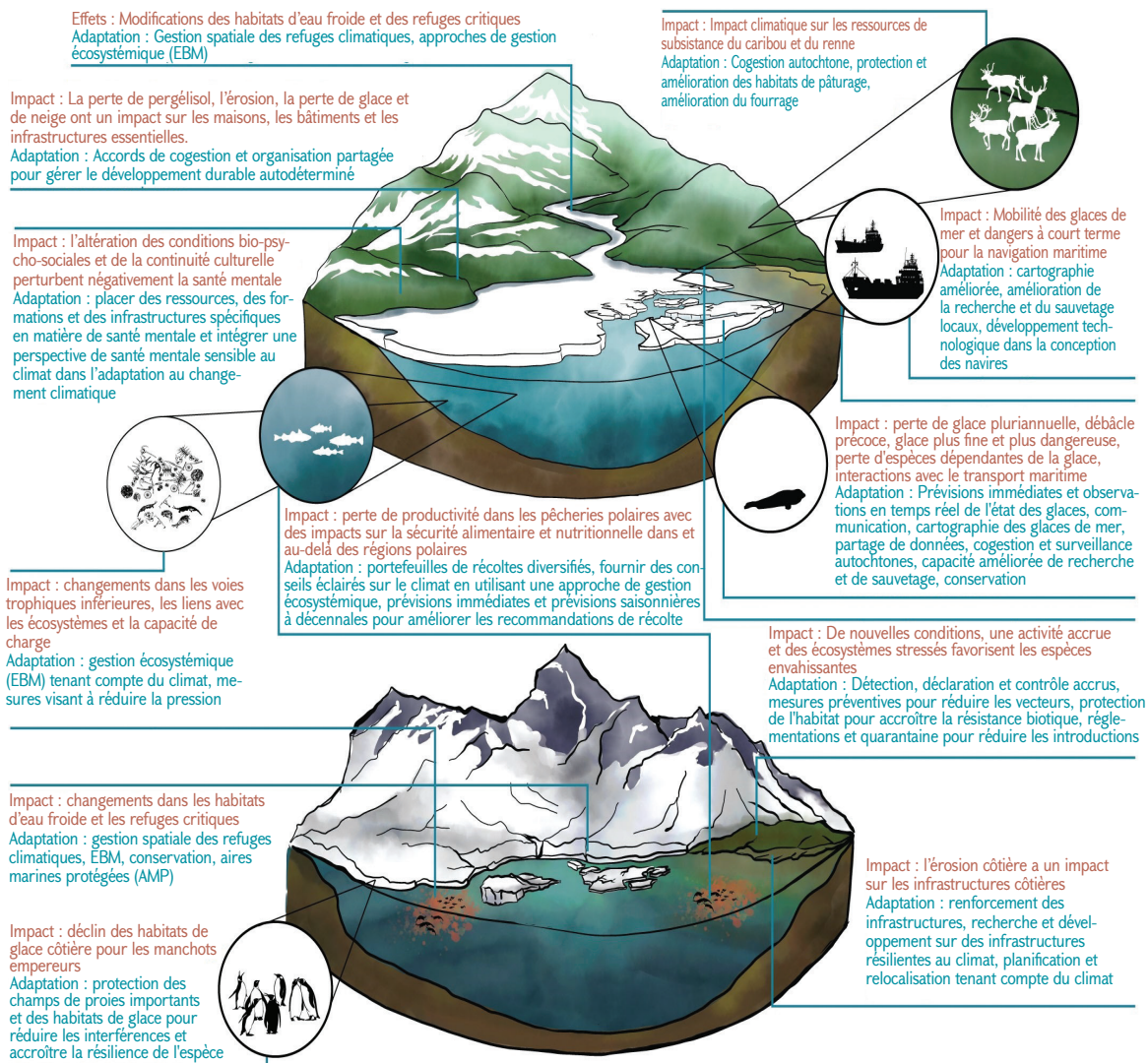
### **Comment les impacts du changement climatique et le potentiel d'adaptation dans l'Arctique se comparent-ils à ceux de l'Antarctique ?**

Nous connaissons déjà l'amplification polaire, qui signifie que les pôles de la Terre se réchauffent plus rapidement que la moyenne mondiale. Nous savons également déjà que l'Arctique s'est réchauffé près de quatre fois plus vite que la moyenne mondiale au cours des quatre dernières décennies et que l'Antarctique se réchauffe deux fois plus vite que la moyenne mondiale. Les scientifiques ont comparé les impacts du changement climatique et les options d'adaptation dans l'Arctique et l'Antarctique, qui montrent certaines similitudes et différences, par exemple en raison de différents habitats (Figure 2.8.16).



Figure 2.8.16

## Impacts du changement climatique et potentiel d'adaptation dans l'Arctique et l'Antarctique



## Qu'en est-il des effets positifs du réchauffement du climat ?

Il est vrai que le changement climatique dans l'Arctique offre certaines opportunités. Les dépenses en matière de chauffage sont moins importantes et la diminution de la couverture glaciaire permet d'utiliser l'océan Arctique comme route maritime entre l'Europe, le Japon et la Chine, et inversement. La mise en place d'infrastructures de trafic maritime est nécessaire le long de la route maritime arctique, notamment des balises, des équipements de secours, et des ports où les navires pourront demeurer en cas de tempête ou trouver refuge en cas d'apparition soudaine de glace.

Mais, le climat de plus en plus instable de l'Arctique et le réchauffement mondial donneront lieu à des blizzards plus fréquents et à de brusques variations de température.

La période de chauffage pourra être raccourcie, toutefois les conditions météorologiques imprévisibles nous imposent d'apprendre à régler le chauffage en fonction de la température extérieure réelle et non en fonction de la date indiquée sur le calendrier. Cela implique l'installation de régulateurs sur les radiateurs, afin que les résidents puissent régler la température de leurs logements selon les besoins. Les services russes en charge du logement ne sont pas prêts pour cela, cela demandera donc des ouvrages et équipements supplémentaires.



Le changement climatique aura plus d'incidences négatives que positives sur l'ensemble des régions de l'Arctique.

Selon les climatologues et les économistes, l'adaptation à la fonte du pergélisol, à l'érosion côtière et à toutes les éventuelles incidences négatives du changement climatique est possible, mais très onéreuse. Il est donc très important de trouver un ou plusieurs moyens d'atténuer le réchauffement climatique.





# QUESTIONS

1

Où le réchauffement climatique évolue-t-il le plus rapidement : dans le monde entier ou dans l'Arctique ?

\_\_\_\_\_

2

Pourquoi la température de l'air augmente-t-elle rapidement lorsque les champs de glace de l'Arctique se morcellent au printemps afin de laisser place à des eaux libres ?

\_\_\_\_\_

3

Pourquoi les ours polaires sont-ils affectés par le rétrécissement de la banquise ? Ont-ils besoin de glace ?

\_\_\_\_\_

4

Quel est le danger qui menace actuellement les phoques de la mer Blanche ?

\_\_\_\_\_

5

Pourquoi la fonte du pergélisol est-elle dangereuse pour les édifices ? Que recommanderiez-vous pour que les bâtiments et autres infrastructures s'adaptent à la fonte du pergélisol ?

\_\_\_\_\_

6

De quelle manière le changement climatique affecte-t-il la vie des peuples autochtones de l'Arctique ? Que faire pour les aider à s'adapter au changement climatique ?





# EXERCICES



1

## Expérience

But de l'expérience : Observer comment le volume d'eau évolue lorsque l'eau gèle.

Matériel : Bouteilles en verre étanches, eau.

Comment procéder : Remplissez la bouteille en verre d'eau, fermez-la et mettez-la au congélateur. Qu'est-il arrivé à la bouteille lorsque l'eau a gelé ? Pour quelle raison ? Faites un parallèle avec les processus générés par le pergélisol.

2

## Expérience

But de l'expérience : Observer les changements apportés aux propriétés physiques des matériaux lorsqu'ils gèlent et dégèlent.

Matériel : Une boîte en plastique ou en carton contenant de la crème aigre. Observez. Un sol ayant gelé, puis dégelé, ne sera pas le même qu'avant de geler. Des couches de glace pourront s'y développer, lesquelles se répartiront entre eau et sol au moment du dégel. La crème aigre fonctionne selon le même principe lorsqu'elle est congelée puis décongelée.

Comment procéder : Prenez un pot de crème aigre en carton ou en plastique. Mettez-le au congélateur. Lorsque la crème gèlera, elle ne formera pas un unique bloc : des couches de glace apparaîtront. Au moment de sa décongélation, la crème se divisera en un liquide blanc et une substance blanche plus épaisse (une fois mélangée, cette mixture retrouvera son apparence de crème aigre et sera parfaitement mangeable).

## 2.9 | Les effets du changement climatique sur les villes et la santé

### La moitié de la population mondiale vit en ville

Depuis des temps immémoriaux, les populations de chaque pays et chaque région géographique du monde se sont divisées entre citadins, d'une part, et paysans, d'autre part. Historiquement, les villes offrent de meilleures conditions professionnelles, les premières usines y ont par exemple été construites, et constituent un lieu de vie plus sûr, car protégées par des murs. Les populations vivant hors des villes se sont concentrées sur l'agriculture : la culture ou l'élevage.

Depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, on constate un afflux majeur de population vers les villes. Ce processus s'appelle l'urbanisation.

Figure 2.9.1

La vieille ville de Berne en 1820





## L'URBANISATION

est le processus par lequel les villes acquièrent une position dominante dans une société. Elle est le fruit de la croissance de l'industrie dans les villes, du développement de leurs fonctions culturelles et politiques et de l'approfondissement de la répartition territoriale du travail.



En 2008, en conséquence de l'urbanisation, la part de population mondiale vivant dans les villes a, pour la première fois, dépassé 50 % et a continué à croître par la suite (Fig. 2.9.2). À la mi-2023, environ 4,6 milliards des plus de huit milliards d'habitants de la planète vivaient dans des villes. Cela représente 57 % de la population mondiale. Selon les Nations Unies, la population urbaine devrait augmenter de près de 600 millions d'ici 2030, pour atteindre un total de 5,2 milliards (environ 60 % de la population mondiale).

Il existe actuellement 34 villes dans le monde comptant plus de 10 millions d'habitants. La plupart de ces mégapoles sont situées en Asie (21), en Amérique latine (6) et en Afrique (3). La plus grande ville est l'agglomération urbaine de Tokyo, avec une population de plus de 38 millions d'habitants (tableau 2.9.1). Viennent ensuite Delhi (26,5 millions) et Shanghai (24,5 millions). Selon les calculs des Nations Unies, le nombre de mégapoles devrait atteindre 43 d'ici 2030. Delhi sera alors la plus grande ville du monde, avec une population de près de 39 millions d'habitants.

L'étude du climat des villes importe donc à plus de la moitié au moins de la population de la planète.

Figure 2.9.2

**Part de la population urbaine par rapport à l'ensemble de la population dans les plus grandes villes du monde en 2018**

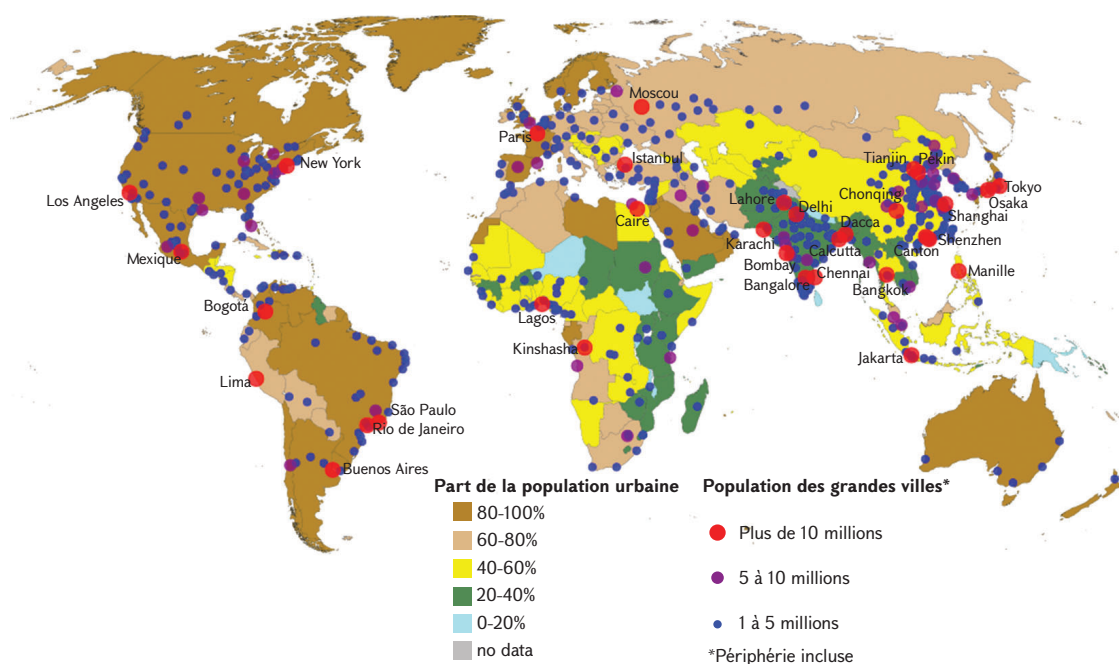


Table 2.9.1

## Villes de plus de 10 millions d'habitants

| N° | Ville        | Pays                                                                                          | Population<br>(en millions de personnes) |
|----|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 1  | Tokyo        |  Japan       | 38.1                                     |
| 2  | Delhi        |  Inde        | 26.5                                     |
| 3  | Shanghai     |  Chine       | 24.5                                     |
| 4  | Mumbai       |  Inde        | 21.4                                     |
| 5  | São Paulo    |  Brésil      | 21.3                                     |
| 6  | Pékin        |  Chine       | 21.2                                     |
| 7  | Mexico City  |  Mexique     | 21.2                                     |
| 8  | Osaka        |  Japan       | 20.3                                     |
| 9  | Le Caire     |  Égypte      | 19.1                                     |
| 10 | New York     |  USA         | 18.6                                     |
| 11 | Dhaka        |  Bangladesh  | 18.2                                     |
| 12 | Karachi      |  Pakistan   | 17.1                                     |
| 13 | Buenos Aires |  Argentine | 15.3                                     |
| 14 | Calcutta     |  Inde      | 15.0                                     |
| 15 | Istanbul     |  Turquie   | 14.4                                     |

Figure 2.9.3

Tokyo et ses 38 millions d'habitants est la plus grande ville du monde en termes de population



## Pourquoi les villes sont-elles qualifiées d'îlots de chaleur ?

Les points chauds écologiques uniques que constituent les villes sur la planète, doivent être interprétés littéralement, en effet, les émissions des différentes substances émanant des usines et des véhicules « stagnent » dans la couche inférieure de l'atmosphère au-dessus des villes, créant ainsi un effet de serre, ce qui entraîne l'augmentation de la température de l'air de la ville de plusieurs degrés par rapport à sa périphérie. Par conséquent, les scientifiques qualifient les villes d'îlots de chaleur.

### UN ILOT DE CHALEUR

Sostituire con ÎLOT est une zone située dans le centre d'une grande ville, où la température de l'air est supérieure à celles des zones périphériques. L'effet d'îlot de chaleur urbain se fait surtout sentir en soirée et au cours de la nuit, notamment au printemps et à l'automne, lorsque la différence de température entre le centre de la ville et les zones périphériques peut être de 10 à 15 °C.

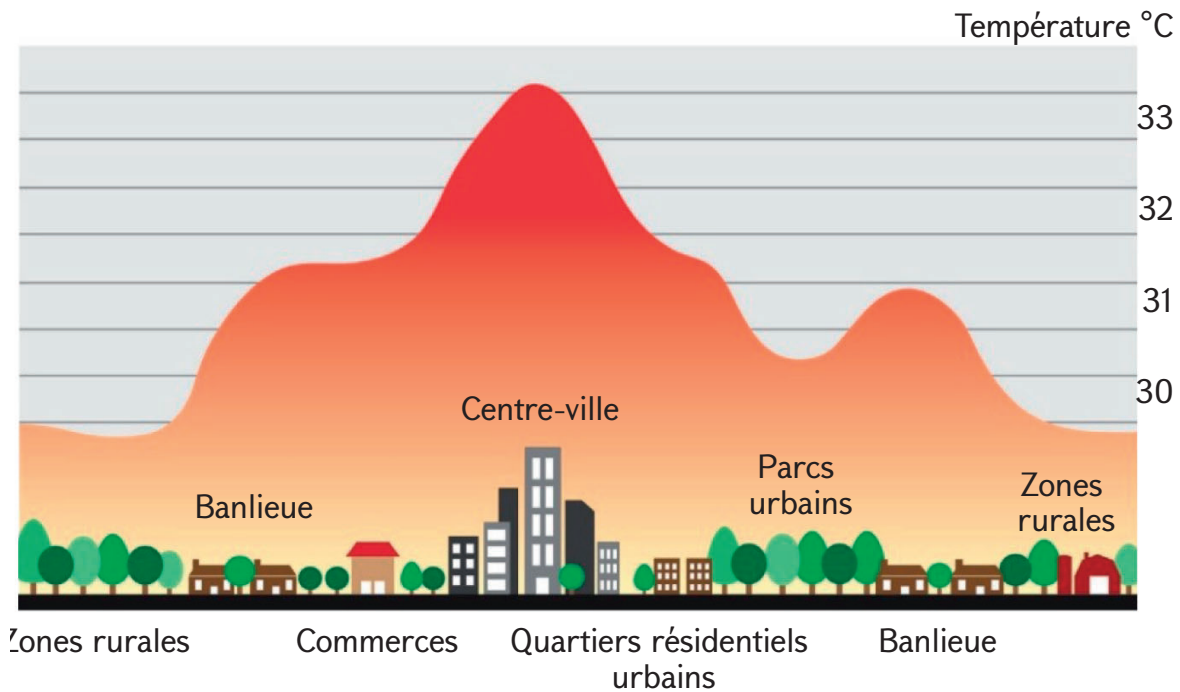
L'effet d'îlot de chaleur dans les grands centres urbains est intensifié par le processus de réchauffement climatique.

Nous avons tous personnellement fait l'expérience de l'effet d'îlot de chaleur urbain : lorsque l'on sort d'un immeuble urbain lors d'une chaude soirée d'été, la température dans la rue est suffisamment chaude pour se promener avec des vêtements légers, mais à l'extérieur de la ville, la soirée est suffisamment fraîche pour supporter une veste, même durant le mois le plus chaud. Cela est dû au fait que dans un environnement urbain, l'air se refroidit plus lentement : il reste chaud grâce aux murs et aux toits des édifices qui se sont imprégnés de chaleur au cours de la journée.





Figure 2.9.4

Répartition de la température de l'air au-dessus d'une ville  
(îlot de chaleur urbain)

## Premières études du climat urbain

Les premières études du climat urbain ont été menées par l'anglais Luke Howard (1772-1864), un météorologue amateur à Londres fasciné depuis toujours par les nuages et la météo.

De 1806 à 1831, Howard a effectué des mesures quotidiennes de la pression atmosphérique, de la température de l'air et de l'humidité, des précipitations et de l'évaporation dans la banlieue de Londres. Pour ses observations, il s'est appuyé sur les articles de journaux faisant mention d'événements météorologiques précis. Howard n'avait pas l'intention d'étudier précisément le climat londonien, mais souhaitait réaliser des études générales sur le climat, en se servant de Londres comme point de référence pour ses observations. Néanmoins, le point crucial de ses études et ce qui lui a valu la qualité de fondateur de la climatologie urbaine a été sa démarche de comparer les données de ses propres mesures météorologiques avec celles réalisées par la Royal Society sur un site situé au cœur de Londres. La comparaison a révélé ce que les chercheurs modernes appellent l'effet « d'îlot de chaleur urbain ».



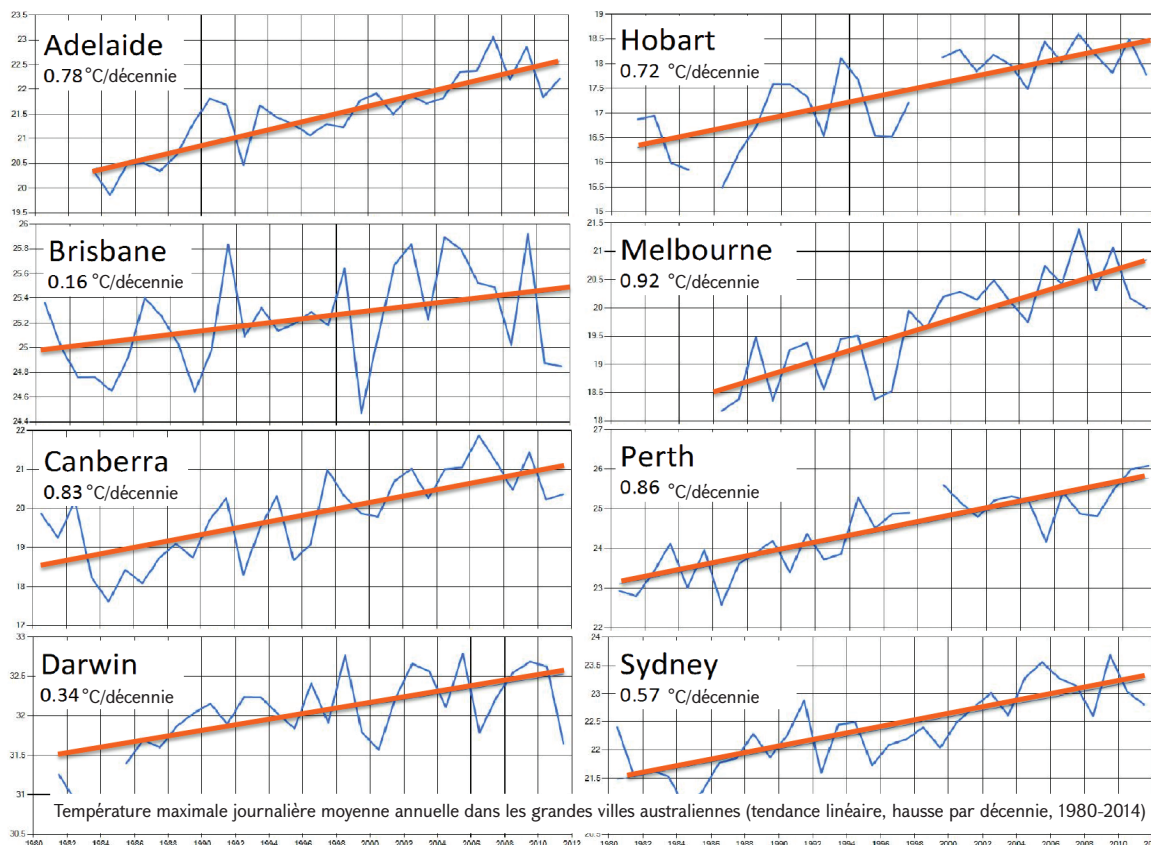
## Quels sont les effets du changement climatique sur les habitants des villes ?

Le changement climatique a des effets substantiels sur la santé et la vie humaine. Nous savons déjà que notre santé dépend de facteurs comme le mode de vie, la sécurité alimentaire, l'hérédité, la profession exercée, l'environnement et l'accès aux soins, mais il apparaît aujourd'hui qu'elle dépend également du changement climatique.

Le changement climatique est particulièrement perceptible en ville, et notamment dans les grandes villes. À titre d'exemple, l'augmentation de la température de l'air à Moscou au cours du dernier siècle a été de plus de 2 °C, tandis que la hausse de la température moyenne mondiale n'a été que de 1 °C. La température de l'air augmente également rapidement dans d'autres grandes villes du monde (Fig. 2.9.5).

Figure 2.9.5

**Modification de la température maximale journalière moyenne annuelle dans les grandes villes australiennes entre 1980 et 2014. Tendance linéaire, hausse exprimée par décennie**



Les experts de l'Organisation mondiale de la santé estiment que le réchauffement climatique générera des périodes d'extrême chaleur de plus en plus fréquentes, intenses et longues. On sait que les variations de pression, de température et d'humidité peuvent rendre les conditions de vie particulièrement inconfortables dans les villes, et que davantage de cas de décès chez les personnes âgées, jeunes enfants et les personnes malades y sont recensés en période de forte chaleur. La chaleur extrême s'accompagne de concentrations plus élevées de pollen et autres particules susceptibles de causer des allergies et de l'asthme.

Les personnes vivant et travaillant en centre-ville, et les personnes dont le travail nécessite de passer beaucoup de temps en extérieur (employés des travaux publics, ouvriers du bâtiment, etc.) sont particulièrement exposés par temps chaud.

Si une vague de chaleur dure plus d'une semaine, elle peut entraîner des problèmes cardiaques, voire la mort, chez les personnes âgées et les personnes en mauvaise santé.

Selon une étude publiée dans la revue *Nature Medicine*, près de 62 000 personnes sont mortes de causes liées à la chaleur en Europe au cours de l'été 2022. L'étude a analysé les données de température et de mortalité entre 2015 et 2022 pour 35 pays européens, représentant une population totale de 543 millions, et les a utilisées pour créer des modèles épidémiologiques permettant de calculer les décès liés à la chaleur. Les chercheurs ont découvert que l'Italie était le pays le plus durement touché, avec environ 18 000 décès, suivie de l'Espagne avec plus de 11 000 et de l'Allemagne avec environ 8 000. La chaleur extrême a touché de manière disproportionnée les personnes âgées et les femmes. Sur les près de 62 000 décès analysés, le taux de mortalité lié à la chaleur était 63 % plus élevé chez les femmes que chez les hommes. L'âge est également un facteur important, le nombre de décès augmentant considérablement chez les personnes âgées de 65 ans et plus.

La prévision d'une vague de chaleur en temps opportun est extrêmement importante, car elle donne la possibilité au personnel médical de s'y préparer. L'Organisation météorologique mondiale (OMM) recommande de transmettre une alerte au moins deux jours avant le début de la période d'extrême chaleur.

Les USA, le Canada, la France et certains autres pays ont déjà pris certaines mesures pour faire face aux problèmes liés à l'effet d'îlot de chaleur dans le contexte du réchauffement climatique. À titre d'exemple, la ville américaine de Philadelphie préconise un système de « bons offices » durant les canicules : les médias rendent régulièrement compte de l'évolution des conditions météorologiques et dispensent des conseils sur la façon d'éviter les maladies liées à la chaleur. Le numéro d'une ligne d'assistance téléphonique est publié dans les journaux et est également affiché sur un grand écran à forte visibilité en centre-ville. Les services médicaux d'urgence et les services d'incendie prévoient du personnel supplémentaire. Des locaux climatisés dédiés sont mis à la disposition des personnes âgées, qui y sont amenées par un service de transport spécial et gratuit afin de moins souffrir de la chaleur.



Les températures que les populations de régions climatiques plus chaudes considèrent comme normales peuvent être qualifiées de vague de chaleur dans les régions plus fraîches si elles sortent des tendances climatiques habituelles. Aux États-Unis par exemple, la définition d'une vague de chaleur varie selon la région. Dans les états du nord-est, celle-ci est généralement définie comme une période de trois jours consécutifs durant lesquels les températures atteignent ou dépassent 90 °F (+32,2 °C). En Californie, où le climat est plus chaud, la vague de chaleur est associée à un seuil plus élevé de 100 °F (+37,8 °C) pendant trois jours consécutifs ou plus. Le National Weather Service émet des alertes canicules lorsque des périodes inhabituelles de forte chaleur sont attendues.



### Précautions à prendre en période de chaleur

- Porter des vêtements en fibres naturelles : ils aident à éviter les coups de chaleur en permettant à la peau de respirer.
- Conserver une bouteille d'eau sur soi, de préférence d'eau pas trop froide. Il faut boire au moins 3 litres d'eau par jour en période de chaleur.
- Ne pas s'exposer directement au soleil. Le soleil est à son plus fort de 12 h à 16h, il est donc recommandé de rester à l'intérieur durant ces heures.
- Toujours porter un chapeau ou un couvre-chef.
- Ne pas acheter de denrées périssables : les bactéries se multiplient très rapidement lorsque les températures sont élevées, il y a donc risque d'intoxication alimentaire grave.
- Manger beaucoup de fruits, de légumes, de salades diverses et de soupes froides.
- Éviter les aliments gras et salés.
- Ne pas faire trop de sport et d'entraînement physique.
- Rester calme : le stress augmente le risque de coup de chaleur, d'insolation et d'accidents cardiovasculaires.
- Ne pas s'asseoir directement sous l'air conditionné : la différence de température entre la chaleur de la rue et une pièce climatisée est très importante, et de telles variations de température peuvent provoquer des rhumes et des pneumonies.

Le changement climatique a une incidence négative sur la santé (Fig. 2.9.6). Les maladies infectieuses dangereuses, comme l'encéphalite et la malaria, se développent dans des régions où elles n'étaient pas présentes auparavant, et la période de l'année où il existe un risque d'infection est plus longue.

## Le changement climatique augmente les risques d'infection

**L'encéphalite à tiques** est une infection virale. Le virus pénètre dans l'organisme humain par la morsure d'une tique infectée. Les tiques encéphalitiques, principales porteuses du virus, vivent dans la taïga et dans les régions forestières de Sibérie, de l'Oural et de l'Extrême-Orient russe. Néanmoins, récemment, un nombre croissant de cas d'infection ont été recensés dans les régions centrale de la Russie européenne, dans le nord-ouest du pays et dans la région de la Volga. Des cas d'encéphalite à tiques ont été recensés pour la première fois dans des parties de la Russie européenne, et les scientifiques attribuent cela au réchauffement climatique.

Le temps plus clément en hiver et au printemps favorise la propagation des tiques : elles ont davantage de chances de survivre à l'hiver et peuvent ainsi se multiplier rapidement au printemps. En règle générale, seule une petite proportion des tiques sont infectées par l'encéphalite. Toutefois, la hausse du nombre total de tiques implique une hausse du nombre d'individus infectés.

**La Malaria** (de l'italien « mala aria », signifiant « mauvais air »), appelée également « fièvre des marais », est une maladie infectieuse transmise à l'homme par des piqûres de moustiques infectés, entraînant de fortes fièvres. La propagation de la malaria dépend de la présence de moustiques porteurs de malaria dans une région donnée et des températures ambiantes auxquelles l'agent viral qui cause la maladie peut se développer chez les moustiques.

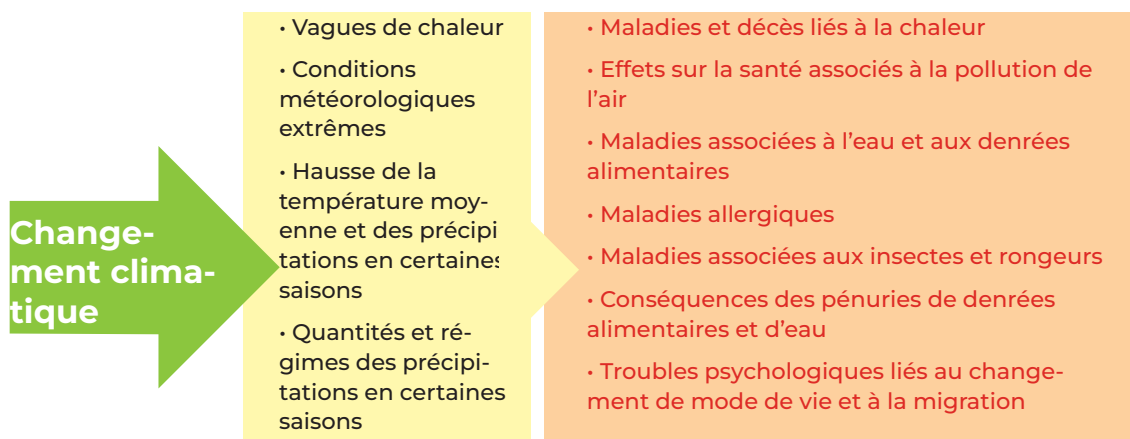
La malaria sévit généralement dans les pays tropicaux, mais la maladie est beaucoup moins présente sur les hauts plateaux tropicaux, où les températures plus froides freinent le moustique et le développement du parasite en son sein.

Avec le réchauffement climatique, la frontière de la région où sévit la malaria se déplace vers des zones bénéficiant d'un climat plus clément, loin de l'équateur et en amont, et la « saison de la malaria » (période de l'année où les épidémies surviennent le plus souvent) s'allonge. Certaines études indiquent que la malaria s'est propagée au Kenya, en Colombie et en Éthiopie, dans des régions de plus haute altitude, où il faisait auparavant trop froid pour que la maladie se développe. Cela expose des millions de personnes à un risque de contracter la maladie, et des mesures supplémentaires pour prévenir les épidémies de malaria devront être prises.



Figure 2.9.6

## Les effets du changement climatique sur la santé



Une étude récente sur les impacts du changement climatique sur la santé publiée dans le Lancet Medical Journal fournit un ensemble d'indicateurs qui aident à comprendre les impacts du changement climatique sur la santé humaine, tels que la mortalité due à la chaleur, l'insécurité alimentaire et l'exposition à la pollution atmosphérique.

En ce qui concerne la chaleur extrême, par exemple, l'étude révèle que dans les petits États insulaires en développement, 103 jours de températures dangereuses pour la santé chaque année sont imputables au changement climatique sur la période 2018-2022. En Europe, en Amérique du Nord et en Océanie, ce nombre est inférieur à 30.

L'étude estime que dans un scénario de réchauffement de 2 °C, par exemple, 525 millions de personnes supplémentaires connaîtront l'insécurité alimentaire d'ici 2041 à 2060, par rapport à la moyenne de 1995 à 2014.

La combinaison du changement climatique, de l'urbanisation et des mouvements humains augmente l'incidence de maladies telles que la dengue. L'étude révèle que « les cas de dengue ont doublé chaque décennie depuis 1990, et près de la moitié de la population mondiale est désormais exposée au risque de contracter cette maladie potentiellement mortelle ».

Les inondations représentent également une menace indirecte pour la santé, puisqu'elles perturbent l'approvisionnement en eau et les systèmes d'assainissement, ce qui augmente le risque de maladies intestinales. De même, dans certaines régions du monde, en cas d'inondation, celles-ci peuvent s'accompagner de l'apparition de serpents venimeux et de crocodiles, comme cela a été le cas en Australie lors des inondations de 2011.

Les changements d'environnement et de mode de vie peuvent également entraîner stress psychologique et dépression. Vous avez probablement remarqué vous-même que parfois, lorsque le temps est mauvais, vous n'avez pas envie d'aller où que ce soit ou de faire quoi que ce soit. Par conséquent, comment les gens se sentiront-ils en cas de mauvaises temps de plus en plus fréquent ?



## Quels sont les effets du changement climatique sur l'économie urbaine ?

Les phénomènes météorologiques extrêmes peuvent perturber les transports, le réseau d'électricité et l'approvisionnement en eau des villes. Les inondations peuvent toucher les immeubles, les routes, les voies de chemin de fer, les ports et les aéroports. La hausse des températures entraîne une détérioration plus rapide du revêtement des chaussées, qui nécessite des réparations plus fréquentes. Les chutes soudaines de température en hiver provoquent la formation de glace qui endommage les lignes électriques, privant d'électricité foyers, écoles, hôpitaux et entreprises.

Avec la hausse des températures hivernales, les habitants des pays du nord pourront réduire les coûts de chauffage de leurs logements. Mais dans les pays du sud, les villes feront face à des coûts plus élevés car les besoins en climatisation seront plus importants en été.

Les études plus approfondies qui sont effectuées sur les effets du changement climatique sur les villes, sont essentielles, car une juste compréhension des conséquences possibles du réchauffement climatique permettra de compenser certains coûts. À titre d'exemple, les coûts de réparation des dommages occasionnés par une inondation peuvent être partiellement compensés par des économies de chauffage en hiver.

## Comment pouvons-nous nous adapter et vivre dans des villes et des établissements plus sains et résilients au changement climatique ?

Les scientifiques du GIEC ont noté dans le AR6 que la croissance rapide des populations urbaines et les besoins non satisfaits en matière de logements et d'infrastructures sains, décentes et durables constituent un problème constant. Mais l'urbanisation offre également de nombreuses possibilités d'intégrer des mesures d'adaptation dans la planification et le développement des villes et de leurs infrastructures. Il s'agit d'une priorité essentielle, étant donné que 2,5 milliards de personnes supplémentaires devraient vivre dans des zones urbaines d'ici 2050, avec jusqu'à 90 % de cette augmentation concentrée en Asie et en Afrique.

De nombreuses villes et agglomérations urbaines prennent déjà des mesures pour s'adapter aux impacts et risques climatiques actuels et à court terme dans le cadre de leur planification et de leurs politiques sociales et économiques. Ces actions comprennent des interventions et une planification d'ingénierie rigoureuses, telles que le développement ultérieur des transports publics urbains, l'ingénierie de défense contre les inondations, la refonte et la fortification des bâtiments, la mise en place d'abris anticycloniques, l'introduction de codes de construction résistants aux ouragans, l'élaboration de normes, de réglementations et de lignes directrices pour la construction, l'amélioration des systèmes de gestion des eaux pluviales, de drainage et de protection contre les inondations et, le cas échéant, le renforcement des infrastructures pour résister aux conditions de pergélisol. Il existe également un intérêt croissant pour la conception urbaine adaptative et les solutions basées sur la nature visant au refroidissement écologique, telles que les toits, les murs et les parcs verts. L'expansion des espaces verts et naturels améliore simultanément la biodiversité, la qualité de l'air et modère le cycle hydrologique ; cela contribue également à réduire les risques pour la santé associés au stress thermique et aux maladies respiratoires, et atténue les problèmes de santé mentale découlant de la vie urbaine encombrée. Les toits verts aux États-Unis (Fig. 2.9.7) sont un exemple de la façon dont les villes s'efforcent d'atténuer les effets du ruissellement des eaux pluviales, qui est un pollueur majeur des cours d'eau, tout en gardant les bâtiments plus frais.

Les mesures liées à la santé comprennent la refonte et la rénovation des maisons, des écoles et des établissements de soins de santé pour réduire les impacts de la chaleur extrême, la gestion de l'augmentation des maladies infectieuses telles que le paludisme et l'amélioration de l'accès aux services d'eau et d'assainissement. Les mesures prises dans différents secteurs pour faire face aux risques du changement climatique peuvent générer des bénéfices pour la santé et le bien-être humains. L'abandon des véhicules à combustion interne et des centrales électriques alimentées aux combustibles fossiles au profit des énergies renouvelables atténue les émissions de gaz à effet de serre, améliore la qualité de l'air et réduit les risques de maladies respiratoires. Les politiques et les conceptions qui facilitent le transport urbain actif (marche et vélo) augmentent l'efficacité de ce secteur, réduisent les émissions et améliorent la qualité de l'air ainsi que la santé physique et mentale des résidents. Les bâtiments économes en énergie et l'aménagement urbain améliorent la qualité de l'air intérieur et réduisent les risques de stress thermique et de maladies respiratoires. Les systèmes alimentaires qui mettent l'accent sur une alimentation saine et centrée sur les plantes réduisent les émissions du secteur agricole tout en contribuant à lutter contre la malnutrition.

**Figure 2.9.7**

**Aux États-Unis, les toits verts contribuent à réduire le ruissellement des eaux pluviales et à rafraîchir les bâtiments**





# QUESTIONS

1

La population mondiale vit-elle en majorité dans les villes ou en dehors ?

\_\_\_\_\_

2

Où fait-il le plus chaud : en ville ou en périphérie ?

\_\_\_\_\_

3

Pourquoi les îlots de chaleur sont-ils mauvais pour la santé ?

\_\_\_\_\_

4

Pouvez-vous énumérer trois mesures d'adaptation au changement climatique dans les villes ?

\_\_\_\_\_

5

Quels sont les impacts négatifs du réchauffement climatique sur la santé humaine ? Que sont les maladies à transmission vectorielle ?

\_\_\_\_\_

6

Quelles précautions prendre par temps chaud ?







# EXERCICES

1

Si vous partez en vacances d'été à la campagne, placez un thermomètre dehors, à l'ombre, à hauteur d'homme au-dessus du sol, et consignez la température que celui-ci indique tôt le matin (avant que le soleil ne commence à élever la température de l'air). Comparez-la le même jour aux prévisions de température nocturne émises pour la grande ville la plus proche. Les chiffres sont-ils différents ? Pourquoi ?

---

2

À l'aide de manuels, de livres de référence et d'Internet, déterminez et écrivez comment vous pourriez aider quelqu'un souffrant d'un coup de chaleur, d'une insolation, de gelures, d'une réaction allergique sévère au pollen, ou quelqu'un ayant été mordu par une tique. Quelles sont les mesures préventives que vous pouvez prendre pour préserver votre santé en période de canicule ?



## 2.10 | Les effets du changement climatique sur les problèmes sociaux

### Des mondes si différents : les pays développés et les pays en développement

Il y a plus de 200 pays dans le monde. Tous les pays sont très différents les uns des autres, avec une situation géographique, un territoire, un environnement naturel, un climat, une population, une économie, un niveau de vie, une histoire et des traditions différents. Ils ont contribué à différents niveaux au changement climatique et en sont tous affectés différemment. Ils diffèrent également de par leur capacité à faire face aux nouveaux problèmes climatiques.

Les pays sont souvent divisés en deux grands groupes en fonction de leur niveau de développement : les « pays développés » et les « pays en développement ».

**Les pays développés** sont des pays relativement riches bénéficiant de conditions de vie favorables et d'une économie forte, où l'industrie, les services et le secteur financier jouent un rôle majeur. Les personnes vivant dans ces pays bénéficient généralement de la sécurité sociale, ont accès à des soins de santé et une éducation de qualité, à des opportunités professionnelles satisfaisantes, et ont des revenus relativement élevés leur permettant de dépenser de l'argent en restaurants, shopping ou voyages. Le groupe des pays développés est normalement composé des USA, du Canada, de l'Australie, de la Nouvelle-Zélande, des pays européens, du Japon, de Singapour, de Hong Kong et d'Israël. Certains pays d'Europe de l'Est, dont la Russie, ayant une « **économie en transition** », constituent un sous-groupe au sein du groupe des pays développés. Le terme « économies en transition » vient du fait que ces pays sont passés, depuis les années 1990, d'une économie centralisée à une économie de marché.





**Les pays en développement**, en tant que groupe, se trouvent à un stade plus précoce de leur développement économique et social que les pays développés. Nombre de ces pays dépendent encore fortement de l'agriculture, du commerce des matières premières et de l'exploitation minière. De larges pans de la population ont un niveau de vie inférieur, un accès inégal aux soins de santé, moins de programmes sociaux et moins de possibilités d'éducation et d'emploi.

Le groupe des pays en développement est extrêmement diversifié. Il se compose **d'économies émergentes** (pays nouvellement industrialisés) comme la Chine, l'Inde, la Corée du Sud, la Turquie, le Brésil, l'Argentine, et le Mexique, avec une croissance rapide de la production industrielle. La Chine et l'Inde font aujourd'hui partie des dix plus grandes économies du monde. De nombreuses choses que nous utilisons chaque jour (vêtements, chaussures, plats, mobilier, appareils, jouets) sont fabriqués dans ces pays, notamment en Chine.

La Chine est le leader mondial en termes de volume de produits manufacturés qu'elle produit chaque année, suivie par les États-Unis.

D'autre part, 46 pays sont reconnus comme les pays **les moins développés** du monde. Ils comprennent les petits états insulaires, les pays montagneux enclavés, ainsi que les pays comptant des territoires surpeuplés et des conditions climatiques défavorables. Ces pays, dont les économies sont faibles, sont très pauvres, et leur population et leur mode de vie sont extrêmement vulnérables aux effets du changement climatique et aux catastrophes naturelles. La plupart des pays les moins développés se situent en Afrique et en Asie, et les plus pauvres d'entre eux, selon la banque Mondiale sont l'Afghanistan, le Burundi, le Tchad, la République démocratique du Congo, le Liberia, le Malawi, le Mozambique, le Niger et la Somalie. La pauvreté dans la plupart de ces pays est fréquente, la majeure partie de la population vivant avec moins de 2 dollars américain par jour. La population manque de nourriture, d'eau potable, d'hôpitaux et d'écoles. Les familles pauvres tentent donc d'avoir autant d'enfants que possible qui aideront les parents dans les travaux ménagers, contribueront au revenu de la famille, et qui les prendront en charge durant leur vieillesse. Les mauvaises conditions sanitaires, des pénuries d'eau potable et de nourriture, ainsi qu'un manque de dispensaires et d'hôpitaux favorise le décès de nombreux enfants en bas âge, par conséquent, le fait d'avoir beaucoup d'enfants est un moyen de s'assurer qu'au moins certains d'entre eux survivront. Environ 880 millions de personnes (12 % de la population mondiale) vivent actuellement dans les pays les plus pauvres du monde qui contribuent à moins de 2 % de l'économie mondiale.





## L'inégalité sociale

En 2023, la population mondiale a dépassé les 8 milliards. La grande majorité de la population mondiale – 6,64 milliards, ou 83 % de la population totale – vit dans des pays en développement, et seuls 17 % ou 1,36 milliard de personnes (aussi appelé le « milliard de fortunés ») vivent dans des pays développés.

Il n'est pas surprenant que les 17 % d'habitants des pays riches consomment la part du lion de la production mondiale, compte tenu de leurs revenus élevés et de leurs exigences en matière de mode de vie. Faire fonctionner des entreprises industrielles et créer la production quotidienne pour les habitants des pays riches nécessite d'énormes quantités de ressources et d'énergie. Les plus gros consommateurs d'énergie sont l'Islande, la Norvège, le Canada, les États-Unis et les pays riches du Moyen-Orient comme Oman, l'Arabie saoudite et le Qatar. L'habitant moyen de ces pays consomme jusqu'à 100 fois plus que l'habitant moyen de certains des pays les plus pauvres. Par exemple, l'Américain moyen a besoin de 3,5 fois plus de ressources au cours de sa vie que l'habitant moyen de la Terre, et l'Américain moyen utilise neuf fois plus d'énergie que l'Indien moyen. Ainsi, la contribution des habitants des pays développés aux émissions mondiales de gaz à effet de serre (leur « empreinte carbone ») est bien plus élevée que celle des habitants des pays en développement, et ils portent une plus grande responsabilité dans les conséquences du changement climatique.

L'écart entre la qualité de vie des riches et celle des pauvres, à l'échelle mondiale, est énorme. Le revenu moyen dans les 20 pays les plus riches est 37 fois supérieur à celui des 20 pays les plus pauvres. Par conséquent, pour chaque 100 dollars américains de revenu perçus par le citoyen européen ou américain moyen, un habitant du Népal ou d'Éthiopie ne perçoit que 2,5 dollars américains. Les revenus des 500 personnes les plus riches du monde excèdent le revenu total des 416 millions de personnes les plus pauvres de la planète.

Pire encore, les taux de natalité particulièrement élevés dans les pays en développement impliquent que leur taux de croissance démographique est 3,5 fois supérieur à celui des pays développés. Les populations de nombreux pays parmi les plus pauvres d'Afrique et d'Asie pourraient doubler en moins de 40 ans. Par conséquent, le nombre de personnes appartenant aux populations les plus pauvres de la planète continue à augmenter.

L'écart entre les riches et les pauvres, à l'échelle mondiale, est énorme. Les populations des pays développés, qui représentent seulement 17 % de la population mondiale, consomment la majeure partie de la production mondiale et plus de 70 % de toute l'énergie, tandis que près de 2,5 milliards de personnes dans le monde vivent avec moins de 2 dollars américains par jour.

Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 770 millions de personnes n'ont pas accès à l'eau potable et 821 millions de personnes n'ont pas la nourriture dont elles ont besoin pour mener une vie active et saine.



Il serait erroné de penser que la pauvreté se limite aux pays les moins développés. Les pays riches comptent également des régions arriérées et des pauvres. Aux États-Unis, par exemple, le Bureau de recensement estime que le nombre de pauvres s'élevait à 38 millions de personnes en 2021, soit environ 12 % de la population totale. En Allemagne, près d'une personne sur sept, soit 13,5 millions au total, vit en deçà du seuil de pauvreté. Bien souvent, les personnes les plus pauvres des pays développés sont des personnes venant de pays en développement afin d'y travailler, ainsi que des personnes vivant en zone rurale et dans des villes industrielles en déclin, où les mines et les usines ferment par manque de rentabilité.



Toutefois, les situations d'un Américain pauvre et d'un Africain pauvre sont bien différentes ! Le seuil de pauvreté aux États-Unis est établi à un revenu annuel de 22 000 dollars américains pour une famille de quatre personnes, soit environ 15 dollars américains par jour et par personne. Cela est vraiment très peu compte tenu des prix élevés des produits de première nécessité aux USA. Mais pour un Africain pauvre, un Américain indigent disposant de son propre logement, avec une salle de bain et des toilettes, ressemble à Rockefeller.

Les inégalités criantes en matière de conditions de vie (distribution inégales des revenus et des opportunités entre les populations de notre planète) sont devenues l'un des problèmes sociaux les plus urgents dans le monde à l'heure actuelle. Comme l'a indiqué le Rapport sur le développement humain 2013 du Programme des Nations Unies pour le développement : « Toute personne a le droit de mener une vie épanouissante selon ses valeurs et ses aspirations personnelles. Personne ne devrait être condamné à une existence brève et misérable du seul fait d'être né au sein de la « mauvaise » classe ou race, du « mauvais » groupe ethnique ou sexe. » Malheureusement, le changement climatique ne fait qu'exacerber le problème des inégalités sociales et complique la tâche de lutte contre la pauvreté. La récente pandémie de COVID-19 a aggravé ces problèmes et, en deux ans, a annulé certains des acquis en matière de développement social et économique, de réduction de la pauvreté et de réduction des inégalités (Rapport du PNUD sur le développement humain 2021-2022).

## Le changement climatique aggrave les problèmes sociaux

Nous avons déjà vu de quelle façon chaque région et pays du monde est affecté par le changement climatique, mais nous avons également vu comment certains d'entre eux (les régions ou pays côtiers, montagneux ou agricole) sont davantage affectés par les conséquences du changement climatique que d'autres. Cela tient du fait que le mode de vie et l'économie des populations locales dépendent fortement des conditions naturelles et du climat, de sorte que tout changement occasionne de graves problèmes pour l'économie et la société.

Les populations des régions et pays pauvres dépendent principalement de l'agriculture pour leur subsistance, par conséquent tout(e) sécheresse, inondation ou ouragan les prive instantanément de leur seule source de revenu. Les pays comme le Bangladesh, Haïti ou le Tchad sont non seulement parmi les premiers à ressentir les effets du changement climatique, mais ils ne disposent également pas de suffisamment de ressources et de capacités pour faire face aux risques potentiels.

Dans les pays pauvres, les effets du changement climatique se font majoritairement ressentir au niveau des femmes, qui sont principalement responsables de l'éducation des enfants, qui doivent s'occuper des malades et des personnes âgées, nourrir leur famille, cultiver les terres, et collecter de l'eau et du carburant. Toutes ces tâches sont sérieusement impactées par le changement climatique.

Dans toutes les régions, et même dans les pays à revenu élevé, les enfants en bas âge, les personnes âgées et les personnes handicapées sont particulièrement exposées car leur état de santé dépend fortement des conditions météorologiques.

### L'INJUSTICE CLIMATIQUE

réside dans le fait que les populations qui sont le moins responsables du réchauffement climatique pourraient être celles qui seront le plus affectées

## Migration due au changement climatique

Le changement climatique force des dizaines de millions de personnes à migrer afin d'échapper aux effets des tempêtes, sécheresses et inondations. Selon les recherches effectuées par la Columbia Climate School of Columbia University, en 2017, environ 23 millions de personnes dans le monde ont quitté leurs foyers en raison de phénomènes météorologiques extrêmes. Environ 44 millions de personnes supplémentaires ont été déplacées en raison de « crises humanitaires », probablement exacerbées par les effets en cascade du changement climatique. Selon les prévisions, leur nombre pourrait atteindre 200 à 250 millions d'ici 2050.

Les régions exposées à un risque de migration de masse sont notamment les deltas du Mékong et du Gange en Asie du Sud-Est. Il s'agit de régions agricoles à forte densité de population, mais la montée prévue du niveau de l'eau de ces fleuves à 2 m entraînera l'inondation de vastes superficies de terres arables. Les populations locales travaillant dans ces champs seront contraintes de chercher de nouveaux endroits où vivre et travailler.

Des sécheresses ou inondations fréquentes, avec des conséquences particulièrement graves pour l'agriculture, obligeront de nombreux habitants de zones rurales à migrer vers les villes pour chercher du travail. De telles migrations conduisent à la création de quartiers entiers de migrants pauvres – des bidonvilles avec des conditions sanitaires déplorables et un taux élevé de criminalité.

Un nombre croissant d'habitants des îles Caraïbes quittent leurs foyers en raison de tempêtes tropicales et de tornades plus fréquentes, car ces pays n'ont pas les moyens suffisants pour faire face au durcissement des conditions climatiques.



**Figure 2.10.1** Bidonvilles à Rio de Janeiro (Brésil)



**Figure 2.10.2**

Un camp de migrants ayant été contraints de quitter leurs foyers en raison d'une forte sécheresse (Somalie, 2011)



**Figure 2.10.3**

Les conséquences de l'ouragan Haiyan (Philippines, 2013)



L'Australie et la Nouvelle-Zélande ont accueilli des migrants climatiques en provenance des états insulaires d'Océanie. Les archipels des îles Tuvalu et Kiribati, situées non loin de l'Australie, disparaissent progressivement sous les eaux, à mesure que le niveau des océans monte. En Australie, les écologistes pressent le gouvernement d'allouer également un quota spécial pour ces réfugiés climatiques. De la même façon, le gouvernement des Maldives a convenu avec le Sri Lanka (qui est aussi une nation insulaire) de procéder à la réinstallation de sa population en cas de menace imminente de disparition de ce chapelet d'îles.



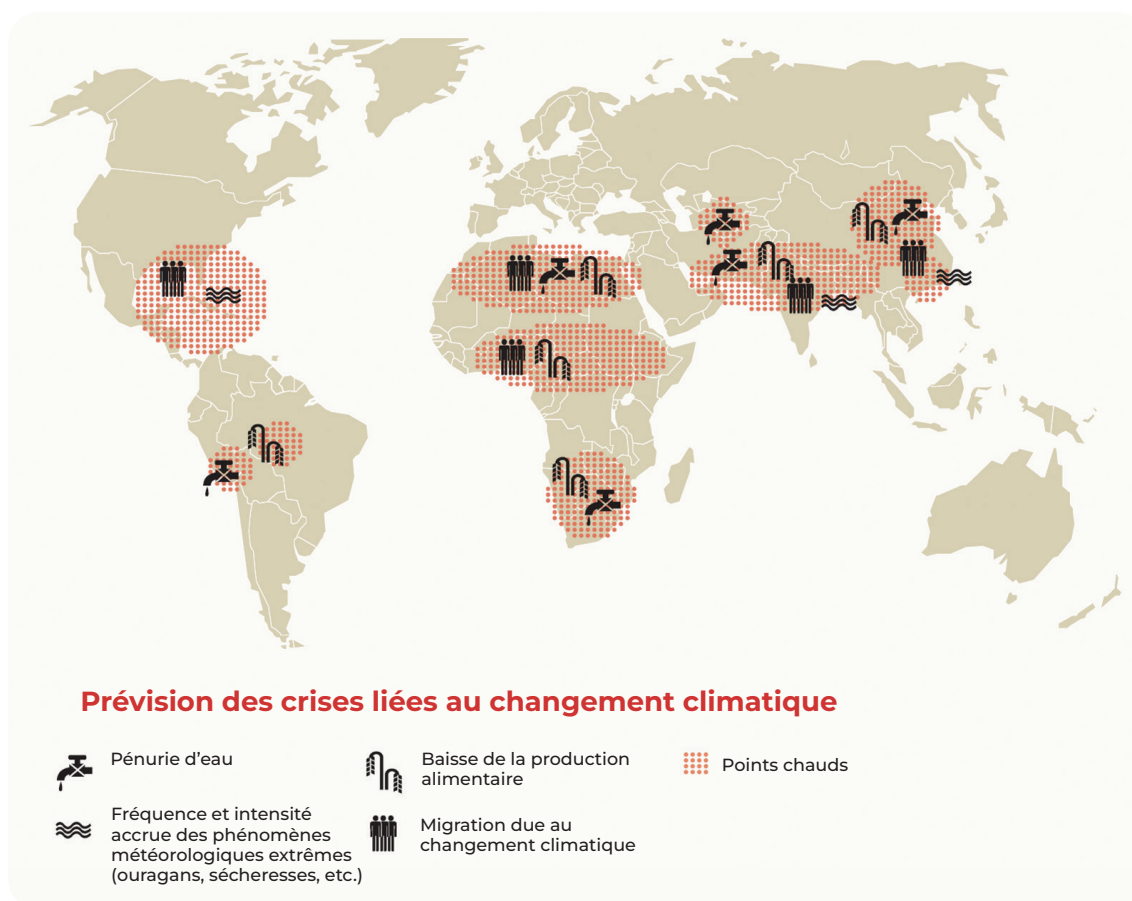
La nation insulaire de Kiribati est principalement composée d'îles coralliennes, qui se situent en moyenne à seulement 2 m au-dessus du niveau de la mer, par conséquent la montée du niveau des océans pourrait les submerger dans les 50 prochaines années. En 2012, le gouvernement des îles a décidé d'acheter des terres dans la République des Îles Fidji, où les citoyens de l'archipel de Kiribati pourront se réinstaller si leurs foyers risquent de disparaître sous la mer.

## Nouveaux conflits

Dans différentes régions, le changement climatique peut occasionner de graves conflits entre les populations, avec des conséquences sociales considérables notamment sur les questions de droits fonciers, de pénurie d'eau et de migration climatique (Fig. 2.10.4).

Les régions en rouge sont particulièrement exposées au risque de conflits liés au changement climatique. Ces régions sont menacées par les sécheresses prolongées, les pénuries d'eau, la montée du niveau des océans, la salinité du sol et de mauvaises récoltes, le manque d'accès aux ressources énergétiques et d'autres facteurs susceptibles de provoquer des crises sociales et politiques, ainsi qu'une augmentation des flux migratoires.



**Figure 2.10.4 Zones de crises potentielles liées au changement climatique**

## Coopération internationale en matière d'assistance sociale

Des programmes d'assistance spéciaux à destination des populations les plus vulnérables de la société sont nécessaires pour réduire les risques sociaux liés au changement climatique. Ceux-ci pourraient comprendre : la formation et la réorientation professionnelle des personnes vivant en zone rurale, en leur offrant une alternative professionnelle à l'agriculture ; des projets de réinstallation des habitants des régions menacées ; la création de nouveaux emplois dans les régions pauvres ; la recherche de nouvelles variétés de cultures plus résistantes à la sécheresse ; et la création d'alertes précoces en cas de catastrophe naturelle. Toutes ces mesures exigent néanmoins de l'argent que les pays et populations pauvres n'ont pas.

Plusieurs fonds et instruments financiers ont déjà été créés afin d'aider les pays en développement à surmonter les problèmes sociaux associés aux effets défavorables du changement climatique. Les principaux donateurs sont les gouvernements des pays développés, les grandes entreprises et les organisations internationales, essentiellement les Nations Unies.





# QUESTIONS

1

En quoi les pays développés sont-ils différents des pays en développement ?

\_\_\_\_\_

2

La plus grande partie de la population mondiale vit-elle dans des pays développés ou en développement ?

\_\_\_\_\_

3

Quels sont les pays les plus vulnérables au changement climatique ? Pourquoi ?

\_\_\_\_\_

4

Pourquoi les effets du changement climatique affectent-ils davantage la population mondiale pauvre ?  
Quels sont les problèmes sociaux susceptibles d'être aggravés par le changement climatique ?

\_\_\_\_\_

5

Les animaux et les plantes ne peuvent s'adapter aux changements climatiques rapides, qu'en est-il de l'homme ?





# EXERCICES



1

Sur une carte du monde, identifiez les 20 pays les plus performants en termes de développement économique, et coloriez-les à l'aide d'un crayon vert. Sur cette même carte, identifiez les 20 principaux pays responsables des émissions de gaz à effet de serre en fonction du volume (données disponibles sur Wikipédia) et coloriez-les en rouge.

Y a-t-il beaucoup de chevauchements ? Parmi les grandes puissances mondiales, combien apparaissent désormais en « marron foncé », ce qui indique qu'elles sont parmi les plus nuisibles pour le climat de la Terre ?

Expliquez pourquoi ces pays sont les principaux responsables du changement climatique en cours.

\_\_\_\_\_

2

Imaginez que vous travaillez pour un fonds international allouant des fonds à des projets de lutte contre les conséquences du changement climatique. Quels projets visant à aider les pays pauvres financeriez-vous en priorité ?