

Changement climatique et politique climatique



© S. Reinfried, GeoEduc

Niveau scolaire

Secondaire II

Auteur

Philippe Hertig

Année

2019



Changement climatique et politique climatique

Niveau scolaire	Secondaire II
Auteur	Philippe Hertig
Année	2019
Photo de titre	«Vers le chaos climatique?» Photo © S. Reinfried, GeoEduc

Note: certaines des démarches que l'on trouvera dans ce dossier sont inspirées ou adaptées de celles proposées dans le dossier en langue allemande destiné aux classes du Secondaire II (auteurs Matthias Probst et Moritz Gubler).

Editeurs
 GLOBE
 PHBern
 PHLuzern
 HEP Vaud
 Supsi
 Uni Bern
 SCNAT
 OFEV

1 Pour entrer en matière

L'année 2019 est la deuxième plus chaude jamais enregistrée sur Terre (après 2016) depuis le début des mesures météorologiques systématiques dans la seconde moitié du 19^e siècle. Depuis les années 1960, chaque décennie est clairement plus chaude que celle qui l'a précédée.

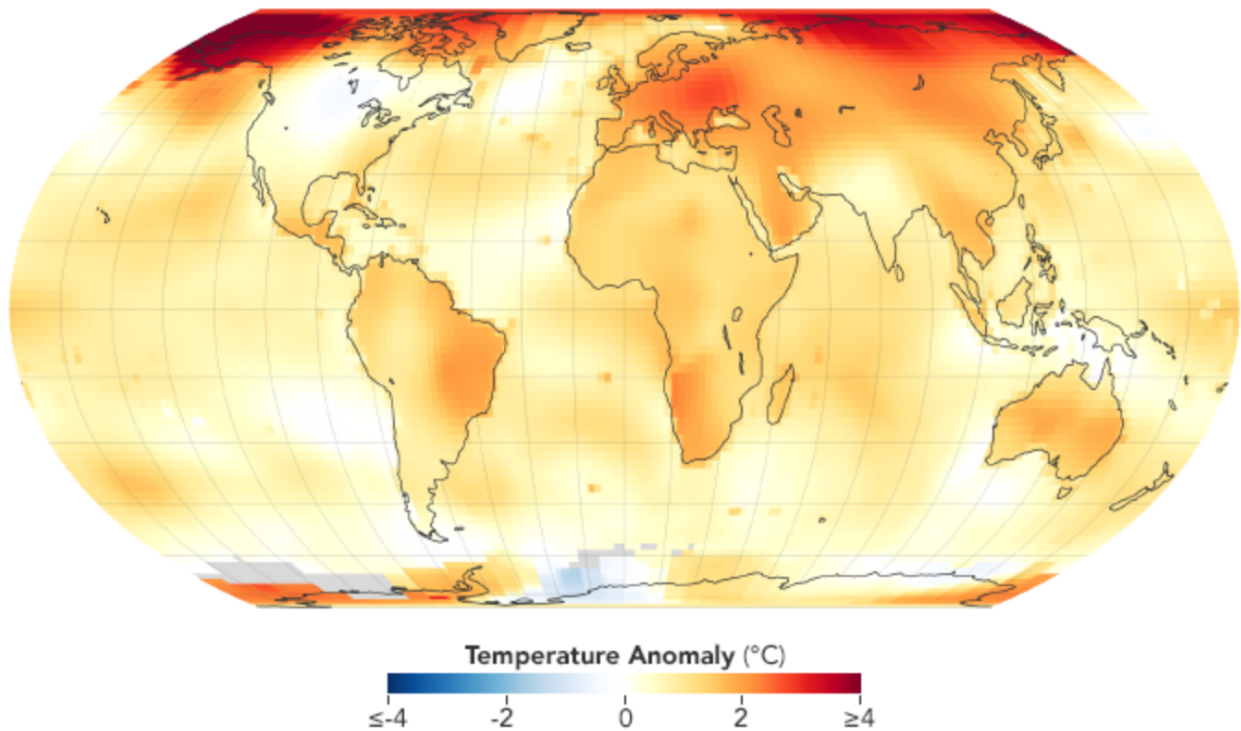


Fig. 1.1. Anomalies de température dans le monde pour l'année 2019, par rapport à la moyenne des années 1951-1980. (Source: © NASA, site Earth Observatory)



Fig. 1.2. La jeune militante pour le climat Greta Thunberg à son arrivée au *World Economic Forum* (WEF) de Davos en janvier 2019. (Source: Keystone-SDA)

Activité 1.1.

Que savez-vous du changement climatique?

Elaborez une carte mentale ou une carte conceptuelle sur laquelle vous mettez en évidence ce que vous savez actuellement au sujet du changement climatique.

Comparez le document que vous avez produit (et qu'il est important que vous conserviez) avec ceux élaborés par les autres étudiant.e.s de la classe.

Activité 1.2.

Quelles questions vous posez-vous à propos du changement climatique?

Prenez-en note, puis confrontez-les à celles que se posent vos camarades.

Choisissez les questions que l'ensemble de la classe souhaiterait traiter. Organisez-les de manière à définir une question principale (ce sera la **problématique** de la séquence consacrée au changement climatique) et des questions qui lui sont associées (*problématiques secondaires*, ou *sous-problématiques*).

Conservez une trace des questions que vous vous posez, ainsi que des problématiques définies par la classe.

2 Le système climatique

A l'échelle globale, les années 2015, 2016, 2017, 2018 et 2019 ont été les cinq années les plus chaudes depuis le début des relevés mondiaux de température systématiques en 1880. Le secrétaire général de l'Organisation météorologique mondiale (OMM – WMO en anglais pour *World Meteorological Organization*), M. Petteri Taalas, a constaté en 2018 que «17 des 18 années les plus chaudes enregistrées dans le monde l'ont été depuis le tournant du millénaire, et l'ampleur du réchauffement au cours des trois dernières années a été exceptionnelle».

Il faut cependant relever que les températures moyennes annuelles – que ce soit à l'échelle régionale ou à l'échelle globale – peuvent connaître des fluctuations importantes. Considérée de manière isolée, la température moyenne annuelle renseigne sur les conditions météorologiques de l'année donnée. Les brusques variations des conditions météorologiques d'un mois à l'autre, voire d'une année à l'autre, ne sont pas des indices suffisants pour parler d'un changement climatique.

Toutefois, les tendances enregistrées depuis maintenant plusieurs décennies montrent à l'évidence une hausse régulière, et même de plus en plus marquée et rapide, de la température moyenne annuelle de la Terre. Cette hausse est une des manifestations du changement climatique. Celui-ci doit être compris comme un ensemble de modifications subies par le **système climatique**.

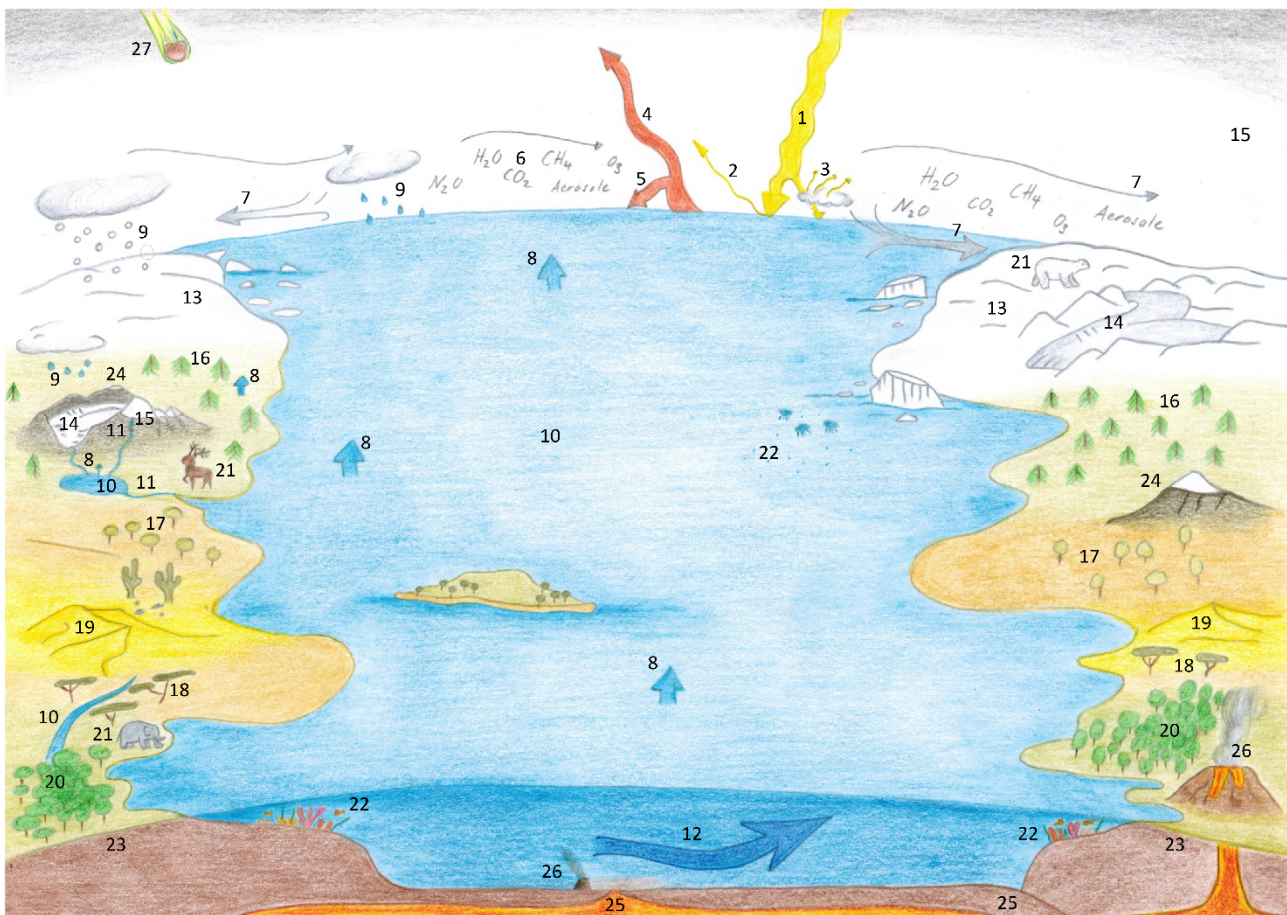


Fig. 2.1. Composantes et principaux processus du système climatique naturel, sans l'influence des activités humaines. (Source: croquis original projet CCESO II. Dessin: Michelle Walz, 2019)

Le **système climatique** est constitué de plusieurs **sous-systèmes** (ou **sphères**) qui interagissent les uns avec les autres. On distingue généralement six sous-systèmes naturels: l'atmosphère, l'hydrosphère, la cryosphère, la biosphère, la pédosphère et la lithosphère. L'être humain ayant une influence de plus en plus marquée sur le système climatique, il convient d'ajouter à ces sous-systèmes naturels un sous-système

relatif aux activités humaines: l'anthroposphère. Les sous-systèmes du système climatique sont étroitement liés entre eux par des flux de matières et d'énergie (par exemple le cycle de l'eau ou le cycle du carbone) et ils réagissent aux changements à des vitesses différentes. Tous les sous-systèmes naturels, de même que l'anthroposphère, sont impliqués d'une manière ou d'une autre dans les très nombreux processus liés au changement climatique.



Fig. 2.2. La ville de Thoune, le lac de Thoune et le Niesen. Vue prise en direction sud. (Source: Commune de Thoune)

Activité 2.1.

Identifiez, sur la photo de la fig. 2.2, les éléments qui relèvent des différents sous-systèmes du système climatique (atmosphère, hydrosphère, cryosphère, biosphère, pédosphère, lithosphère, anthroposphère). Dans la mesure du possible, tracez sur l'image les limites entre ces différents sous-systèmes, ou faites ceci sur une esquisse séparée.

Que constatez-vous?

Activité 2.2.

Elaborez un schéma vous permettant de mettre en évidence les principales interactions entre les sous-systèmes du système climatique (y compris l'anthroposphère). La fig. 2.1 et sa légende (laquelle se situe ci-après en p. 7), ainsi que le texte informatif des pages 7 à 10, peuvent vous aider à identifier certaines de ces interactions

Comparez votre schéma avec ceux des autres étudiant.e.s de la classe. Complétez les lacunes éventuelles.

Légende de la fig. 2.1 (figure en page 5)

Atmosphère	Biosphère
1. Rayonnement solaire incident (ondes courtes)	16. Forêt de conifères
2. Rayonnement solaire réfléchi (ondes courtes)	17. Forêts de feuillus et forêts mixtes
3. Dispersion / diffusion (rayonnement à ondes courtes)	18. Steppe
4. Rayonnement thermique émis par la Terre (ondes longues)	19. Désert
5. Rayonnement thermique «en retour» (ondes longues)	20. Forêt pluviale
6. Gaz à effet de serre*	21. Faune
7. Vent (et jetstreams)	22. Zone côtière / littoral (incluant la biosphère marine ou lacustre)
8. Evaporation	Pédosphère
Hydrosphère et Cryosphère	23. Sol
9. Précipitations (pluie, neige)	Lithosphère
10. Lac / cours d'eau / mer / océan	24. Montagnes
11. Ruissellement (écoulement des cours d'eau)	25. Tectonique des plaques (plaques convergentes / divergentes; formation des chaînes de montagnes)
12. Courant marin	26. Volcan
13. Régions englacées (glaces continentales; banquise)	
14. Glacier	Exosphère, espace interplanétaire
15. Permafrost (pergélisol)	27. Impact de météorite
*Principaux gaz à effet de serre: vapeur d'eau (H ₂ O), gaz carbonique (dioxyde de carbone, CO ₂), méthane (CH ₄), protoxyde d'azote ou gaz hilarant (N ₂ O), ozone (O ₃)	

Il existe trois sources d'énergie à la surface de la Terre, qui «alimentent» le système climatique: l'énergie que dispense le Soleil par son rayonnement (énergie solaire), l'énergie interne de la Terre (géothermie) et l'énergie générée par la rotation de la planète. L'énergie interne et l'énergie liée à la rotation sont proportionnellement très faibles en regard de l'énergie solaire, qui est de fait le seul véritable «moteur» du système climatique.

Des processus plus ou moins complexes se déroulent à la surface de la Terre et dans l'atmosphère, tels que le rayonnement solaire direct et sa réflexion (fig. 2.1 ci-dessus, numéros 1 et 2), la conversion de l'énergie solaire incidente en rayonnement thermique (4), l'absorption et la diffusion du rayonnement solaire incident par des particules ou des gaz (3), l'action des gaz à effet de serre (6) qui renvoient une partie du rayonnement thermique (5) vers la Terre, les vents (7) ou encore l'évaporation (8). L'atmosphère, l'hydrosphère et la cryosphère sont reliées par les précipitations et l'évaporation, processus qui se déroulent en bonne partie au contact et au-dessus des surfaces d'eau et de glace (7, 9). Le ruissellement (écoulement des cours d'eau, 11) et les courants marins (12) sont des processus caractéristiques de l'hydrosphère. L'atmosphère et la biosphère terrestre ou aquatique (16-22) sont reliées par les échanges de carbone et d'oxygène, à travers les processus de la respiration et de la photosynthèse. Le carbone circule aussi dans la pédosphère et la lithosphère (23-26). De très nombreux autres processus existent au sein de chaque sous-système ou dans les interactions de plusieurs sous-systèmes: on peut citer par exemple la formation des nappes d'eau souterraines (nappes phréatiques, aquifères), les mouvements des plaques tectoniques (25), le volcanisme (26) ou la formation des chaînes de montagnes (24). Plus rarement, les impacts de météorites (27) peuvent également avoir une incidence sur le système climatique.

Considérons de manière un peu plus précise certains de ces processus, en mettant la focale sur des **flux de matières et d'énergie** qui ont une forte influence sur le système climatique, et donc sur le climat. C'est une première manière de constater que le climat de la Terre est un système très complexe; toute modification de ce système peut le déséquilibrer et entraîner des perturbations dont la complexité et l'ampleur sont difficiles à prévoir.

Les végétaux et le plancton de la **biosphère** accumulent la biomasse et les nutriments pendant la photosynthèse, liant le CO₂ et influençant ainsi la concentration de ce gaz à effet de serre dans l'**atmosphère**. L'atmosphère et la biosphère sont donc reliées sur terre et dans l'eau par la photosynthèse, la respiration et la décomposition (fig. 2.1, numéros 16 à 22), avec un échange continu d'oxygène et de carbone.

Les sols (**pédosphère**) sont également reliés à l'atmosphère par le cycle du carbone (23). Les modifications des propriétés du sol, comme le drainage des marais et des tourbières, ou encore le dégel des sols qui

étaient gelés en permanence depuis des millénaires (pergélisol), peuvent libérer de grandes quantités de CO₂ et de méthane (CH₄) dans l'atmosphère (15). L'altération des roches silicatées de la **lithosphère** (24-26) «capture» du CO₂ et le piège dans les matériaux rocheux issus de ce processus (argiles, sables, certaines roches carbonatées). Lors d'éruptions volcaniques, les composés de soufre émis provoquent une plus grande dispersion de la lumière solaire et un refroidissement temporaire de l'atmosphère (26).

L'**hydrosphère** est très étroitement liée à l'atmosphère: leurs interactions ont une influence particulièrement forte sur le climat. Les océans (10) stockent sur une longue période l'énergie du rayonnement solaire à ondes courtes absorbé et la transportent sur de longues distances sous la forme de courants océaniques chauds (12). Les courants océaniques contribuent à l'équilibre global du bilan énergétique, mais ils sont aussi des facteurs qui expliquent en partie les caractéristiques de température et d'humidité de certains climats régionaux. Le climat de l'Europe occidentale, par exemple, est fortement influencé par le courant chaud de la Dérive nord-atlantique, alimenté par les eaux chaudes du Gulf Stream en provenance du golfe du Mexique et de la mer des Caraïbes. L'atmosphère, l'hydrosphère et la cryosphère sont reliées par l'évaporation et les précipitations sur et au-dessus des surfaces d'eau et de glace (8, 9, 10, 13, 14). Sous la forme de nuages ou de vapeur d'eau (6), l'eau a dans l'atmosphère une influence significative sur la quantité de rayonnement solaire à ondes courtes réfléchi et diffusé (2, 3) et sur la part du rayonnement thermique que l'atmosphère renvoie (5) vers la surface de la Terre.

Le sol, la végétation et les roches influencent par leur couleur la réflexion du rayonnement solaire à ondes courtes à la surface de la Terre. Au sein de la **cryosphère**, la neige et la glace ont un fort pouvoir de réflexion (albédo). La taille des surfaces englacées et enneigées affecte la réflexion et l'absorption du rayonnement à ondes courtes, qui à son tour a une influence directe sur la température de l'air. On a là un exemple de boucle de rétroaction positive: plus il fait chaud sur Terre, plus la neige et la glace fondent, plus la réflexion (ou l'absorption) du rayonnement solaire est faible et plus la température sur Terre augmente.

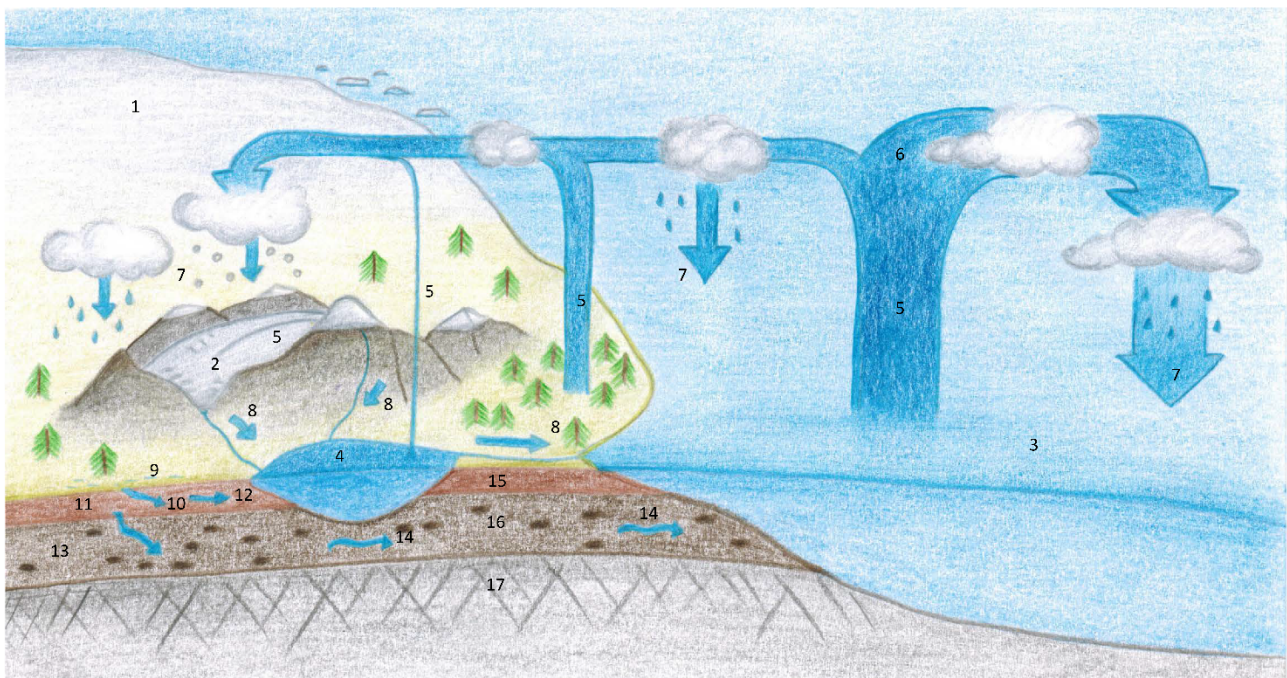


Fig. 2.3. Le cycle de l'eau et ses composants. (Source: croquis original projet CCESO II. Dessin: Michelle Walz, 2019)

Légende du schéma

- | | | |
|---------------------------------|--|--------------------------------|
| 1. Région englacée | 7. Précipitations (pluie et neige) | 13. Réservoir d'eau souterrain |
| 2. Glacier / Neige | 8. Ecoulement des cours d'eau | 14. Ecoulement souterrain |
| 3. Océan | 9. Zone marécageuse | 15. Sol |
| 4. Lac | 10. Infiltration | 16. Roche meuble |
| 5. Evaporation / Sublimation | 11. Stockage de l'humidité du sol | 17. Roche en place |
| 6. Transport de la vapeur d'eau | 12. Ecoulement dans le sol (percolation) | |

Le **cycle de l'eau** (fig. 2.3) relie l'atmosphère avec l'hydrosphère, la cryosphère, la biosphère, la pédosphère et la lithosphère. Les processus centraux en jeu au sein de ce cycle sont l'évaporation et la condensation, et dans une moindre mesure le ruissellement (écoulement des cours d'eau). Les océans et les mers, les lacs et les cours d'eau, les calottes glaciaires et les zones englacées des pôles, les glaciers des chaînes de montagnes, le pergélisol (permafrost), les eaux souterraines et l'atmosphère sont des réservoirs qui stockent l'eau à l'état liquide, solide ou gazeux et pour des durées très variables – de quelques jours dans l'atmosphère à plusieurs milliers d'années dans un océan. L'eau circule entre ces différents réservoirs: ce «circuit» constitue le cycle de l'eau.

Les **sphères du système climatique réagissent aux changements** à des rythmes différents (cf. tabl. 2.1). L'atmosphère s'adapte en quelques heures ou en quelques jours aux conditions qui règnent à la surface de la Terre, comme la température de la mer ou la couverture de glace. Le temps est également changeant et ne peut donc être prévu que quelques jours à l'avance. Il faut par contre des siècles pour que les courants des grands fonds océaniques réagissent à des facteurs susceptibles de les influencer, par exemple des modifications des courants de surface tels que le Gulf Stream et les changements de température et de précipitations à la surface l'océan qui en résultent. L'immense calotte glaciaire de l'Antarctique ne réagit que très lentement – sur des millénaires – aux fluctuations du climat; mais les glaciers côtiers qu'elle alimente sont touchés de manière beaucoup plus sensible et évoluent plus vite: on observe depuis plus d'une décennie que plusieurs d'entre eux s'écoulent plus vite et ont tendance à perdre du volume, donc à fondre.

Sphères du système climatique (du grec <i>sphaira</i> = la sphère)	Processus influençant le climat	Temporalité (vitesse de réaction)
Atmosphère (du grec <i>atmos</i> = vapeur): enveloppe d'air de la Terre, composée d'un mélange de gaz	Dynamique des phénomènes météorologiques (env. 0-10 km d'altitude); rayonnement; variations de la température et de la pression atmosphérique; vent; le tout influencé par le Soleil et les propriétés physico-chimiques des gaz	1-10 jours
	Circulation stratosphérique (processus de mélange des composants gazeux)	100 jours à env. 2 ans
Hydrosphère (du grec <i>hydro</i> = eau): comprend toutes les ressources en eau de la Terre (océans, cours d'eau, lacs, eaux souterraines, précipitations, nuages)	Cycle de l'eau; courants et propagation de la chaleur dans et par la couche superficielle de l'océan (0-100 m); formation des nuages et des précipitations; stockage, libération et échange de chaleur et de matière (p. ex. CO ₂)	De quelques jours à plusieurs années
	Mélange océanique profond; circulation thermohaline (courants océaniques; stockage de chaleur et de matière)	Siècles - millénaires
Cryosphère (du grec <i>kryo</i> = froid, gel, glace): comprend toutes les formes de neige et de glace (sauf les particules de glace des nuages): banquise, ice shelf, inlandsis (calottes glaciaires), glaciers de vallée, pergélisol (permafrost)	Réflexion du rayonnement solaire à ondes courtes (influence la température de l'air, la pression atmosphérique, les précipitations)	De quelques minutes à quelques mois
	Extension et retrait de la banquise (influence les courants océaniques)	Mois - décennies
	Extension et retrait des glaciers et des inlandsis (réservoirs d'eau; albédo)	Décennies - siècles
	Formation et fonte du pergélisol et des calottes glaciaires (libération de gaz à effet de serre; modif. des courants océaniques; hausse du niveau de la mer)	Millénaires - millions d'années
Biosphère (du grec <i>bios</i> = vie): comprend tous les êtres vivants des écosystèmes terrestres et aquatiques	Fixation du carbone (p. ex. CO ₂ , CH ₄) par photosynthèse dans les végétaux et le plancton	Minutes
	Libération de composés de carbone (p. ex. CO ₂ , CH ₄) par le broyage et la décomposition de la biomasse ou lors d'incendies	Minutes - années
	Déplacement (décalage) des zones de végétation	Siècles - millénaires
Pédosphère (du grec <i>pedon</i> = sol): englobe tous les types de sols, constitués de roches altérées, d'organismes vivants ou morts, d'eau et d'air	Réchauffement du sol	Heures - années
	Stockage de l'eau (p. ex. certaines catégories d'eaux souterraines)	Jours - décennies
	Production, décomposition et stockage de minéraux et de matière organique	Mois - siècles
Lithosphère (du grec <i>lithos</i> = roche): comprend la croûte terrestre rigide et le manteau supérieur solide	Stockage de CO ₂ par l'altération chimique des roches silicatées	En continu
	Eruptions volcaniques: émission de vapeur d'eau (H ₂ O), de dioxyde de carbone (CO ₂), de dioxyde de soufre (SO ₂) et d'autres gaz	Minutes - mois
	Sédimentation de matière organique (carbone) dans les lacs et les océans	En continu
	Tectonique des plaques, formation des chaînes de montagnes	Siècles - millions d'années
Anthroposphère (du grec <i>anthropos</i> = être humain): recouvre les espaces de vie (les habitats, les milieux) créés ou influencés de manière directe ou indirecte par les activités humaines	Emissions de gaz à effet de serre (affectent l'atmosphère)	Minutes - siècles
	Déforestation, brûlis et agriculture (affectent la biosphère)	Heures - siècles
	Irrigation, production hydroélectrique (affectent l'hydrosphère)	Heures - décennies
	Couverture des glaciers; production de neige artificielle (affectent la cryosphère)	Heures - mois
	Agriculture: épandage d'engrais et érosion du sol (affectent la pédosphère)	Jours - siècles
	Extraction de combustibles fossiles (affecte la lithosphère)	Jours - siècles

Tableau 2.1: sphères, processus clés du système climatique et temporalités des processus. Adapté et complété d'après <https://geolinde.musin.de/index.php/klima/1/klimaeinfuehrung/1263-klimasystem-reaktion-2.html> (dernière consultation le 12.11.2019).

Au sein même des différents sous-systèmes du système climatique, les processus se déroulent à des vitesses très variables (voir le tableau 2.1). Un système dépressionnaire (zone de basse pression atmosphérique) peut se déplacer de plusieurs centaines de kilomètres en quelques jours; les courants marins se meuvent souvent à une vitesse de quelques mètres par minute; la transformation de la neige en glace dans la zone d'alimentation d'un glacier est un processus qui prend plusieurs années. Par ailleurs, les différentes composantes du système climatique ont des propriétés thermiques qui leur sont propres: l'eau, par exemple, stocke pendant longtemps l'énergie provenant du rayonnement solaire à ondes courtes. Au final, ce sont les interactions entre l'atmosphère et les autres sous-systèmes qui déterminent la prévisibilité du climat.

Activité 2.3.

The climate is what you expect; the weather is what you get. (Robert A. Heinlein, 1973)

Commentez cette citation de l'auteur de science-fiction R. A. Heinlein en vous aidant des informations présentées dans le tableau 1.

Activité 2.4.

Repérez le glacier supérieur de Grindelwald sur une carte topographique.

Estimez le retrait du glacier entre 1937 et 2012, sur la base des images de la fig. 2.4, de la carte topographique, et éventuellement de l'outil interactif «Voyage dans le temps» du Portail cartographique de la Confédération (<https://map.geo.admin.ch/>).

Ce phénomène révèle-t-il une modification rapide du système climatique à votre avis? Justifiez votre point de vue.

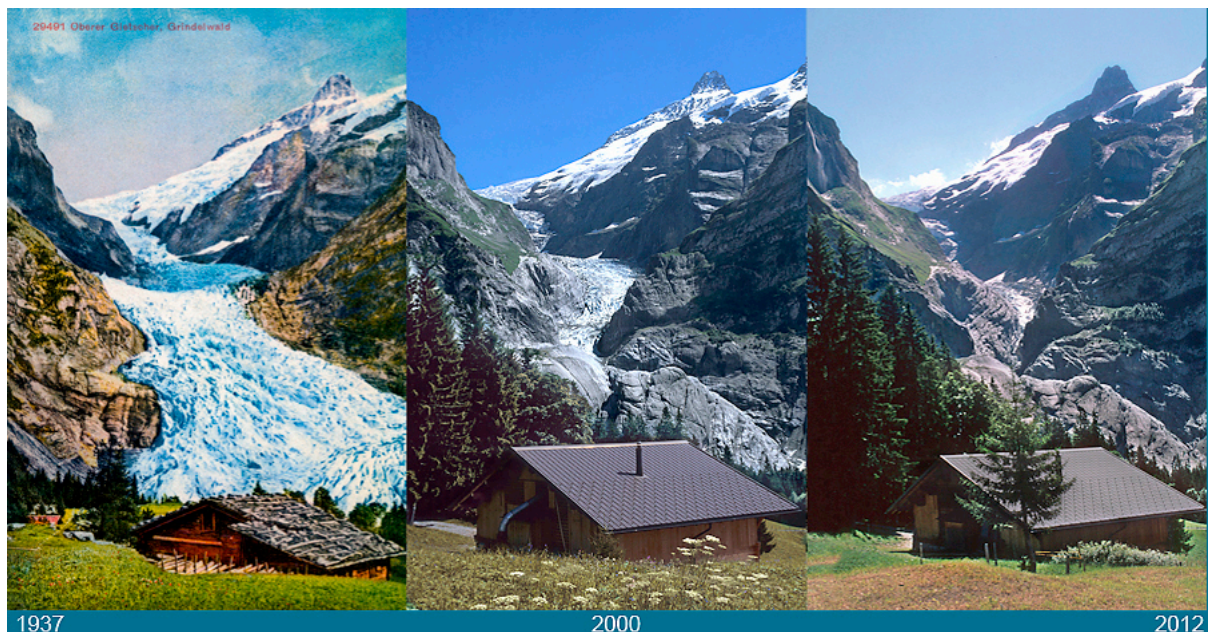


Fig. 2.4. Le glacier supérieur de Grindelwald (Oberer Grindelwaldgletscher) en 1937, 2000 et 2012. (Source: Gletscherarchiv, http://www.gletscherarchiv.de/fotovergleiche/gletscher_liste_schweiz/; dernière consultation le 28.08.2019)

Bilan radiatif de la Terre et effet de serre

Le phénomène de l'effet de serre est presque systématiquement évoqué dans les discours médiatiques lorsqu'il est question du changement climatique. Comprendre l'effet de serre ne va pas sans passer par un travail visant à comprendre le bilan radiatif de la Terre. Outre les explications et les schémas qui suivent, il vous est recommandé de consulter des sites présentant des animations pour bien saisir la dynamique et la nature des processus qui donnent lieu à l'effet de serre. Celles qui sont proposées sur le site éducatif de Météo France (<http://education.meteofrance.fr/accueil>) sont à la fois intéressantes et fiables.

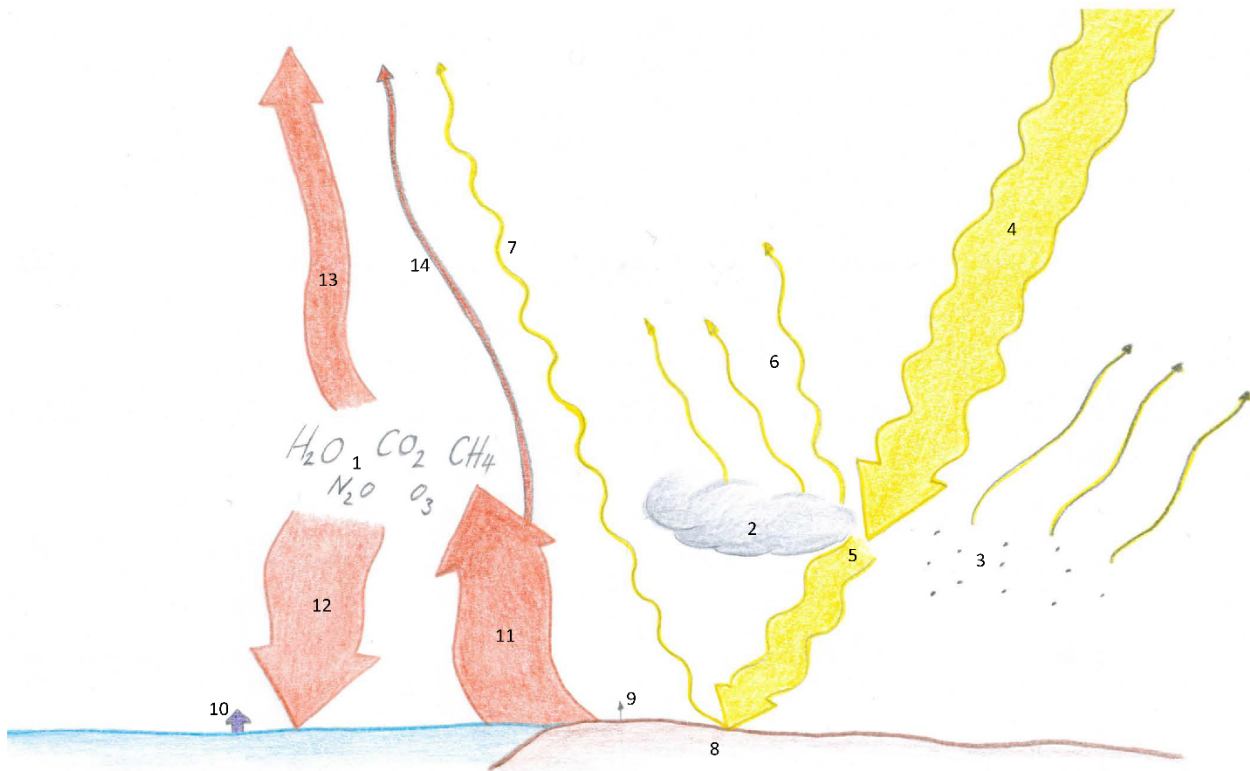


Fig. 2.5. Schéma simplifié du bilan radiatif de la Terre.

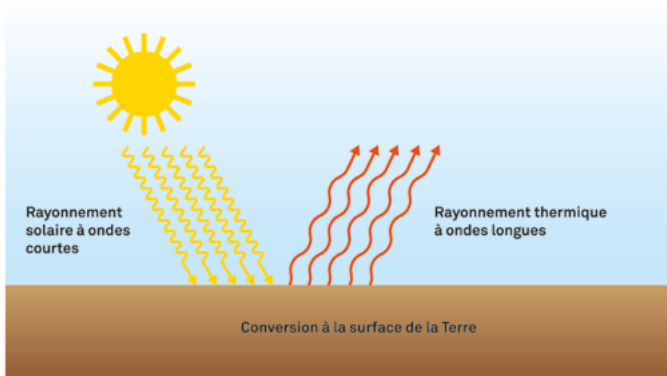
(Source: croquis original projet CCESO II. Dessin: Michelle Walz, 2019)

- | | | |
|---|--|--|
| 1. Gaz à effet de serre | 6. Dispersion (diffusion) par les nuages | 11. Rayonnement thermique émis par la surface de la Terre (infrarouge, ondes longues) |
| 2. Nuages | 7. Rayonnement réfléchi par le sol (ondes courtes) | 12. Rayonnement thermique renvoyé par les gaz à effet de serre, les gouttelettes des nuages, les aérosols |
| 3. Aérosols | 8. Absorption par le sol | 13. Rayonnement thermique émis par l'atmosphère en direction de l'espace |
| 4. Rayonnement solaire incident | 9. Chaleur sensible | 14. «Fenêtre atmosphérique» (rayonnement thermique traversant l'atmosphère et émis directement en direction de l'espace) |
| 5. Absorption par les gaz à effet de serre, les gouttelettes des nuages, les aérosols | 10. Chaleur latente (vapeur d'eau) | |

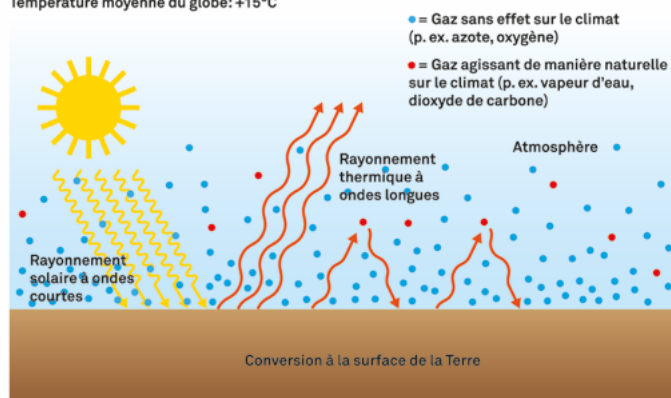
Le rayonnement solaire qui atteint l'atmosphère terrestre et la Terre est un rayonnement à ondes courtes très énergétique (4). Une partie de ce rayonnement est absorbée (5) dans l'atmosphère par les gaz à effet de serre (1), les nuages (2) et des aérosols (3). Une autre partie de ce rayonnement est dispersée ou diffusée (6) par les nuages et les aérosols (3). Cette fraction du rayonnement solaire n'atteint pas la surface de la Terre, mais retourne dans l'espace. La moitié environ du rayonnement solaire incident atteint la surface du globe, car les gaz à effet de serre sont largement perméables à ce rayonnement à ondes courtes et le laissent donc passer. Une petite fraction du rayonnement solaire atteignant le sol est réfléchi (7) par les surfaces claires (neige, zones englacées). La majeure partie du rayonnement solaire à ondes courtes qui arrive à la surface est absorbée par l'eau (océans, mers, lacs, etc.), les zones rocheuses, les sols, le couvert végétal, les surfaces asphaltées, etc. (8), convertie en rayonnement thermique infrarouge (à ondes longues) et renvoyée dans l'atmosphère (11).

C'est là que prend place **l'effet de serre naturel**: les gaz à effet de serre (1) présents dans l'atmosphère gênent ou empêchent l'émission de ce rayonnement thermique en direction de l'espace. Ils l'absorbent, le diffusent ou le ré-émettent, de sorte qu'une bonne partie de ce rayonnement thermique revient vers la Terre et les basses couches de l'atmosphère (12). L'analogie avec une serre n'est que partiellement pertinente, car les gaz à effet de serre ne forment pas une couche mince et bien identifiable comme le toit en verre ou en plastique d'une serre: ils sont en réalité disséminés parmi les autres molécules gazeuses constituant l'atmosphère (voir les deuxième et troisième schémas de la fig. 2.6). Ce rayonnement thermique «en retour» a pour effet un apport d'énergie et donc de chaleur à la surface de la Terre et dans les couches d'air proches de la surface, qui s'ajoute à la chaleur apportée par le rayonnement solaire. Une partie de ce rayonnement thermique «en retour» est absorbée par les océans, les mers et les lacs, ce qui entraîne leur réchauffement. Cette accumulation de chaleur au sol et dans la basse atmosphère (ou, plus précisément, ce bilan thermique ou bilan radiatif positif dans l'infrarouge) a pour conséquence une température qui est plus élevée de 33 °C que ce que serait la température d'équilibre sans l'atmosphère (- 18°C). D'où une température moyenne annuelle de la Terre qui avoisine les 15 °C.

Pas d'atmosphère
Température moyenne du globe: - 18°C



Atmosphère avec effet de serre naturel
Température moyenne du globe: +15°C



Atmosphère avec effet de serre naturel et anthropique
Température moyenne du globe +15°C + ? °C

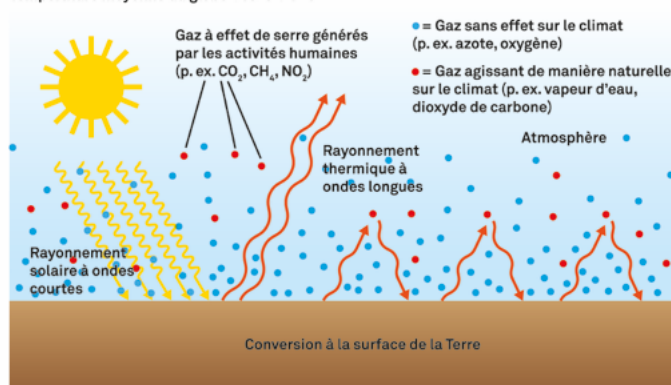


Fig. 2.6. L'effet de serre et son rôle par rapport à la température de la Terre.
(Source: projet CCESO, 2019)

L'effet de serre est donc un phénomène naturel. Parmi les gaz à effet de serre, la vapeur d'eau entre pour environ 65% et le gaz carbonique (sans celui envoyé dans l'atmosphère par les activités humaines) pour 22% dans le réchauffement naturel. Ce sont les deux gaz à effet de serre les plus importants.

On dit souvent que les activités humaines «modifient l'effet de serre». En réalité, le mécanisme reste fondamentalement le même: **l'effet de serre d'origine anthropique** (ou **effet de serre additionnel**) est une intensification de l'effet de serre naturel. Le recours massif aux combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz extraits de la lithosphère), la déforestation à large échelle, ou encore le méthane produit par l'élevage et certaines activités agricoles (la riziculture surtout) ont pour conséquence l'augmentation de la quantité et de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, et en particulier du gaz carbonique (dioxyde de carbone, CO₂). Le rayonnement thermique ré-émis en direction de la Terre augmente donc, et avec lui la chaleur au sol et dans les basses couches de l'atmosphère. La température est de ce fait plus élevée qu'avec l'effet de serre naturel.

Activité 2.5.

Décrivez et justifiez les conséquences des phénomènes suivants sur les températures à l'échelle locale ou régionale et à l'échelle globale.

- a) Un supervolcan fait éruption et projette d'énormes quantités d'aérosols dans l'atmosphère.
- b) Le recours incontrôlé aux combustibles fossiles conduit à l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre.
- c) La population mondiale augmente et avec elle les besoins alimentaires.
- d) Les toits, les routes et les places publiques d'une localité sont repeints avec une couleur claire.

Discutez vos réponses avec vos camarades.

Activité 2.6.

Elaborez une carte conceptuelle mettant en évidence les liens entre les composantes du bilan radiatif et l'effet de serre naturel.

Mettez ensuite en évidence les effets des activités humaines (effet de serre additionnel).

Comparez le document que vous avez produit avec ceux des autres élèves de la classe.

Procédez aux corrections et ajouts éventuellement nécessaires.

Le cycle du carbone: sources, puits et réservoirs

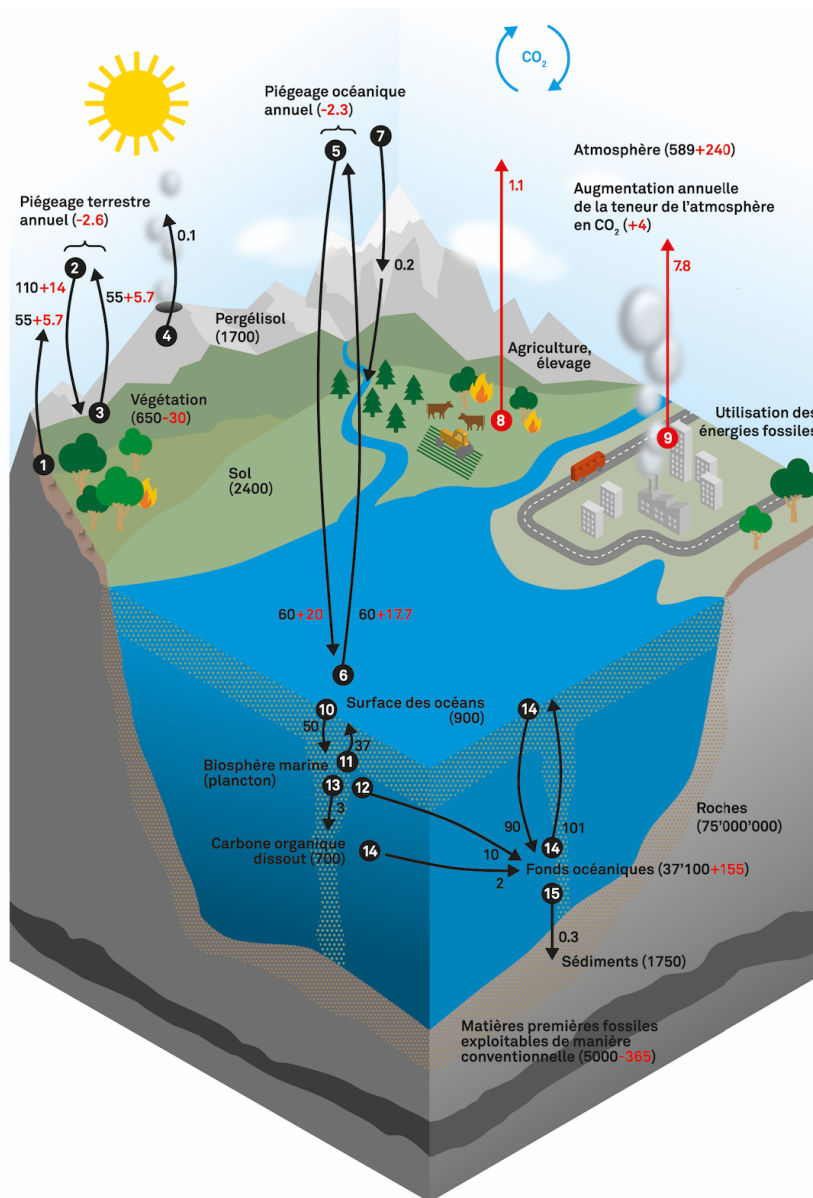


Fig. 2.7. Composantes, processus et ordres de grandeur des échanges dans le cycle du carbone naturel, avec influence anthropique (Source du schéma: projet CCESO II, 2019)

Légende du schéma

- Décomposition de la matière organique, surtout végétaux morts (55 + 5.7)
- Photosynthèse (110 + 14)
- Respiration des végétaux et feux naturels (feux de forêt, de broussailles) (55 + 5.7)
- Volcanisme (0.1)
- Dissolution du CO₂ dans les océans (60 + 20)
- Dégazage du CO₂ des océans (60 + 17.7)
- Altération des roches (0.2)
- Agriculture, changements d'affectation des terres, cultures sur brûlis (1.1)
- Combustion d'énergies fossiles (7.8)
- Photosynthèse nette des organismes marins, sans la respiration (50)
- Décomposition de la matière organique morte dans l'océan de surface (37)
- Descente en profondeur et décomposition de particules organiques mortes (10)
- Transport de la matière organique dissoute vers les profondeurs (3)

- Mélange et transport (↘ 2, ↓ 90, ↑ 101.)
- Sédimentation et diagenèse de particules organiques mortes (0.3)

↑ Source de carbone naturelle, ↑ Source de carbone anthropique
 ↓ Puits de carbone naturel, ↓ Puits de carbone anthropique

Flux des sources ou vers les puits (flèches) en Gt C/année
 En noir = flux naturels

En rouge = flux actuels d'origine anthropique

Stocks des réservoirs de carbone en Gt de C

En noir = stocks naturels,

En rouge = impacts anthropiques depuis l'industrialisation

Le carbone est un élément essentiel à la vie. Le corps humain est principalement constitué de carbone (C), et il en va de même pour la biomasse animale ou végétale. Les végétaux terrestres et les algues absorbent le dioxyde de carbone gazeux (CO₂) de l'atmosphère et de l'eau et le transforment lors de la photosynthèse en molécules riches en énergie, comme les sucres et les hydrates de carbone. Le carbone change constamment d'état à travers le métabolisme des organismes vivants et des processus chimiques naturels dans l'eau, le sol, la roche, les organismes vivants et l'air (voir fig. 2.7). Il est lié à la matière sous la forme de composés de carbone ou passe dans l'atmosphère sous forme gazeuse (CO₂, CH₄). L'océan et le plancton qui y vit stockent plus de carbone que l'atmosphère et la biosphère terrestre (végétaux et animaux). Des quantités encore plus importantes de carbone sont stockées dans la lithosphère, dans les roches (par exemple le calcaire) ou sous la forme de gisements fossiles sous la surface de la terre (pétrole, gaz naturel, charbon).

L'atmosphère, l'eau de mer, la lithosphère, le sol et les végétaux sont donc d'importants réservoirs de carbone, et ils échangent du carbone en permanence.

- L'air est un mélange de différents gaz, constitué aujourd'hui de 0.04% de dioxyde de carbone (CO₂).
- Le carbone se présente dans l'eau sous la forme de CO₂ dissout, qui peut aussi s'échapper dans l'air.
- Dans la lithosphère, le carbone (C) se trouve notamment dans le calcaire, roche formée à partir des restes d'organismes à coquilles. Dans certaines conditions et à travers un processus qui s'étend sur des centaines de millions d'années, des restes de végétaux morts se transforment en combustibles tels que le charbon (qui contient jusqu'à 90% de carbone), le pétrole ou le gaz naturel. On parle de combustibles fossiles du fait que leur formation remonte à des millions d'années.
- La décomposition des végétaux morts apporte du carbone au sol à travers la couche d'humus. Ces matières organiques apportent à leur tour du carbone et d'autres nutriments utiles à la croissance des plantes.
- Les végétaux terrestres, les algues et le plancton produisent du glucose (dextrose) lors de la photosynthèse. Lors de ce processus, l'énergie solaire est utilisée par les végétaux pour oxyder l'eau absorbée par les racines et réduire le gaz carbonique pour produire des substances organiques (les glucides) et de l'oxygène (O₂)¹. Le glucose est l'élément de base des glucides; il contient du carbone et est stocké sous la forme de cellulose dans le bois, d'amidon dans les légumes ou de sucre dans les fruits.

Les échanges entre ces réservoirs se déroulent sur des siècles, ce qui à première vue peut sembler long. Mais si l'on pense que le carbone reste fixé dans les roches de la lithosphère pendant des millions d'années, alors les échanges entre les réservoirs de carbone que sont l'atmosphère, l'eau de mer, la lithosphère, le sol et les végétaux peuvent être considérés comme (relativement) rapides. Dans la plupart des cas, les interventions humaines dans le cycle du carbone correspondent à une accélération artificielle des processus d'échange de carbone, par exemple par la combustion du charbon, du pétrole et du gaz naturel, par l'assèchement des marais et des tourbières ou encore par la coupe claire et les brûlis dans les forêts.

Activité 2.7.

A l'aide de la fig. 2.7 et du texte ci-dessus, identifiez les **sources** à partir desquelles le carbone est libéré dans l'atmosphère, les **puits de carbone**, c'est-à-dire les réservoirs capables d'absorber le carbone en circulation, et les **réservoirs** dans lesquels le carbone peut rester stocké pour de longues durées.

Mettez-les en évidence sous la forme qui vous convient le mieux (schéma et/ou texte).

Quels sont selon vous les puits de carbone et les réservoirs qui sont potentiellement les plus sensibles aux interventions humaines? Quelles implications pouvez-vous identifier quant à l'équilibre du système climatique? Justifiez votre point de vue, puis comparez-le à celui d'autres étudiant.e.s de la classe.

¹ Equation de base de la photosynthèse: $6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} + \text{énergie lumineuse} = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \text{ (glucose)} + 6 \text{ O}_2$.

Activité 2.8.

Observez, analysez et commentez les fig. 2.8 et 2.9. Quelles hypothèses vous permettent-elles de formuler quant aux causes des évolutions qu'elles mettent en évidence? Justifiez votre avis, puis confrontez-le à celui de vos camarades et aux informations proposées dans la section suivante du dossier.

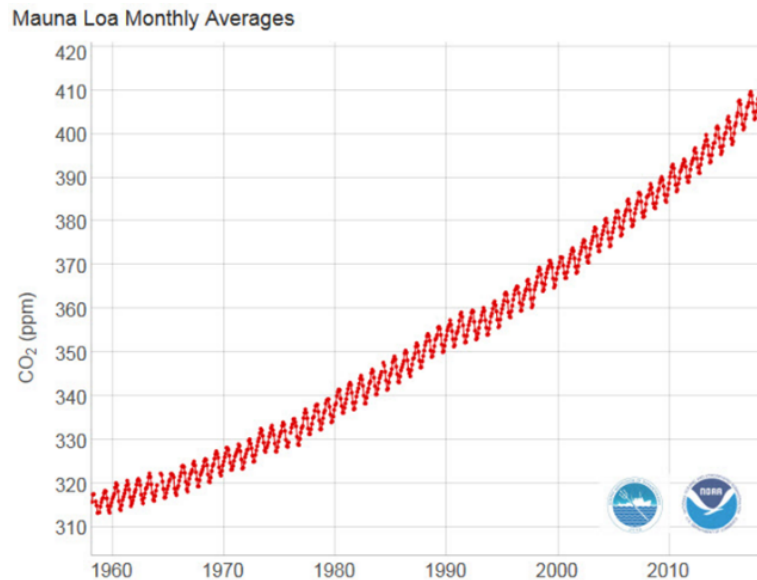


Fig. 2.8. Evolution de la concentration en CO₂ dans l'atmosphère de la fin des années 1950 à nos jours. Données recueillies à la station de mesure située au sommet du Mauna Loa (4169 m), un volcan de la plus grande des îles de Hawaii (USA). Concentration exprimée en parts par million (ppm). (Source: NOAA, 2018)

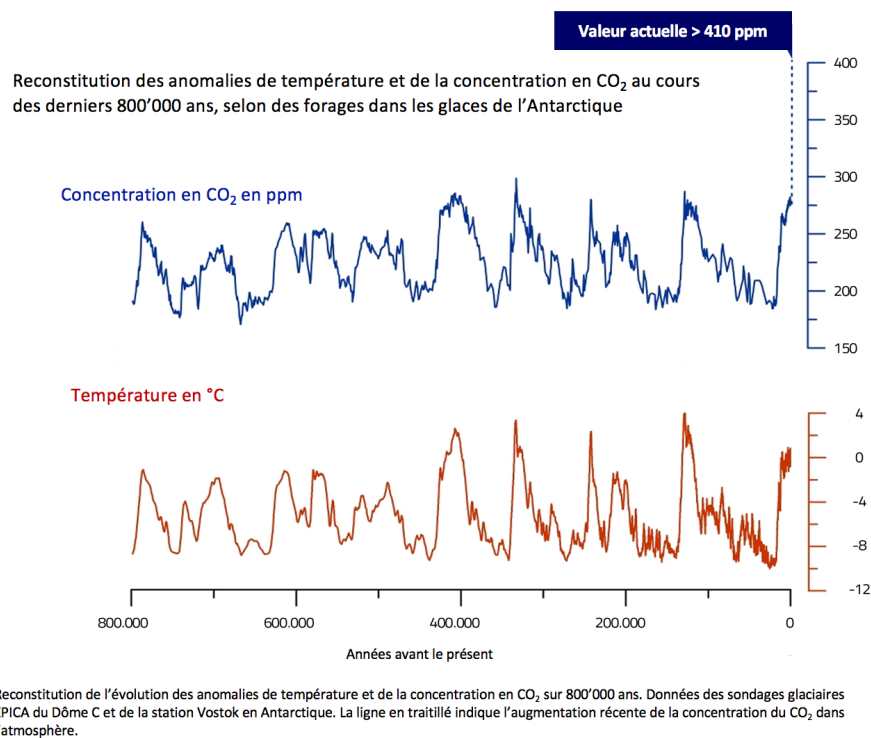


Fig. 2.9. Anomalies de température (en rouge) en Antarctique et concentration du CO₂ (en bleu) au cours des derniers 800'000 ans. Source du graphique: http://www.klimastadt-konstanz.de/files/icecore_record_w960px.gif (trad. Ph. Hertig).

3 Les causes naturelles et anthropiques des changements climatiques

Au cours de sa longue histoire, la Terre a connu de nombreuses fluctuations climatiques. Des facteurs naturels permettent d'expliquer celles qui ont précédé l'apparition et le développement des sociétés humaines. Depuis près de deux siècles maintenant, et de manière de plus en plus importante, l'Homme est devenu le facteur prépondérant du changement climatique actuellement en cours.

Certains milieux – politiciens, économistes, intellectuels, journalistes, quelques rares scientifiques, et aussi des «citoyens ordinaires» – mettent en cause l'influence humaine sur le changement climatique actuel. Ces milieux, souvent appelés *climatosceptiques*, avancent des arguments qui s'opposent à ceux fondés sur les travaux menés depuis plusieurs décennies par des milliers de chercheurs et auxquels souscrit la quasi-totalité de la communauté scientifique.

La recherche scientifique aborde la question de l'impact des activités humaines sur le climat en examinant les fluctuations naturelles du climat et les facteurs qui les ont influencées. Certaines données permettent de remonter dans le temps jusqu'à 500 millions d'années (voir la fig. 3.2): la variabilité naturelle du climat se déploie sur une temporalité très longue – des milliers, voire des dizaines ou des centaines de milliers d'années – qui n'est pas celle des sociétés humaines. Ces données relatives aux fluctuations naturelles du climat sont comparées à celles qui documentent le changement climatique actuel, qui se traduit notamment par une hausse rapide de la température moyenne annuelle du globe – le réchauffement global.

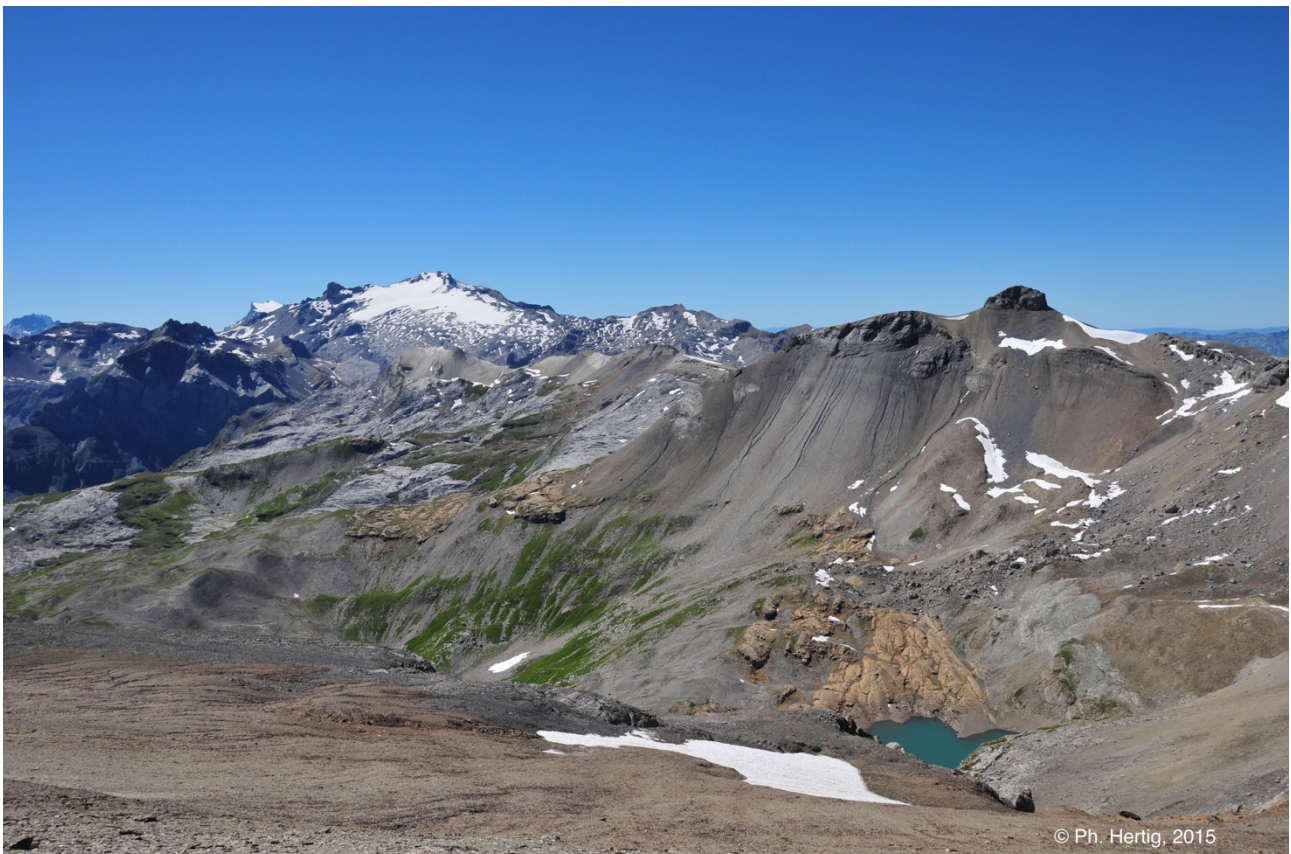


Fig. 3.1. Le massif du Wildhorn (3248 m) vu depuis la Pointe de la Plaine Morte, au-dessus de Montana (VS). La photo a été prise le 22 août 2015. Dans son bulletin climatologique de l'année 2015, MétéoSuisse relève que l'été 2015 fut le deuxième plus chaud (après celui de 2003) depuis le début des mesures en 1864, avec un excédent thermique de 2.4°C en moyenne pour l'ensemble de la Suisse par rapport à la norme 1981-2010. (Photo © Ph. Hertig)

Les causes des fluctuations naturelles du climat

L'un des arguments des climatosceptiques pour nier ou minimiser l'influence humaine sur le climat consiste à dire que le climat de la Terre a connu de nombreuses fluctuations au cours des temps géologiques.

Les résultats des recherches scientifiques montrent en effet que la température moyenne du globe a beaucoup varié au cours de l'histoire de la Terre, sous l'influence de différents facteurs naturels.

Remonter dans le passé permet d'obtenir une image à la fois vaste et détaillée de la **variabilité naturelle du climat**. Cela permet aussi de prendre conscience des ordres de grandeur temporels de ces fluctuations (fig. 3.2), ainsi que de l'impact des différents facteurs naturels qui agissent sur le climat.

Enfin, ce travail permet de mettre en perspective l'impact des activités humaines sur le climat en le comparant avec celui des différents facteurs naturels.

Causes probables des variations de température signalées en rouge sur le graphique

1) Refroidissement marqué au cours de l'Eocène (il y a environ 55 à 34 millions d'années): selon des données récentes (2018) ce refroidissement serait lié à une baisse de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, peut-être due à des mouvements tectoniques qui ont modifié des courants marins.

2) Fluctuations régulières au cours du Pléistocène (entre env. 1 million d'années et 20'000 ans avant nos jours): elles sont liées à des facteurs astronomiques (variations cycliques des paramètres de l'orbite terrestre)².

3) Période de stabilité de l'Holocène au cours des derniers 12'000 ans: les facteurs astronomiques sont encore prépondérants. Cette période stable et relativement chaude a permis la sédentarisation et le développement des sociétés humaines au Néolithique (entre 11'500 et 2000 ans avant J.-C. environ).

4) Réchauffement très rapide lié aux activités humaines depuis la deuxième moitié du 19^e siècle: les émissions anthropiques de gaz à effet de serre en sont le principal facteur explicatif.

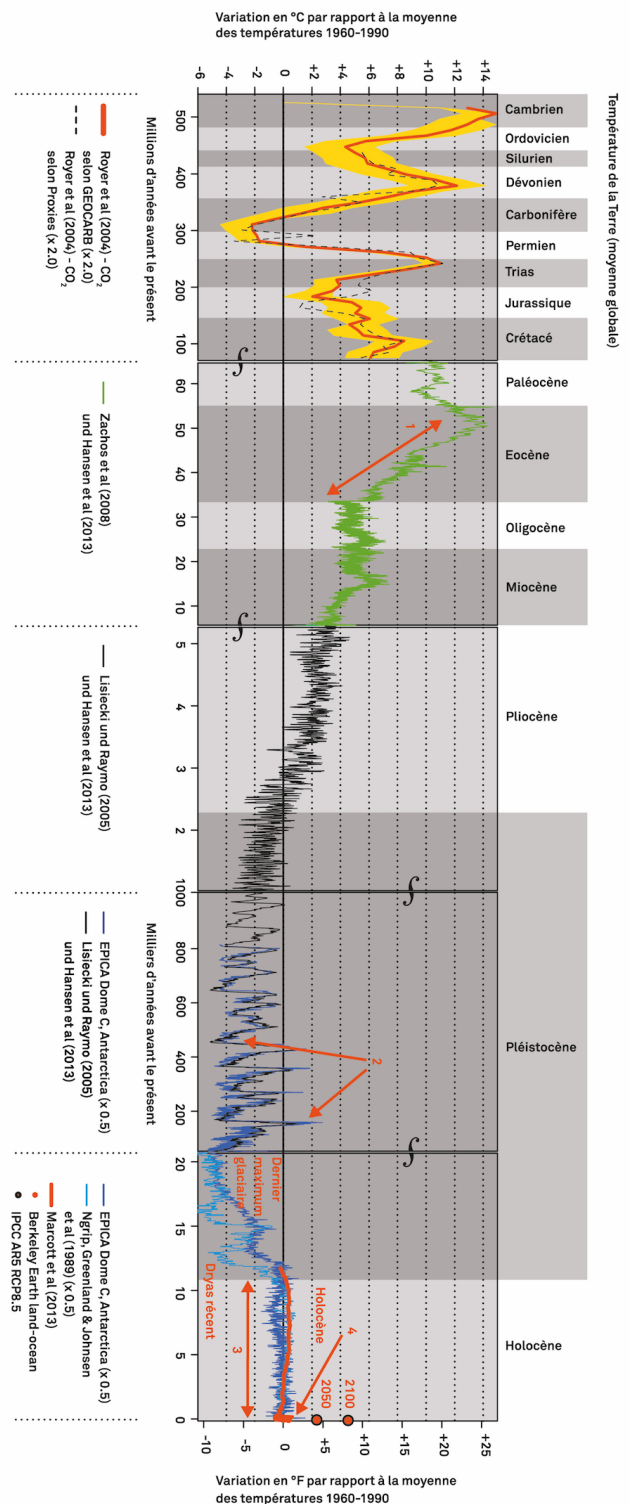


Fig. 3.2. Evolution de la température moyenne de la Terre au cours des 500 derniers millions d'années. La courbe est construite à partir d'une série d'études scientifiques et permet ainsi de reconstituer l'évolution de climat sur cette période. (Source: projet CCEO II, 2019)

² Ces variations cycliques, appelées cycles de Milankovitch, du nom de celui qui a élaboré la théorie en 1941, déterminent les alternances de phases glaciaires et interglaciaires (périodes de glaciations et périodes plus chaudes).

Activité 3.1.

Prenez connaissance des informations figurant sur la page du site de Météo France dont le lien vous est indiqué ci-dessous:

<http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/comprendre-le-climat-mondial/387> (dernière consultation le 16.10.2019)

Si nécessaire, consultez également d'autres ressources, notamment pour obtenir des informations plus précises sur l'influence des variations de l'orbite terrestre et de l'activité du Soleil), en veillant à leur fiabilité.

Indiquez ensuite en quelques mots de quelle manière les facteurs naturels mentionnés ci-dessous ont un impact sur le système climatique et ont influencé et peuvent encore influencer l'évolution du climat.

Elaborez un schéma qui rende compte de l'influence de ces différents facteurs naturels sur l'évolution du climat.

Discutez vos réalisations avec d'autres étudiant.e.s de la classe. Complétez-les si nécessaire.

Facteurs naturels à prendre en considération:

- Paramètres astronomiques
- Impacts de météorites
- Mouvements liés à la tectonique des plaques
- Eruptions volcaniques majeures
- Modifications des interactions entre l'atmosphère et l'océan

L'Homme comme facteur de l'évolution du climat: les causes anthropiques du changement climatique actuel

Depuis les débuts de l'industrialisation, vers le milieu du 19^e siècle, l'Homme apparaît comme un facteur externe supplémentaire des fluctuations du climat. L'augmentation vertigineuse de l'utilisation des combustibles fossiles pour satisfaire les besoins des différents secteurs d'activité (p. ex. industrie, services, mobilité, mais aussi agriculture) et ceux liés au développement social (p. ex. augmentation de la population, société de consommation occidentale, mondialisation) ont conduit à une situation dans laquelle le système économique actuellement dominant consomme des quantités phénoménales d'énergie. Par ses activités, l'Homme perturbe les flux naturels d'énergie et de matière et a donc un impact jamais vu auparavant sur le système climatique.

Ce sont avant tout les émissions anthropiques de gaz à effet de serre, d'aérosols et d'autres substances susceptibles d'influencer le climat qui ont un impact sur le bilan radiatif de la Terre et sur les différentes composantes du système climatique (fig. 3.3). Ces émissions de gaz à effet de serre sont générées par la combustion d'énergies fossiles dans les activités industrielles, l'agriculture, les transports, les services (p. ex. énergie permettant de faire fonctionner les serveurs informatiques) et par les ménages (notamment pour le chauffage ou le refroidissement des habitations). Les modifications à grande échelle de l'utilisation du sol, par exemple l'urbanisation ou la déforestation, ont également un impact important. La fig. 3.4 montre l'évolution de la concentration des trois principaux gaz à effet de serre anthropiques (le gaz carbonique, le méthane et le protoxyde d'azote) depuis 1850. Les effets de tels changements dans la concentration de ces gaz à effet de serre vont être ressentis pendant des siècles.

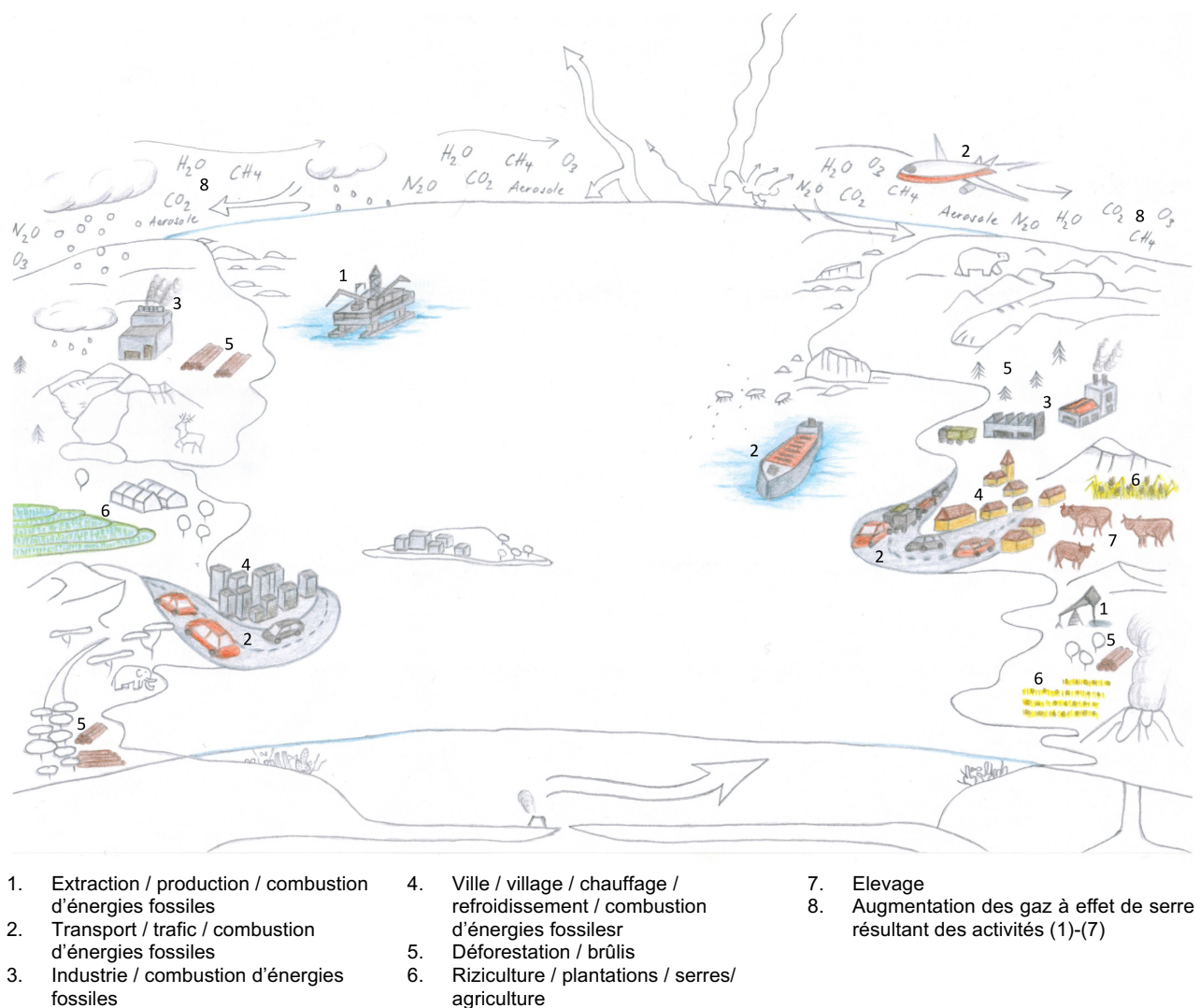


Fig. 3.3. Impacts des activités humaines sur le système climatique: causes anthropiques du changement climatique. (Source: croquis original projet CCESO II. Dessin: Michelle Walz, 2019)

Les sociétés humaines ont profondément modifié le cycle du carbone depuis le début de l'ère industrielle, en raison de l'utilisation massive des combustibles fossiles, en particulier le pétrole, la houille et le lignite³ et le gaz naturel. Outre les multiples usages de ces combustibles fossiles qui rejettent du CO₂ dans l'atmosphère, des activités telles que la riziculture et l'élevage émettent de grandes quantités de méthane (CH₄), qui est aussi un puissant gaz à effet de serre.

Même si l'influence des facteurs climatiques naturels n'est pas encore entièrement comprise, et même si certaines conséquences du changement climatique ne seront peut-être ressenties que dans quelques décennies dans l'une ou l'autre région du monde, la très grande majorité des scientifiques du monde entier sont d'accord avec les conclusions des spécialistes du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) qui estiment pouvoir affirmer avec un degré de certitude de plus de 95% que les activités humaines sont le principal facteur explicatif du réchauffement global observé depuis 1950.

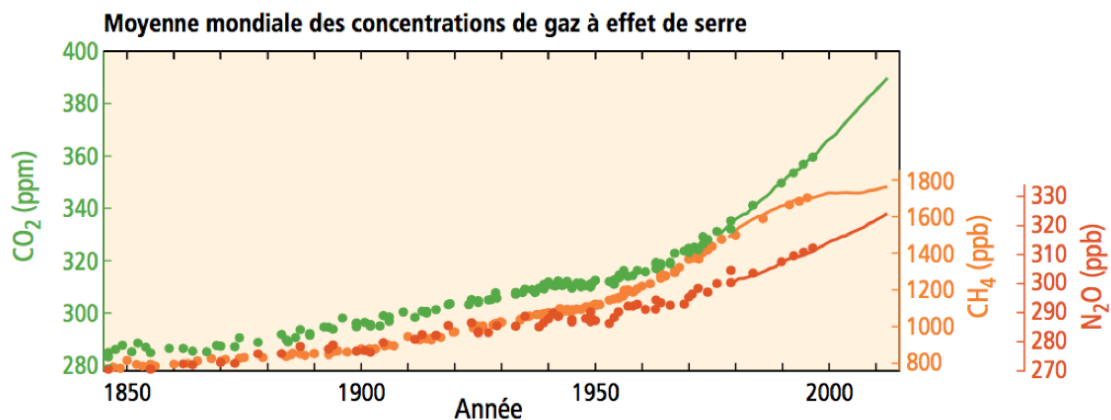


Fig. 3.4. Evolution de la moyenne mondiale de la concentration des trois gaz à effet de serre les plus importants (hors vapeur d'eau), le gaz carbonique (dioxyde de carbone, CO₂, en vert), le méthane (CH₄, en orange) et le protoxyde d'azote (N₂O, en rouge) de l'ère préindustrielle (1850) à 2011. Les points représentent des données provenant de carottes glaciaires et les lignes de mesures directes dans l'atmosphère. (Source: GIEC, 2014, p. 3).

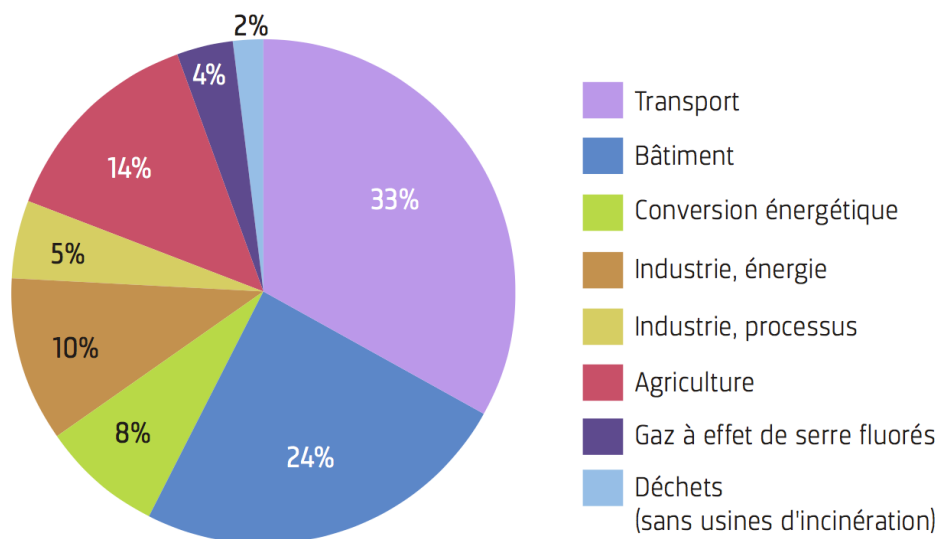


Fig. 3.5. Répartition des émissions de gaz à effet de serre en Suisse par secteurs, pour l'année 2014 (sans les vols internationaux et sans les émissions liées aux matières importées). (Source: Académies suisses des sciences, *Coup de projecteur sur le climat suisse. Etat des lieux et perspectives*, SCNAT, 2016, p. 162)

³ La houille et le lignite sont des variétés de charbon.

Gaz à effet de serre figurant dans le Protocole de Kyoto et dans la loi sur le CO ₂	Temps de séjour dans l'atmosphère ^{1,2} (en années)	GWP ^{2,3}	Part des émissions totales ⁴ (sans le déboisement)
Dioxyde de carbone (CO₂) <ul style="list-style-type: none"> combustion (combustibles et carburants d'origine fossile : pétrole, gaz naturel, charbon), production de ciment déboisement/feux de brousse dans les pays tropicaux 	100-150	1	monde : env. 73% Suisse : env. 82%
Méthane (CH₄) <ul style="list-style-type: none"> agriculture (ruminants et fertilisation) gestion des déchets (décharges, compost/fermentation, épuration des eaux usées) utilisation des énergies fossiles 	12	25	monde : env. 17% Suisse : env. 10%
Protoxyde d'azote (N₂O) <ul style="list-style-type: none"> agriculture (sol et fertilisation) conversion d'énergie, industrie et épuration des eaux usées (proportion moindre) 	114	298	monde : env. 8% Suisse : env. 5%
Gaz synthétiques à effet de serre :			monde : env. 2% Suisse : env. 3%
Hydrofluorocarbones (HFC) <ul style="list-style-type: none"> produits réfrigérants, produits isolants, gaz propulseurs des aérosols, solvants 	0.3 à 270	12 à 14'800	
Hydrocarbures perfluorés (PFC) <ul style="list-style-type: none"> fabrication de semi-conducteurs, solvants, fluides caloporteurs 	2'600 à 50'000	7'390 à 12'200	
Hexafluorure de soufre (SF₆) <ul style="list-style-type: none"> isolants de lignes à haute tension, coulée d'aluminium et de magnésium, fabrication de semi-conducteurs 	3'200	22'800	
Trifluorure d'azote (NF₃) <ul style="list-style-type: none"> industrie électronique 	740	17'200	
Gaz à effet de serre ne figurant pas dans le Protocole de Kyoto et dans la loi sur le CO₂			
Chlorofluorocarbures (groupe des CFC, des halons et des HCFC) <ul style="list-style-type: none"> utilisation limitée ou interdite par le Protocole de Montréal en raison de l'effet d'appauvrissement de la couche d'ozone ; en Suisse, les émissions ne sont générées que par les systèmes frigorifiques et les systèmes d'extinction existants, ou par du plastique expansé 	1,3 à 1'700	plus de 10'000	tendance à la baisse en raison de la politique de protection de la couche d'ozone
Nouvelles substances ayant un effet sur le climat			
Hydrofluoroéther (HFE) <ul style="list-style-type: none"> solvants, fluides caloporteurs 	0,2 à 136	11 à 14'900	tendance à la hausse
Fluorure de sulfuryle (SO₂F₂)⁵ <ul style="list-style-type: none"> produits antiparasitaires 	36	4'780	

¹ Temps de séjour dans l'atmosphère : durée après laquelle environ 63.2 % de la quantité d'une substance s'est dégradée.

² Source : Table 2.14 (Errata), IPCC AR4 (2007, Working Group 1). Ces valeurs sont également utilisées pour l'Inventaire suisse des émissions de gaz à effet de serre.

³ Potentiel de réchauffement global (GWP) : coefficient d'efficacité relative des différents gaz à effet de serre comparé avec le CO₂.

⁴ Source : Inventaire suisse des émissions de gaz à effet de serre 2015 et World Resources Institute (WRI, données 2011).

⁵ Papadimitriou et al. (2008, J. Phys. Chem. A, 112, 12657–12666) et Mühle et al. (2009, J. Geophys. Res., 114, D05306).

Tabl. 3.1 Gaz à effet de serre d'origine anthropique: temps de séjour dans l'atmosphère, potentiel de réchauffement global et part des émissions dans le monde et en Suisse. (Source: Office fédéral de l'environnement OFEV, 2015; <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/donnees-indicateurs-cartes/donnees.html>; dernière consultation le 16.09.2019)

Pour calculer la part des différents gaz à effet de serre dans les émissions totales d'un pays et pour comparer les émissions de plusieurs pays, il est nécessaire de définir un dénominateur commun. On calcule ainsi l'équivalent CO₂ des gaz à effet de serre. Concrètement, le CO₂ sert d'étalon et un potentiel de réchauffement global (PRG – en anglais *Global Warming Potential*, GWP, cf. le tableau 3.1 ci-dessus) est calculé pour chaque gaz à effet de serre et pour une période donnée.

Le PRG du dioxyde de carbone est fixé à 1, quelle que soit la période considérée (cf. le tableau 3.2). Par exemple, pour une période de 100 ans, le méthane a en moyenne globale un pouvoir de réchauffement global 28 fois plus élevé que le CO₂. Chaque tonne de méthane doit donc être comptabilisée comme 28 tonnes de CO₂ dans les bilans d'émissions de gaz à effet de serre. Le PRG (ou GWP) d'un gaz à effet de serre est donc une estimation de son impact sur le processus de l'effet de serre.⁴

Potentiel de réchauffement global (PRG) en éq CO ₂		
	Pour une période de 20 ans	Pour une période de 100 ans
CO ₂ (gaz carbonique)	1	1
CH ₄ (méthane)	84	28
N ₂ O (protoxyde d'azote)	264	265
CF ₄ (tétrafluorure de carbone)	4880	6630
HFC-152a (1,1-difluoroéthane)	506	138

Tabl. 3.2. Exemples de potentiel de réchauffement global (PRC) pour quelques gaz à effet de serre. Valeurs conventionnelles⁵, d'après le 5^e Rapport du GIEC, 2014.

Source: <https://www.connaissancedesenergies.org/gaz-effet-de-serre-quest-ce-que-l-equivalent-co2-170807> (dernière consultation le 16.09.2019)

Activité 3.2.

Prenez connaissance des textes des pages 20 et 21, des fig. 3.3 à 3.5 et des tableaux 3.1 et 3.2.

En travaillant en duo ou en petit groupe (3-4 personnes), mettez en évidence, sous la forme qui vous convient le mieux, ce qu'il vous paraît essentiel de retenir à propos des causes anthropiques du changement climatique. Pensez à prendre les acteurs en compte dans vos réflexions.

Préparez-vous à présenter votre travail aux autres groupes de la classe.

Activité 3.3.

Consultez le site <https://www.carbonmap.org> (activez «CO₂ per person» dans le menu *Shade by*).

Consultez également les deux premières rubriques de la page du site de l'Office fédéral de l'environnement qui présente les enjeux clés liés au changement climatique. Adresse de cette page:

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/en-bref.html>

Que pouvez-vous constater quant aux émissions de CO₂ par habitant en Suisse? Justifiez votre constat.

(Dernière consultation des deux sites susmentionnés: 16.09.2019)

⁴ D'après Connaissance des énergies : <https://www.connaissancedesenergies.org/gaz-effet-de-serre-quest-ce-que-l-equivalent-co2-170807> (dernière consultation le 16.09.2019).

⁵ Les valeurs peuvent différer de celles figurant dans le tabl. 3.1: les gaz à effet de serre ont des effets différents dans le temps. La pondération de ces effets selon la durée peut faire varier (légèrement) le PRG.

La Suisse et le changement climatique: quelles observations?

Texte 1

«Aujourd’hui il fait nettement plus chaud qu’auparavant dans toutes les régions de Suisse. (...) Le 21^e siècle a enregistré neuf des dix années les plus chaudes depuis le début des mesures.»

Source: NCCS (éd.) (2018). *CH2018 – Scénarios climatiques pour la Suisse*. Zurich: National Centre for Climate Services (p. 18).

Texte 2

«En Suisse, il existe de longues séries de mesures fiables depuis 1864. Elles apportent la preuve évidente du changement climatique. En Suisse, les températures ont, en effet, augmenté de près de 2 degrés Celsius au cours des 150 dernières années. Ce réchauffement est nettement plus marqué que la moyenne globale (0.9 degré Celsius). C’est depuis les années 1980 que notre climat se réchauffe le plus vite.»

Source: NCCS (éd.) (2018). *CH2018 – Scénarios climatiques pour la Suisse*. Zurich: National Centre for Climate Services (p. 18).

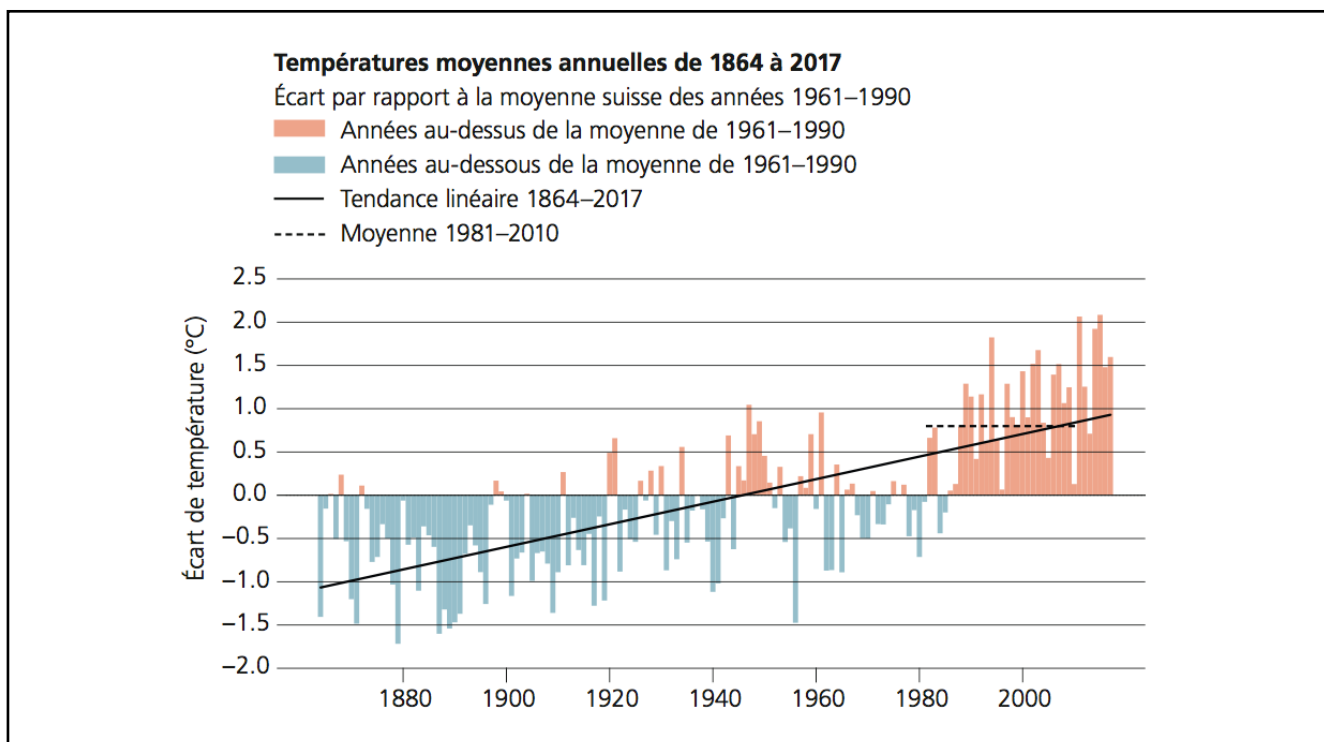


Fig. 3.6. Températures moyennes annuelles en Suisse de 1864 à 2017. Les valeurs indiquées sont les écarts à la moyenne suisse des années 1961-1990.

Source: NCCS (éd.) (2018). *CH2018 – Scénarios climatiques pour la Suisse*. Zurich: National Centre for Climate Services (p. 18)

Activité 3.4.

Prenez connaissance des documents de la page 24 (textes 1 et 2 et fig. 3.6). Observez également la photo de la fig. 3.1 (en page 17).

Consultez ensuite la troisième rubrique «Changements climatiques (état)» de la page du site de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) qui présente les enjeux clés liés au changement climatique.

Adresse de cette page: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/en-bref.html> (dernière consultation le 16.09.2019)

Mettez en perspective les informations que vous donnent la photo de la fig. 3.1 et les documents de la page 24 avec les informations de la rubrique susmentionnée du site de l'OFEV.

Discutez vos constats avec vos camarades. Si nécessaire, amendez ou complétez votre travail.

La rubrique du site de l'OFEV mentionnée ci-dessus évoque des scénarios et des modélisations climatiques. Arrêtons-nous brièvement sur les modèles climatiques.

Des modèles climatiques au service de la science des climats

Dans le domaine de la recherche climatique, les modèles sont le seul moyen d'élaborer des projections fondées sur des données chiffrées quant au comportement du système climatique dans les prochaines décennies. Les modèles sont aussi utilisés pour mieux comprendre des processus complexes, pour simuler le climat du passé et évaluer l'impact des activités humaines sur les différentes composantes du système climatique. Pour être en mesure de prendre en compte les très nombreux aspects des échanges d'énergie et de matière qui caractérisent le système climatique, les modèles exigent une énorme puissance de calcul.

Un modèle climatique représente numériquement la planète et les interactions entre les composantes du système climatique (atmosphère, hydrosphère, cryosphère, etc.). L'espace géographique numérisé est composé de mailles.

«Les interactions entre mailles sont modélisées par un certain nombre d'équations mathématiques. Plus la maille est petite, plus le modèle est précis et donc plus il est fiable. Un modèle climatique cherche à approcher le plus possible la réalité, il essaie de représenter au mieux les forces qui induisent les mouvements atmosphériques, océaniques ou terrestres. Pour cela, le modèle part de conditions initiales connues des paramètres climatiques tels que la température, le rayonnement, l'humidité... et les fait évoluer en suivant le formalisme mathématique».⁶

De nos jours, les modèles qui simulent l'évolution du climat à l'échelle globale pour les 100 prochaines années ont une résolution de 100 à 200 km (cette valeur correspondant au côté d'une maille). Les modèles climatiques régionaux, qui ne simulent par exemple que l'Europe, ont une résolution de 10 à 25 km. Aussi performant soit-il, un modèle reste une simplification de la réalité, et à ce titre les prévisions établies au moyen d'un modèle sont toujours affectées d'une marge d'incertitude. La part d'incertitude générée par un modèle climatique peut être évaluée en comparant les résultats obtenus au moyen de plusieurs autres modèles climatiques existants.⁷

Les travaux du GIEC mobilisent de nombreux modèles climatiques, dont certains permettent de formuler des prévisions pour l'évolution du climat en fonction de divers scénarios d'émissions de gaz à effet de serre.

⁶ Citation tirée de <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/climatologie-modele-climatique-12896/> (dernière consultation le 22.11.2019).

⁷ D'après Académies suisses des sciences, *Coup de projecteur sur le climat suisse. Etat des lieux et perspectives*, SCNAT, 2016, p. 37.

Activité 3.5.

Expliquez au moyen de la fig. 3.7 en quoi les modèles climatiques sont utiles pour déterminer les causes du changement climatique actuel.

Comparez votre explication à celle d'autres étudiant.e.s de la classe.

Activité 3.6.

Prenez connaissance de l'article dont l'adresse en ligne vous est fournie ci-dessous. Bien que relativement ancien (décembre 2011), cet article paru dans le quotidien *Le Temps* a été écrit par un climatologue, qui est également météorologue. Il garde une pleine pertinence sur le fond.

URL de l'article: <https://www.letemps.ch/opinions/valent-modeles-climatiques> (dernière consultation le 22.11.2019).

Discutez la fiabilité des modèles climatiques sur la base de cet article.

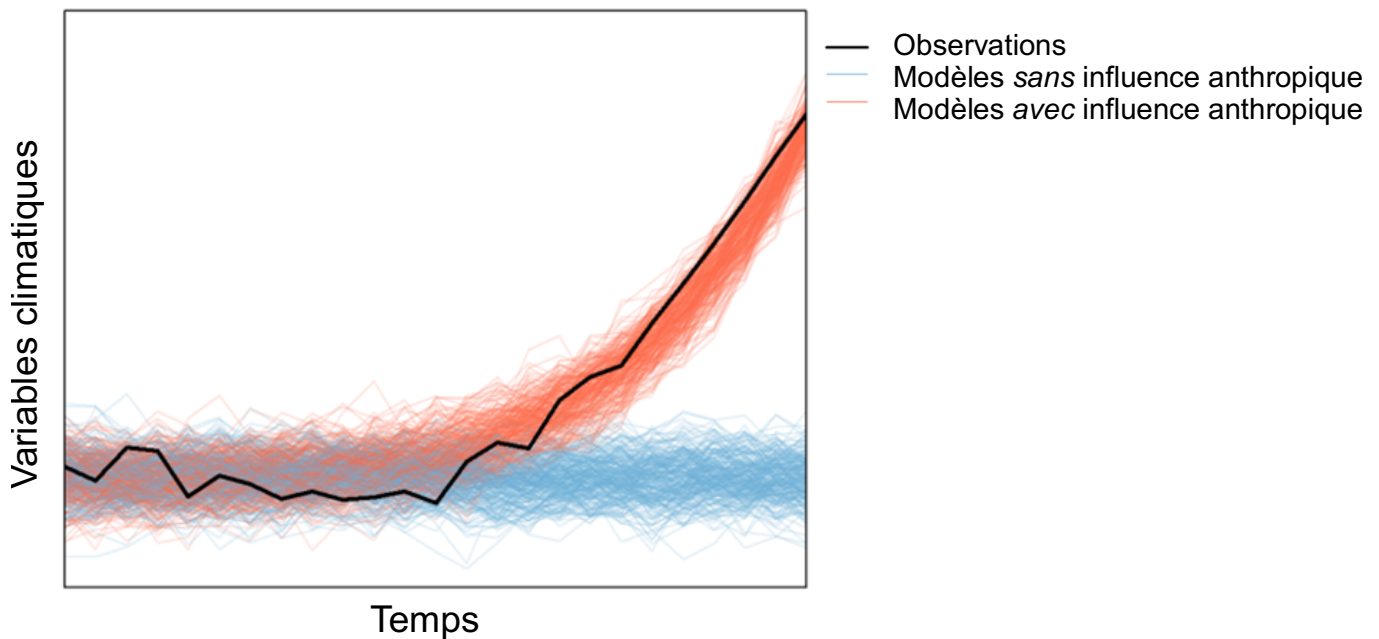


Fig. 3.7. Simulations obtenues au moyen de modèles climatiques et observations (mesures) de l'évolution du climat avec et sans prise en compte de l'influence anthropique. (Source: ETH-Zukunftsblog, 2017; <https://ethz.ch/de/news-und-veranstaltungen/eth-news/news/2017/11/klimawandel-oder-laune-der-natur.html>; dernière consultation le 29.08.2019)

4 Les conséquences du changement climatique

Conséquences à l'échelle globale et en Suisse

Le dernier rapport de synthèse du GIEC (2014) montre que le changement climatique a depuis quelques décennies déjà des conséquences observables et mesurables pour l'environnement, l'économie et la société sur tous les continents et dans tous les océans. Il établit également que plus il fera chaud à l'avenir, plus l'impact sur l'environnement sera important et plus les risques pour la société et l'économie seront élevés.

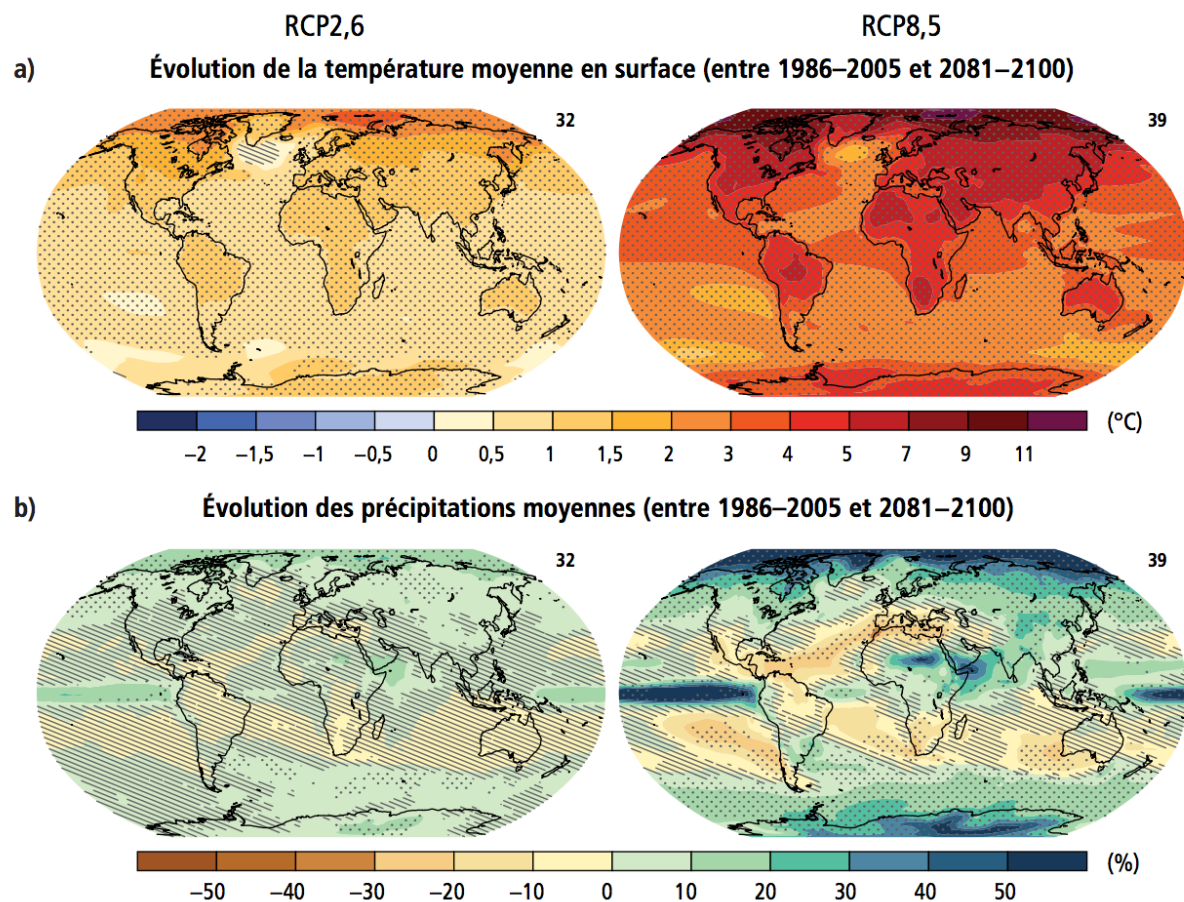


Fig. 4.1. Evolution de la température moyenne à la surface de la Terre (a) et évolution des précipitations moyennes (b) fondées sur des projections multimodèles moyennes pour la période 2081-2100 par rapport à la période 1986-2005, selon les scénarios RCP2.6 (à gauche) et RCP8.5 (à droite). Le nombre de modèles utilisés pour calculer les moyennes lors des simulations est indiqué en haut à droite de chaque carte.

Le scénario RCP2.6 part de l'hypothèse de la mise en place effective de mesures de politique climatique visant à atténuer les émissions de CO₂ de manière à maintenir le réchauffement climatique global probablement¹⁾ dans une fourchette de 0,3 à 1,7°C en comparaison des températures de l'ère préindustrielle.

Le scénario RCP8.5 suppose que les émissions de gaz à effet de serre resteront au même niveau qu'actuellement en raison de l'absence de mesures d'atténuation supplémentaires et montre qu'un réchauffement global de 2,6 à 4,8°C est probable¹⁾.

Les pointillés signalent les régions dans lesquelles le changement projeté est grand par rapport à la variabilité naturelle interne du climat et dans lesquelles 90 % au moins des modèles s'accordent sur le signe du changement. Les hachures signalent les régions dans lesquelles le changement projeté est inférieur à un écart-type de la variabilité naturelle interne du climat. (Source : GIEC, 2014, p. 12)

¹⁾ probablement = 66-100% de probabilité

« Au cours des dernières décennies, l'évolution observée du climat, quelles que soient ses causes, a eu un impact sur tous les océans et sur les systèmes naturels et humains de tous les continents, ce qui témoigne de la sensibilité de ces systèmes au changement climatique.

Les preuves les plus flagrantes et les mieux étayées des incidences du changement climatique ont trait aux systèmes naturels. Dans beaucoup de régions, les changements touchant les précipitations ou la fonte des neiges et des glaces perturbent les systèmes hydrologiques et influent sur la qualité et la quantité des ressources hydriques (*degré de confiance moyen*). On observe chez beaucoup d'espèces terrestres, dulçaquicoles⁸ et marines une évolution de l'aire de répartition, des activités saisonnières, des mouvements migratoires, de l'abondance et des interactions interspécifiques découlant du changement climatique en cours (*degré de confiance élevé*). On a également attribué au changement climatique certains des effets observés sur les systèmes humains, en établissant une distinction entre les contributions majeures ou mineures de ce dernier et celles d'autres influences [voir la fig. 4.3]. L'évaluation des résultats de nombreuses études portant sur un large éventail de régions et de types de cultures, fait apparaître davantage d'incidences négatives que d'incidences positives du changement climatique sur le rendement des cultures (*degré de confiance élevé*). Parmi les incidences de l'acidification des océans sur les organismes marins, certaines ont été attribuées à l'influence humaine (*degré de confiance moyen*).» (Source: GIEC, 2014: p. 6)

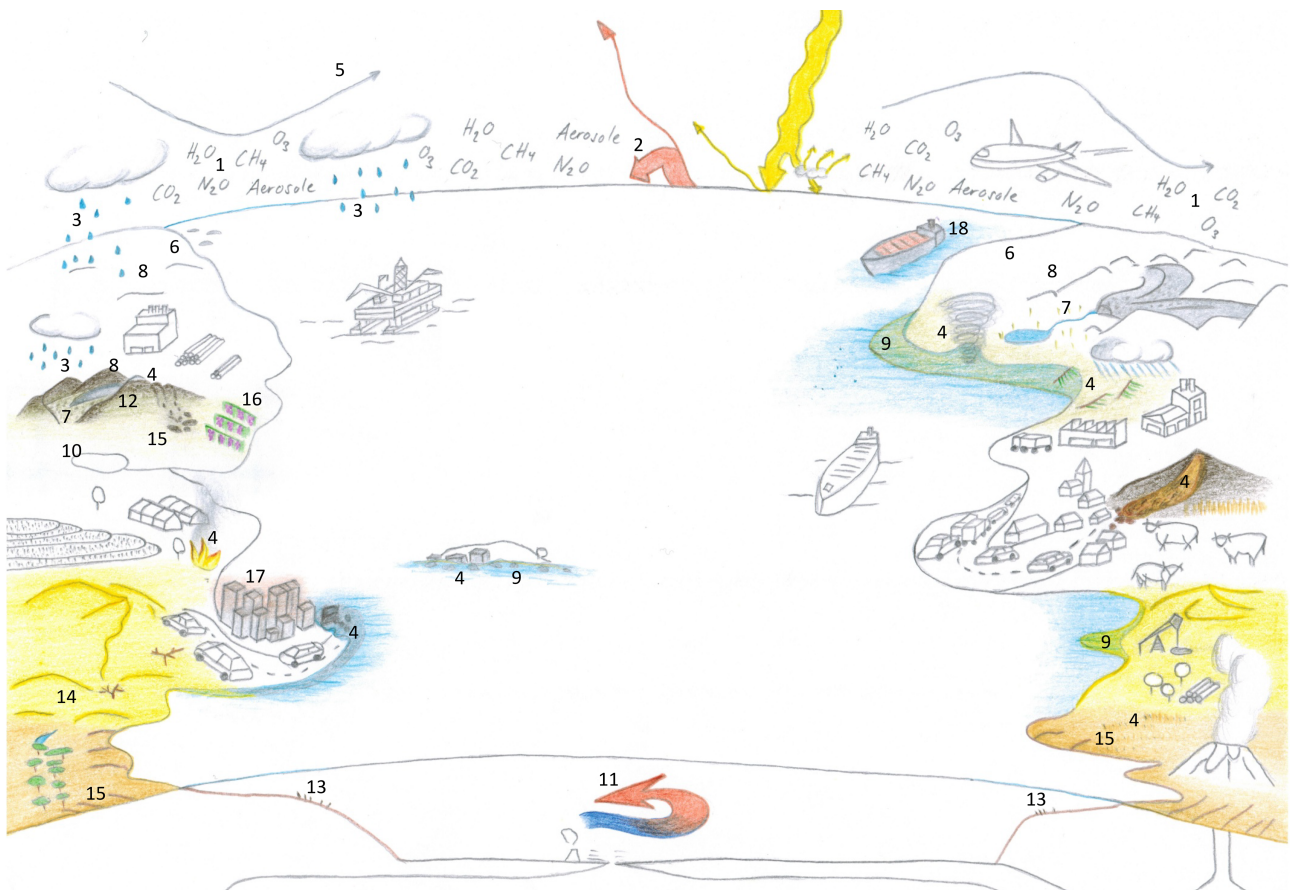


Fig. 4.2. Conséquences du changement climatique. (Source: croquis original projet CCESO II. Dessin: M. Walz, 2019)

⁸ Espèces vivant en eau douce.

Légende de la fig. 4.2**A) Atmosphère**

1. Augmentation des gaz à effet de serre (p. ex. CO₂, H₂O, CH₄)
2. Augmentation du rayonnement thermique (rayonnement en retour à ondes longues)
3. Modification du régime des précipitations
4. Augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements extrêmes (tempêtes, canicules)
5. Modification des systèmes de vents et des jetstreams

- * Augmentation de la concentration de l'ozone dans les basses couches de l'atmosphère et près du sol

B) Hydrosphère et C) Cryosphère

6. Fonte des glaces continentales et de la banquise
7. Fonte des glaciers
4. Augmentation des événements extrêmes (crues et inondations, sécheresses, coulées de boue, glissements de terrain, éboulements)
8. Dégel du pergélisol (permafrost)
9. Elévation du niveau des mers et océans
10. Modification du débit des cours d'eau
11. Modification des courants marins

D) Biosphère

12. Modification de la répartition en altitude (étages de végétation) (la limite de la végétation s'élève, diminution des zones enneigées ou englacées)
13. Mort des coraux/acidification des océans

- * Baisse de la biodiversité
- * Modification de la répartition des zones de végétation

E) Pédosphère

14. Désertification
15. Erosion du sol
4. Augmentation des événements extrêmes (glissements de terrain)

F) Lithosphère

4. Augmentation des événements extrêmes (éboulements)

G) Anthroposphère

16. Décalage des limites des zones cultivables (p. ex. pour la vigne); culture d'espèces nouvelles ou différentes
17. Augmentation de la chaleur dans les villes (îlots de chaleur)
18. Nouvelles routes maritimes (passage du Nord-Ouest et passage du Nord-Est)

- * Conséquences sanitaires (p. ex. stress lié à la chaleur lors d'une canicule; maladies; malnutrition)

- * Migrations; conflits

- * Conséquences économiques (p. ex. impacts sur les activités touristiques, mauvaises récoltes dans l'agriculture, possibilités d'extraction minière dans l'Arctique)

** impossible à représenter sur le dessin*

Activité 4.1.

Après avoir pris connaissance des informations et des documents des pages 27 à 30, consultez la quatrième rubrique de la page suivante du site de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) (dernière consultation le 28.08.2019):

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/en-bref.html#-1333200554>

Collaborez avec un.e ou deux autres élèves de la classe afin d'élaborer une carte conceptuelle portant sur les conséquences du changement climatique, en l'état actuel de vos connaissances.

Préparez-vous à présenter et à expliquer le résultat de votre travail à l'ensemble de la classe.

Complétez votre document au cas où vous constateriez, au gré des présentations, qu'il est affecté d'une ou de plusieurs lacunes importantes. Corrigez également d'éventuelles erreurs.

Relevez les questions que vous vous posez, à ce stade de votre travail, au sujet des conséquences du changement climatique.

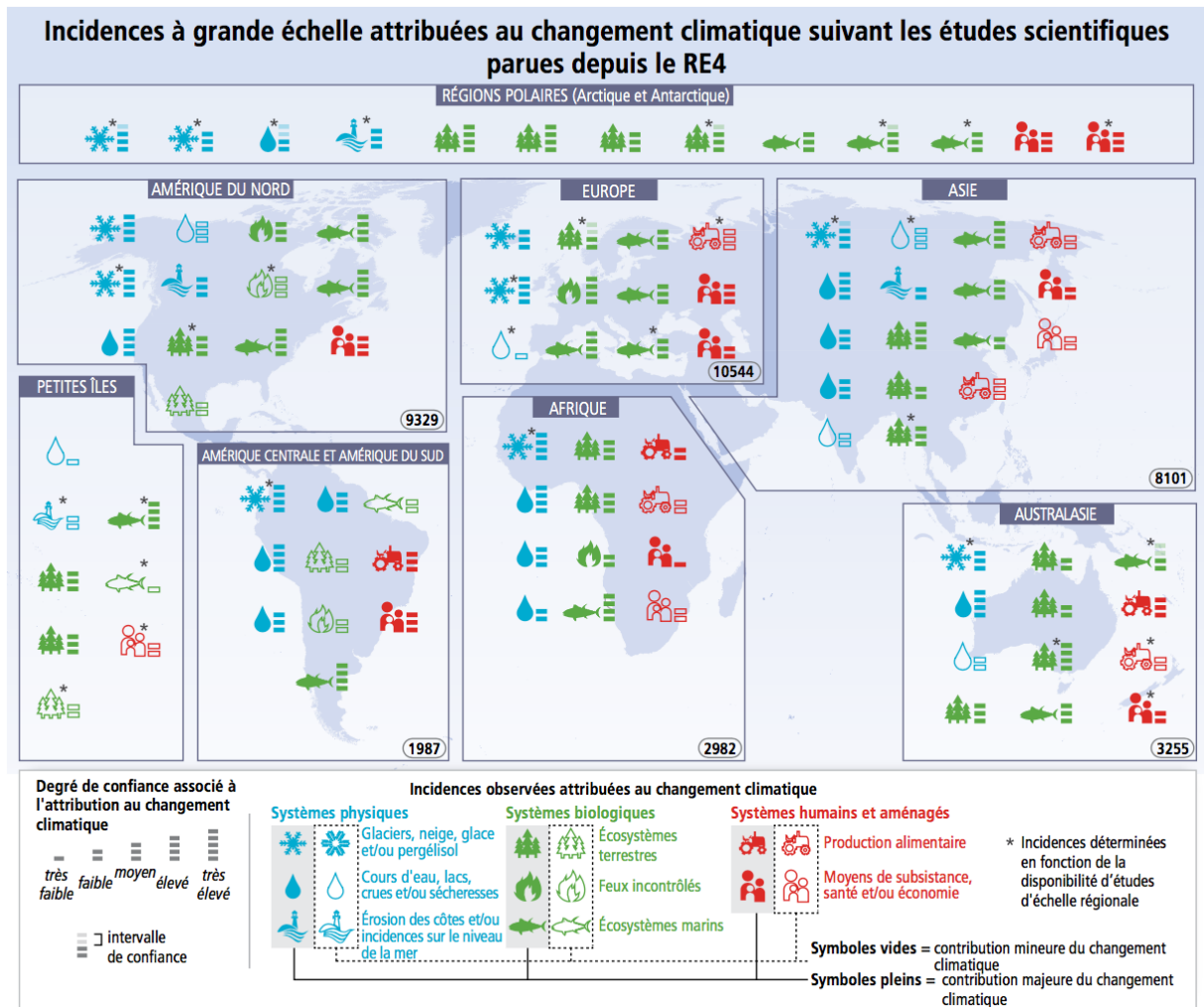


Fig.. 4.3. Conséquences observées du changement climatique classées par régions et par systèmes. Sont mis en évidence les systèmes physiques «inanimés» (hydrosphère, cryosphère, pédosphère, lithosphère), les systèmes biologiques (biosphère) et les systèmes humains ou aménagés par l'Homme.

Les chiffres entourés d'un ovale dans le coin inférieur droit du cadre de chaque région indiquent le nombre de publications scientifiques en anglais parues entre 2001 et 2010 et consacrées aux effets du changement climatique sur les systèmes et les processus entre les systèmes dans les régions considérées (pour les régions polaires et les petits États insulaires, le nombre est inclus dans celui des régions continentales voisines).

Les symboles indiquent les catégories d'impacts identifiés pour chaque région, la contribution relative (significative ou mineure) du changement climatique à l'impact observé et le degré de confiance⁹ associé à l'attribution de tel ou tel impact au changement climatique.

Le document n'a pas la prétention d'être exhaustif: l'absence d'autres conséquences du changement climatique sur cette carte ne signifie pas que ces conséquences sont inexistantes. (Source: GIEC, 2014, p. 7)

⁹ Le GIEC évalue la fiabilité des résultats de ses travaux au moyen d'un système qui repose sur deux paramètres : la qualité intrinsèque des éléments et le degré de cohérence de ces éléments. La synthèse des deux paramètres permet de déterminer un degré de confiance. Celui-ci est exprimé au moyen de cinq qualificatifs : très faible, faible, moyen, élevé, très élevé. (D'après GIEC, 2014, p. 2).



© Ph. Hertig, 2015

Fig. 4.4. Le Val d'Anniviers (VS) et sa «couronne» de sommets de plus de 4000 m vus depuis la Pointe de la Plaine Morte, au-dessus de Montana, le 22 août 2015. (Photo © Ph. Hertig)

Fig. 4.5. Le glacier de la Plaine Morte, vu de la Pointe homonyme, à la même date. (Photo © Ph. Hertig)



© Ph. Hertig, 2015

Climat suisse – incidences et risques

Infrastructures

- ▲ La Suisse est-elle prête à affronter des événements climatiques plus violents ? Les hôpitaux ou les services de sécurité pourraient être davantage mis à contribution à l'avenir en raison de phénomènes climatiques extrêmes. (Chap. 2.12)
- ▲ Un monde dépendant des énergies fossiles nécessite d'autres infrastructures (extension du réseau routier, aéroports, réseaux électriques) qu'un monde sans CO₂. C'est pourquoi les investissements d'aujourd'hui pourraient demain se révéler non rentables et menacer des emplois. (Chap. 2.12)
- ▲ Les infrastructures comme les remontées mécaniques de ou les paravalanches qui reposent aujourd'hui sur le pergélisol pourraient voir disparaître leur fondations stables. (Chap. 2.3/2.11)



Villes et localités

- ▲ Les étés torrides transforment les villes en îlots de chaleur. Le poids de la chaleur dans nos villes est l'une des problématiques les plus marquées du changement climatique. Durant l'été 2003, les fortes chaleurs ont été à l'origine de près de 1000 décès prématurés. (Chap. 2.12/2.13/2.15)
- ▲ Les localités et les bâtiments sont de plus en plus menacés par les inondations. La plupart des grandes villes sont bâties à proximité de l'eau. (Chap. 2.4/2.12/2.13)



Champs et forêts

- ▲ L'épicéa risque de disparaître du Plateau suisse et il est également menacé dans les forêts protectrices de nos montagnes. L'arbre le plus important de l'industrie forestière suisse réagit de manière sensible à la sécheresse et souffre de la prolifération accentuée du bostryche. (Chap. 2.9)
- ▲ Les cultures telles que le blé d'hiver et la pomme de terre sont contrariées par les conditions du réchauffement. Le maïs et la vigne, en revanche, se porteront mieux qu'aujourd'hui, sous réserve d'une humidité suffisante. (Chap. 2.10)
- ▲ Chez les ravageurs comme le carpocapse, on comptera à l'avenir deux à trois générations par an, au lieu d'une ou deux aujourd'hui. (Chap. 2.10)



Ressources hydriques

- ▲ La pénurie d'eau pendant les mois d'été concerne tous les consommateurs de l'eau, spécialement les agriculteurs, de plus en plus tributaires d'eau pour l'irrigation. Les conflits autour d'eau s'aggravent en conséquence. (Chap. 1.8/2.4/2.10/2.11)
- ▲ La diminution des réservoirs d'eau naturels que sont les glaciers et la neige accroît les besoins en lacs d'accumulation artificiels à des fins d'utilisations multiples. (Chap. 2.4/2.11)



- ▲ Incidences et risques
- ★ Atténuation
- Adaptation

La Suisse réagit de manière très sensible au changement climatique. En comparaison à la moyenne globale, l'espace alpin se réchauffe environ deux fois plus vite. Toute la Suisse est touchée de diverses façons par les conséquences du changement climatique.



Lacs et cours d'eau

- ▲ On enregistre une hausse des étés secs avec un ruissellement moindre. Un phénomène dû à la baisse de la pluviométrie estivale ainsi qu'au fort recul de la part des eaux issues de la fonte des neiges et des glaces. (Chap. 1.7/2.4)
- ▲ Les débits ont tendance à augmenter en hiver. Les précipitations hivernales (sous forme de neige) sont plus fréquentes que les pluies et ont une incidence directe sur le ruissellement. (Chap. 1.7/2.4)
- ▲ En raison de l'élévation des températures, la saison des inondations s'allonge, tandis que l'intensification des fortes précipitations provoque une hausse des débits maximums. (Chap. 1.8/2.4)

Faune et flore

- ▲ Un grand nombre de plantes et d'animaux pour lesquels le climat devient trop chaud ou trop sec migrent vers les sommets, avec le risque de s'y heurter à une concurrence accrue sur des espaces vitaux restreints. (Chap. 2.7)
- ▲ Certaines espèces ne parviennent que lentement à déplacer leur habitat ou colonisent des zones plates n'offrant aucun échappatoire vers des habitats plus favorables. (Chap. 2.8)
- ▲ Le rythme saisonnier de la faune et de la flore se modifie et peut perturber l'interaction des différentes espèces: les insectes passent à côté de la période de floraison. (Chap. 2.8)

Montagnes, neige et glace

- ▲ Les glaciers suisses disparaissent. D'ici la fin du siècle, une grande partie des glaciers aura probablement fondu. (Chap. 1.9/2.3/2.14)
- ▲ En haute montagne, on devrait voir apparaître un nouveau paysage fait de rochers, de débris et de végétation éparse et parsemé de nombreux lacs, souvent de très petite taille. S'ils accroissent le potentiel de risques naturels, ils offrent néanmoins des opportunités d'exploitation. (Chap. 2.3/2.5)
- ▲ La saison de la neige va raccourcir de plusieurs semaines à l'avenir et la limite pluie-neige va s'élever de plusieurs centaines de mètres. (Chap. 2.3/2.11)
- ▲ Le pergélisol de haute montagne fondra à long terme jusque dans ses couches les plus profondes, ce qui entraînera une hausse des chutes de pierres et des éboulements. (Chap. 2.3/2.5/2.6)

Phénomènes météorologiques extrêmes

- ▲ La chaleur s'accroît: pendant la saison d'été, il faut s'attendre à des périodes de fortes chaleurs plus longues et à des journées de canicule plus intenses. Cette tendance est d'ores et déjà observée aujourd'hui. (Chap. 1.8)
- ▲ Fortes précipitations: à l'avenir, on devrait assister à une hausse de la fréquence et de la violence des fortes précipitations avec, à la clé, une augmentation des coulées de boue et des glissements de terrain ainsi que des risques d'inondation accrus. (Chap. 1.8/2.4)
- ▲ Le risque de sécheresse augmente: au total, les prévisions pour l'été annoncent un recul du nombre de jours de pluie ainsi qu'un allongement des périodes de sécheresse. (Chap. 1.8)



Fig. 4.6. Conséquences et risques liés au changement climatique pour la Suisse. (Académies suisses des sciences, *Coup de projecteur sur le climat suisse. Etat des lieux et perspectives*, SCNAT, 2016, pp. 3 et 6)

Activité 4.2.

Observez la photo de la fig. 3.1 (p. 17) et celles des fig. 4.4 et 4.5 (p. 31), puis prenez connaissance de la double page de documents de la fig. 4.6.

Consultez en outre les ressources suivantes (dernière consultation de tous les sites le 16.01.2020):

- a) le bilan climatologique de MétéoSuisse pour l'année 2019:
<https://www.meteosuisse.admin.ch/home.subpage.html/fr/data/blogs/2020/1/2019--deuxieme-annee-la-plus-chaude.html>
- b) le bulletin climatologique de MétéoSuisse pour l'année 2015:
<https://www.meteosuisse.admin.ch/home/actualite/infos.subpage.html/fr/data/news/2016/1/bulletin-climatologique-2015-et-decembre-2015-sont-en-ligne.html>
- c) une séquence du téléjournal de la RTS du 24 août 2018 consacrée au glacier de la Plaine Morte:
<https://www.rts.ch/play/tv/19h30/video/le-glacier-de-la-plaine-morte-se-rechauffe-et-change-de-visage-au-fil-des-saisons?id=9797235>
- d) un «Grand Format» de la RTS datant d'août 2019 et consacré au retrait des glaciers:
<https://www.rts.ch/info/suisse/10601976-au-temps-des-glaciers.html>
- e) le portail des dangers naturels de la Confédération: <https://www.dangers-naturels.ch/home/dangers-naturels-actuels.html>

Consultez également la version électronique de l'ouvrage *Coup de projecteur sur le climat suisse. Etat des lieux et perspectives* édité en 2016 par les Académies suisses des sciences. Il peut être téléchargé à partir de la page <https://sciencesnaturelles.ch/service/publications/81637-coup-de-projecteur-sur-le-climat-suisse>

Dans cet ouvrage, consultez les pages introductives (pp. 3-6) dont des extraits sont repris dans le présent dossier à la fig. 4.6, ainsi que les sections consacrées

- aux constats relatifs à la température (pp. 40-45);
- au cycle de l'eau (cycle hydrologique) (pp. 46-51);
- aux phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes (pp. 52-59);
- aux océans et à la cryosphère (pp. 60-67).

Au moyen de l'ensemble de ces ressources (et d'autres ressources qui vous paraissent pertinentes et que vous êtes évidemment libres d'utiliser), cherchez les réponses aux questions que vous vous posez encore sur les conséquences du changement climatique (activité 4.1.), et à celles portant sur la même thématique et que vous avez formulées tout au début de la séquence (activité 1.2.).

N'oubliez pas de prendre en compte les acteurs concernés dans vos raisonnements.

Rendez compte du résultat de votre recherche à travers une présentation qui associe des éléments visuels, dont des schémas, et des éléments textuels (ces derniers ne devant pas être trop longs).

Hausse de la fréquence et de l'intensité des événements extrêmes

Activité 4.3.

Documentez-vous sur les comptes rendus médiatiques de quelques événements météorologiques ou climatiques extrêmes, par exemple le très violent orage qui a provoqué des inondations dans la région de Lausanne le 11 juin 2018, la «saison des feux» 2019-2020 en Australie durant laquelle de gigantesques feux de forêt ont provoqué des dégâts sans précédent, les périodes de canicule qui se multiplient en Europe (par exemple en août 2018 ou en juin et en juillet 2019), ou encore les cyclones qui se succèdent vers la fin de l'été et le début de l'automne dans le bassin des Caraïbes et le golfe du Mexique.

Des liens entre ces événements extrêmes et le changement climatique sont-ils évoqués dans les documents que vous avez trouvés?

Si oui, comment ces liens sont-ils présentés?

Comment pouvez-vous évaluer la fiabilité des relations ainsi établies? Justifiez votre réponse au moyen des connaissances que vous avez acquises en travaillant notamment sur les conséquences du changement climatique.



Fig. 4.7. Au bord du Green Lake, tout près de Whistler, en Colombie Britannique (Canada), un jour d'août 2018. C'était un jour de «grand beau temps», mais avec une visibilité et une qualité de l'air fortement affectées par les fumées des feux de forêt (plus de 500 foyers étaient actifs sur l'ensemble de la province à ce moment-là). Le foyer d'incendie le plus proche de l'endroit où la photo a été prise était à près de 40 km à vol d'oiseau. (Photo © Ph. Hertig)

La capacité de l'air à contenir de l'humidité augmente avec la température. Le réchauffement climatique global, la fonte des glaciers, l'élévation de la limite des chutes de neige sont, parmi d'autres, des facteurs conduisant à une augmentation générale de l'humidité de l'air. Un air plus chaud et plus humide signifie aussi une plus forte teneur en énergie, ce qui peut conduire à une intensification des épisodes de fortes précipitations, à des crues et à des inondations. A l'inverse, la modification des systèmes de circulation des masses d'air peut aussi avoir localement pour conséquence des périodes sans précipitations de plus en plus longues et de plus en plus fréquentes (comme ce fut par exemple le cas en Suisse au cours de l'été 2018).

Les connaissances scientifiques actuelles ne permettent pas d'affirmer avec une certitude absolue qu'il existe un lien de causalité *directe* entre le changement climatique et de tels épisodes de fortes précipitations ou de sécheresse. Le même raisonnement vaut pour les périodes de canicule, la multiplication des feux de forêt ou encore la violence et la fréquence des cyclones. Même si la causalité directe entre le changement climatique et ces événements extrêmes ne peut pas être établie de manière indiscutable, les résultats de toutes les recherches scientifiques, dont ceux du GIEC, conduisent à constater de très fortes corrélations entre la hausse de la fréquence et de l'intensité des événements extrêmes et la hausse des températures moyennes à l'échelle globale et aux échelles régionales.

Soleil écrasant, transpiration intense, nuits sans sommeil, piscines bondées, marchands de glaces pris d'assaut... Les vagues de chaleur semblent se multiplier en Suisse depuis quelques années, à l'image de ces semaines d'août 2018 ou de juin et de juillet 2019 qui ont amené MétéoSuisse à émettre des *avis de canicule*. Les critères qui, en Suisse, conduisent à l'émission d'un avis de canicule sont les suivants : la température dépasse les 30°C la journée et les 20°C la nuit pendant trois jours et trois nuits au moins. Une canicule est donc une période de chaleur très marquée, susceptible de mettre en danger la santé humaine. Il est intéressant de noter ici que la définition de ce qu'est une vague de chaleur ou une canicule n'est pas identique pour toutes les régions : des conditions qui apparaissent comme normales dans une région chaude sont vécues comme une vague de chaleur dans une région au climat habituellement plus frais.

En Europe par exemple, le nombre de jours très chauds a non seulement augmenté de façon mesurable depuis les années 1950, mais on observe également une tendance à des vagues de chaleur estivales plus fréquentes et plus intenses et à des périodes chaudes en toutes saisons. Les extrêmes météorologiques ponctuels ne peuvent pas être directement attribués au changement climatique anthropique en raison des fluctuations aléatoires du système climatique et des conditions météorologiques spécifiques qui prévalent. Cependant, les modèles climatiques peuvent être utilisés pour évaluer la probabilité d'occurrence de vagues de chaleur avec ou sans influence humaine. Les simulations effectuées pour l'Europe (fig. 4.8) montrent qu'il faut s'attendre à l'avenir à des vagues de chaleur estivales plus fréquentes, plus longues et plus intenses, qui pourraient être encore aggravées localement par la probabilité également plus élevée de sécheresses estivales marquées.

Activité 4.4.

Recueillez des témoignages sur les vagues de chaleur récentes (périodes de canicule) auprès de personnes de tous âges que vous interrogerez dans votre entourage familial, dans le quartier où vous résidez et/ou dans le quartier où est situé l'établissement scolaire.

Elaborez ensuite une synthèse des avis recueillis, en mettant en exergue ce qui vous paraît particulièrement intéressant dans les propos de vos interlocutrices et interlocuteurs.

Discutez notamment leur manière de faire ou non des liens entre les vagues de chaleur et le changement climatique (nature des arguments mobilisés: relevant du discours de sens commun, ou documentés par des informations scientifiques, par exemple), mais aussi les implications de ces événements sur leurs activités professionnelles et sur leur vie privée. Ajoutez à ces témoignages un commentaire sur la manière dont vous avez vécu ces événements.

Préparez une présentation à l'intention de l'ensemble de la classe.

Discutez les témoignages que vous avez recueillis avec ceux présentés par les autres étudiant.e.s.

Activité 4.5.

Mettez les résultats de votre enquête (activité 4.4) en perspective au moyen d'informations tirées des sites de MétéoSuisse et de Météo France, ainsi que de l'Office fédéral de la santé publique (dernière consultation de ces sites le 16.01.2020):

- pour la France la page: <http://www.meteofrance.fr/actualites/74603888-canicules-2019-la-moitie-de-la-france-n-avait-jamais-eu-aussi-chaud>
- Office fédéral de la santé publique (OFSP): <https://www.bag.admin.ch/bag/fr/home/gesund-leben/umwelt-und-gesundheit/hitze.html>

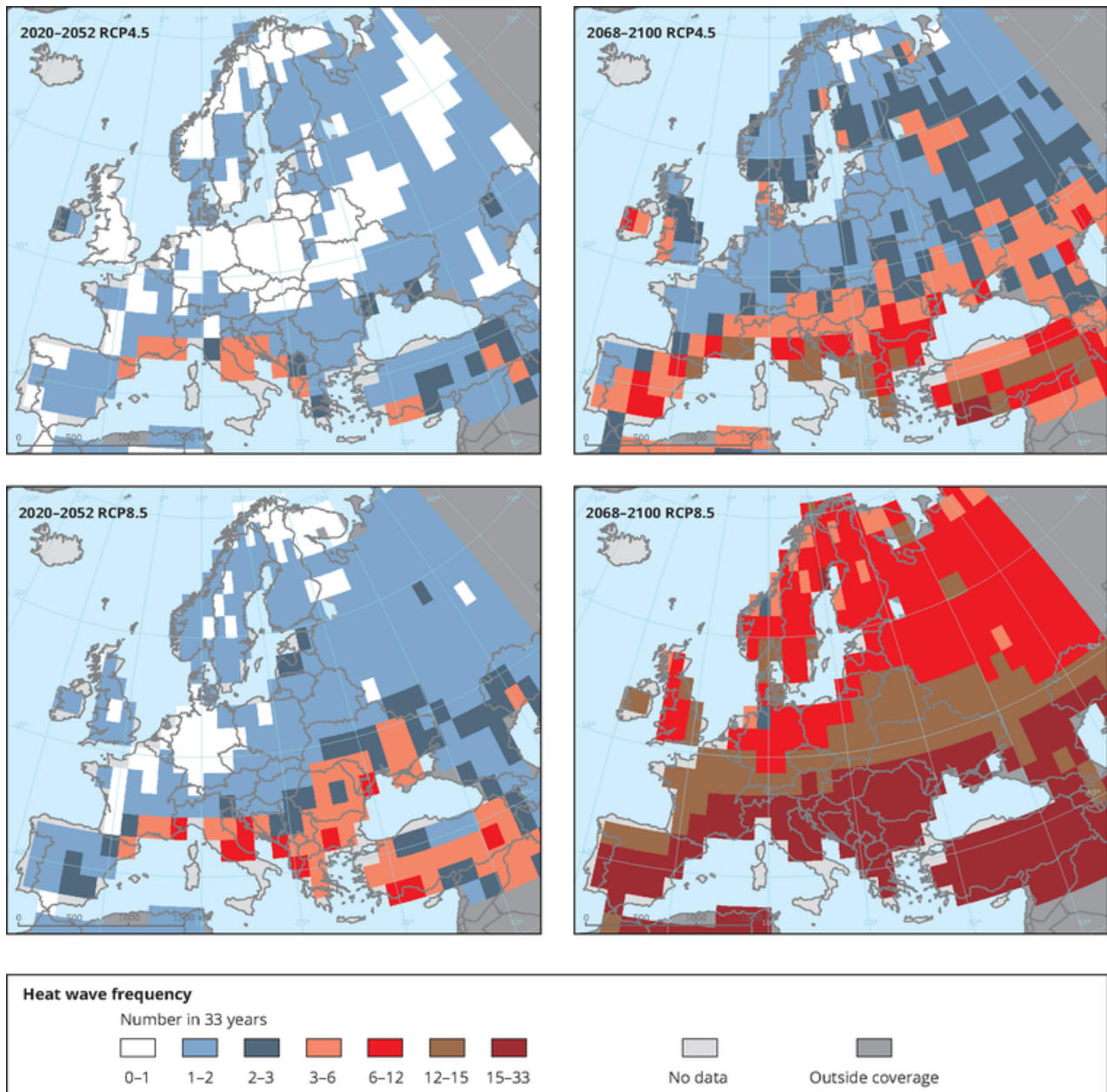


Fig. 4.8. Modélisation de la fréquence des vagues de chaleur en Europe. Les simulations calculent deux périodes différentes (2020-2052 et 2068-2100) et sont fondées sur deux scénarios d'émissions différents (RCP4.5 et RCP8.5). Le RCP4.5 correspond à un scénario modéré avec un abandon progressif des combustibles fossiles, tandis que le RCP8.5 correspond à un scénario de maintien du statu quo sans mesures de politique climatique visant à diminuer les émissions de gaz à effet de serre. (Source: Agence européenne pour l'environnement: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/number-of-extreme-heat-waves/map26495_03.eps/image_large; dernière consultation le 29.08.2019)

5 Politique climatique – Vers quel climat allons-nous?

Compte tenu de l'ampleur et de la gravité des effets probables du changement climatique à l'avenir, les sociétés humaines doivent mettre en place des mesures visant d'une part à minimiser les facteurs qui «alimentent» et accélèrent les déséquilibres du système climatique, et d'autre part à minimiser les conséquences déjà avérées du changement climatique.

Les émissions de gaz à effet de serre (et en particulier de CO₂) d'origine anthropique sont la cause principale du changement climatique actuel. Les mesures visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre sont appelées par les experts du GIEC mesures d'**atténuation**. Avec ce genre de mesures, on cherche à éviter ou au moins à limiter une aggravation du réchauffement climatique et de ses effets. L'expression *mesures d'atténuation* est désormais largement utilisée dans tous les milieux qui se préoccupent de la lutte contre le changement climatique.

Les travaux des scientifiques sur le changement climatique montrent par ailleurs que certaines de ses conséquences sont d'ores et déjà irréversibles – du moins à l'échelle de temps d'une vie humaine: on sait par exemple que le CO₂ présent aujourd'hui dans l'atmosphère et le CO₂ qui sera émis à l'avenir vont influencer le climat pour longtemps, puisque ce gaz séjourne dans l'atmosphère pendant 100 à 150 ans, voire 200 ans. Il faut donc envisager que des effets du changement climatique tels que l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements extrêmes, la hausse du niveau des mers et des océans ou la fonte des glaces vont être une réalité pendant des décennies. Les mesures prises pour minimiser l'impact de ces phénomènes sur les systèmes naturels et sur les sociétés humaines sont appelées mesures d'**adaptation**.

Les mesures d'atténuation et les mesures d'adaptation concernent toutes les catégories d'acteurs. Renoncer à voyager en avion pour ses vacances ou diminuer sa consommation de viande est une décision individuelle, ou familiale. Elaborer des lois à l'échelle nationale ou des accords internationaux implique des réflexions collectives et des décisions qui sont prises à un niveau politique – on rappellera à cet égard que les politiciennes et les politiciens sont élu.e.s par les citoyennes et les citoyens, du moins dans les Etats qui fonctionnent de manière démocratique. Chacune et chacun doit donc se sentir concerné.e par les débats sur le changement climatique, par la *politique climatique*. La discussion et le choix des mesures d'atténuation et d'adaptation constituent une partie importante de la politique climatique.

Activité 5.1.

Divisez la classe en six groupes aux effectifs équilibrés. Chaque groupe a pour tâche de se documenter sur les mesures d'adaptation envisageables pour minimiser les effets de l'un des phénomènes suivants, à l'échelle de la région dans laquelle se situe votre établissement scolaire:

- augmentation de la fréquence des épisodes de précipitations intenses;
- augmentation de la fréquence des épisodes de sécheresse;
- augmentation du risque de crues et d'inondations;
- augmentation du risque de feux de forêts de grande ampleur;
- augmentation des risques liés au dégel du permafrost;
- conséquences de la fonte accélérée des glaciers alpins.

Vos réflexions doivent prendre en compte les acteurs concernés par ces mesures. Définissez à chaque fois en quoi ces acteurs sont concernés (discussion, choix, décision, action, bénéficiaires des mesures, etc.).

Préparez une présentation du résultat de votre recherche aux autres groupes d'étudiant.e.s.

Mettez en évidence les points communs et les différences entre les mesures envisagées.

Elaborez une synthèse de cette activité qui rende compte des apports des différents groupes.

Et répondez finalement à cette question: les mesures envisagées auront-elles une raison d'être à l'horizon de deux à trois décennies si des mesures drastiques et immédiates d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre étaient mise en œuvre? Justifiez votre réponse.

Activité 5.2.

Les mesures d'adaptation à envisager pour faire face au phénomène de l'élévation du niveau des mers et des océans sont-elles comparables à celles sur lesquelles vous avez travaillé dans le cadre de l'activité 5.1? Justifiez votre réponse au moyen d'arguments scientifiquement fondés.



Exemples de mesures d'atténuation et d'adaptation

- | | |
|---|---|
| 1. Végétalisation des toits et des façades | 11. Maisons écoénergétiques |
| 2. Reboisement | 12. Fertilisation des océans en fer |
| 3. Irrigation des zones désertiques afin de les «reverdir» | 13. Production de nuages au-dessus des mers et des océans |
| 4. Cultures génétiquement modifiées | 14. Navires de haute mer propulsés par des cerfs-volants |
| 5. Développement des transports publics | 15. Avions solaires / avions plus petits qu'aujourd'hui |
| 6. Voitures électriques | 16. Couverture des glaciers |
| 7. Utilisation du vélo | 17. Parasols / miroirs dans l'espace |
| 8. Loisirs et vacances dans des régions proches du domicile | 18. Arrêt ou réduction de l'extraction de combustibles fossiles |
| 9. Energies renouvelables (énergies éolienne, hydraulique, solaire) | 19. Îles artificielles dans les océans (déplacements de population, migrations) |
| 10. Protection contre les inondations / digues / barrages mobiles | |

Exemples de mesures qu'il n'est pas possible de représenter directement sur le dessin:

- Piégeage du CO₂
- Législation: lois et règlements
- Engagement politique en faveur du climat
- Formation, éducation, communication
- Adaptation des êtres vivants (p. ex. migration)

Fig. 5.1. Exemples de mesures d'atténuation du changement climatique et d'adaptation à ses effets. (Source: croquis original projet CCESO II. Dessin: Michelle Walz, 2019)

Une approche intégrée des risques liés au changement climatique

Une approche intégrée des conséquences et des risques liés au changement climatique vise à réduire et à adapter la demande énergétique de l'humanité de manière à ce que les besoins sociaux et économiques (ellipse intérieure en rouge de la fig. 5.2) soient satisfaits et que les limites de charge du système climatique (ellipse extérieure) ne soient pas dépassées, ce qui devrait garantir un espace de vie respectueux du climat pour l'avenir de l'humanité (ellipse médiane). Une gestion intégrée des risques climatiques vise à traiter de manière globale les causes et les conséquences du changement climatique. A cet effet,

- toutes les composantes du système climatique (ellipse extérieure de la fig. 1) et les besoins sociaux et économiques (ellipse intérieure) sont pris en compte;
- des stratégies et des mesures visant un avenir respectueux du climat sont développées et mises en œuvre sur la base d'une analyse détaillée (monitoring) des évolutions socio-économiques rendues nécessaires par le changement climatique;
- toutes les mesures d'atténuation et d'adaptation sont prises en compte;
- différents acteurs sont impliqués dans la discussion et la négociation des mesures, de manière à identifier les conflits potentiels entre les objectifs des uns et des autres et de mettre à profit les synergies;
- les trois dimensions («classiques») de la durabilité sont prises en considération (environnement, société, économie);
- les mesures sont soutenues et mises en œuvre à différents niveaux (sectoriel, stratégique) et à différentes échelles (spatiale, sociale).

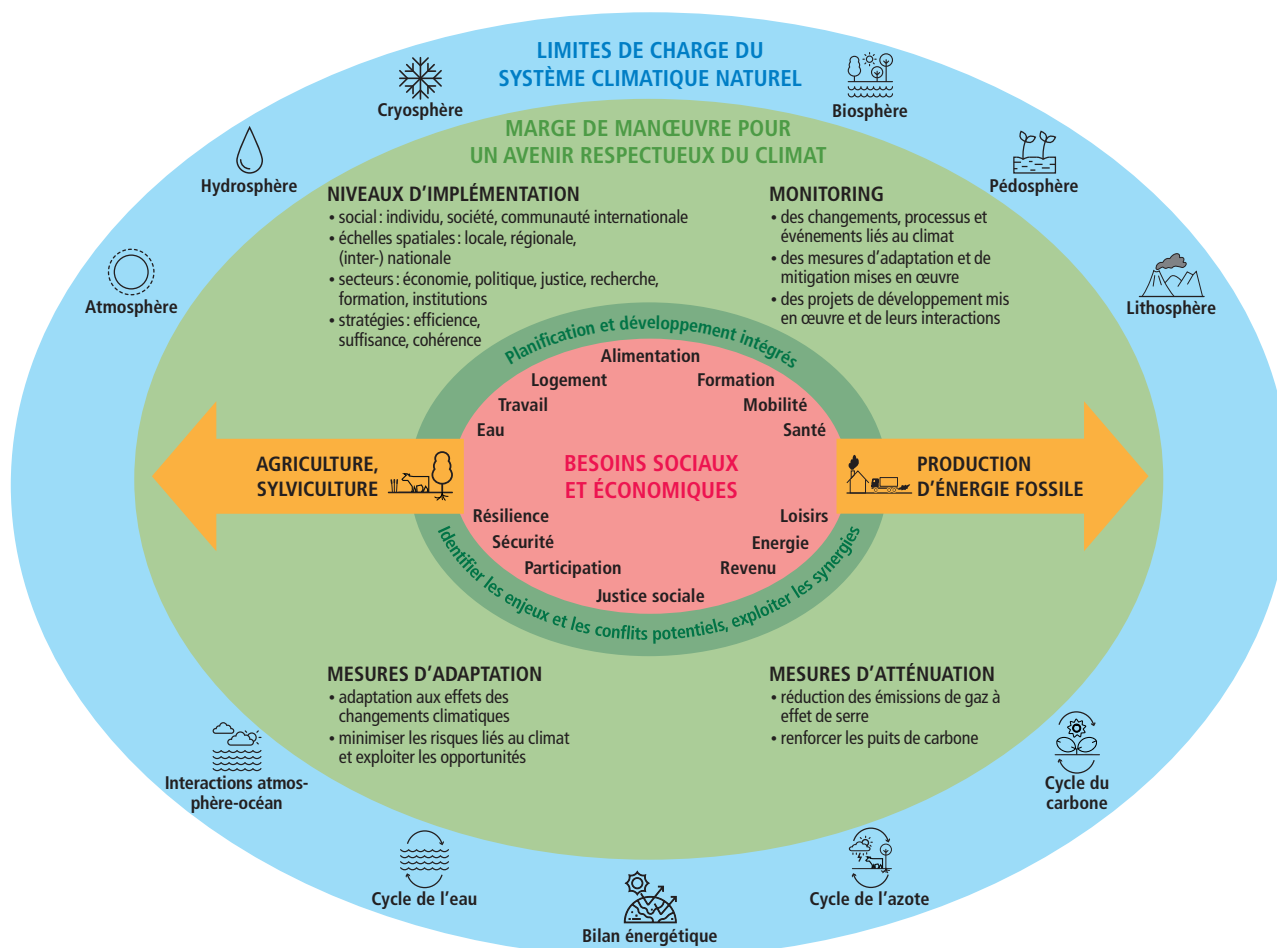


Fig. 5.2 Approche et gestion intégrées des risques liés au changement climatique (Source: projet CCESO II, 2019)





Les mesures d'atténuation et d'adaptation sont complémentaires: plus les mesures d'atténuation mises en œuvre seront efficaces, moins il sera nécessaire de mettre en place des mesures d'adaptation. Les mesures d'atténuation consistent en tous les cas à réduire (aussi drastiquement que possible) les émissions de gaz à

effet de serre, par exemple en améliorant l'efficacité énergétique, en développant le recours aux énergies renouvelables ou en multipliant les puits de carbone (reboisement ou autres mesures permettant le captage du CO₂). Une mesure d'adaptation à un changement qui tend vers des périodes chaudes et sèches plus fréquentes serait de cultiver des espèces végétales qui résistent bien à la chaleur et à la sécheresse.

Les différentes mesures peuvent être catégorisées comme suit (d'après Egli, Hasler & Probst, *Geografie. Wissen und Verstehen*, Berne: hep Verlag, 2019, pp. 355-359):

- mesures économiques volontaires: labels, certifications, accords entre entreprises;
- mesures juridiques: règlements, lois, interdictions;
- mesures politiques: aménagement du territoire, gestion des risques liés aux dangers naturels, éducation, santé, travail;
- mesures d'aménagement du territoire: densification, zones d'affectation mixte, qualité de vie, mobilité douce;
- mesures d'économie de marché: échange de droits d'émission, taxes d'incitation, réforme de la fiscalité écologique;
- mesures techniques: efficacité énergétique, gestion durable des ressources.

La gestion intégrée des risques climatiques exige l'implication de toutes les catégories d'acteurs à tous les niveaux de la société, de l'individu aux collectivités publiques en passant par les entreprises et les différents groupes d'intérêt, aux échelles locale, régionale, nationale et globale. La négociation et la mise en œuvre de mesures de politique climatique à l'échelle globale ou à l'échelle nationale induisent des processus d'apprentissage et de transformation politique et sociale qui impliquent les acteurs au niveau local (démarche «top down»). A l'inverse, les individus et les collectifs agissant au niveau local et régional définissent des valeurs, des normes et des attitudes qui peuvent déboucher sur des actions aux niveaux national et international (démarche «bottom up»).

Individu	Société		
Echelle locale	Echelle locale	Echelle régionale et nationale	Echelle internationale
Ethique, normes	Normes, politiques, stratégies		
Réfléchir aux valeurs, agir en conséquence	Discuter des valeurs et se mettre d'accord à leur propos	Négocier, rédiger, mettre en oeuvre des lois	Négocier les buts et les stratégies
			
Comment vais-je agir et pourquoi?	Comment voulons-nous agir et pourquoi ?	A quelles actions nous engageons-nous ?	Comment voulons-nous agir à l'avenir ?

bottom up



top down

Exemples de mesures s'inscrivant dans le cadre d'une politique climatique			

Fig.. 5.3. Niveaux de réflexion, de négociation et de mise en œuvre d'une politique climatique (adapté et complété d'après Egli, Hasler & Probst, *op. cit.*, p. 347)

Les approches et les stratégies visant à réagir face au changement climatique et à initier et mettre en œuvre des mesures peuvent être regroupées en trois grandes catégories.

La **stratégie d'efficience**, souvent appelée stratégie d'éco-efficience, vise une plus grande productivité des ressources, autrement dit l'utilisation d'un minimum de ressources par unité de production. On cherche également à minimiser les émissions de gaz à effet de serre, de CO₂ en particulier. Cette approche est privilégiée dans le monde économique, du fait qu'elle ambitionne et permet de mettre en circulation de nouveaux produits et procédés. Un exemple classique de cette stratégie est le développement des voitures électriques. Dans une approche éco-efficente, on veille à l'utilisation d'énergies renouvelables et de matières premières produites de manière durable. On encourage les innovations permettant de limiter les émissions de CO₂, tant au niveau de la production d'un bien que de son utilisation. Un inconvénient de ce type d'approche est ce qu'on appelle «l'effet rebond»: par exemple, les ampoules basse consommation permettent certes de consommer moins d'électricité, mais le risque existe que le consommateur achète plus de lampes et les laisse allumées plus longtemps, avec au final une augmentation de la consommation électrique.

La **stratégie de suffisance** repose sur l'hypothèse qu'il est possible de limiter la consommation des ressources et la dégradation de l'environnement sans réduire la qualité de vie. Celle-ci pourrait même être améliorée en consommant moins. Le slogan «la qualité de vie plutôt que la croissance économique» pourrait résumer le point de vue des tenants de cette approche. Le *carsharing* ou une meilleure utilisation des légumes saisonniers et produits localement sont des exemples de cette stratégie. Les consommateurs sont au cœur de cette démarche: les changements des comportements de consommation en sont l'aspect le plus important.

La **stratégie de cohérence** vise à limiter l'utilisation de ressources à ce que la nature peut renouveler. Le concept de recyclage se rapporte à cette stratégie, et les biocarburants en sont un autre exemple. L'idée est qu'il ne reste à la fin d'un processus pratiquement que des matières premières pour de nouveaux produits, et aucun déchet. Cette approche suppose l'implication des producteurs et des consommateurs dans la recherche de solutions pertinentes¹⁰.

Activité 5.3.

Discutez en petits groupes afin d'identifier des exemples aussi concrets que possible de mesures pouvant s'inscrire dans les différentes catégories de la fig. 5.3.

Exemples de ressources que vous pouvez mobiliser à cet effet:

- le site internet de votre établissement scolaire, qui comporte peut-être des lignes directrices en matière de durabilité;
- le site internet de votre commune de résidence ou de celle où se trouve l'établissement scolaire;
- la cinquième rubrique de la page du site de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) dont l'adresse figure ci-dessous (dernière consultation le 28.08.2019) et les ressources complémentaires qui y sont proposées: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/en-bref.html#-1333200554>
- les informations synthétiques auxquelles vous accédez en activant le lien «Climat: affaires internationales» sur la page précitée;
- etc.

Rendez compte de vos échanges aux autres groupes de la classe, et complétez si nécessaire les idées développées au sein de votre groupe.

Activité 5.4.

Parvenez-vous à distinguer, parmi les mesures que vous avez proposées en faisant l'activité précédente, des mesures d'atténuation et des mesures d'adaptation?

Justifiez votre réponse.

¹⁰ D'après Egli, Hasler & Probst, *op. cit.*, p. 353.

Bref regard sur la politique climatique de la Suisse

La politique climatique de la Suisse, telle qu'elle s'est développée au cours des vingt dernières années, est le fruit de négociations et de compromis entre des acteurs issus du monde politique, des milieux économiques et de différents groupes d'intérêt; elle consiste aujourd'hui en des mesures d'atténuation et d'adaptation. Ces mesures se concentrent sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre dans les différents secteurs économiques, en particulier dans l'industrie, le bâtiment (chauffage et refroidissement) et les infrastructures, les transports et le traitement des déchets; elles visent également à réduire la demande croissante d'énergie liée au mode de vie et à la consommation. De l'avis du Conseil fédéral, ces mesures ont fait leurs preuves et doivent être maintenues, voire étendues pour certaines d'entre elles.

La Suisse a conclu des accords et des conventions avec d'autres pays pour promouvoir le développement durable. Elle soutient par exemple l'objectif des 2 degrés et s'est engagée à réduire de moitié ses émissions de gaz à effet de serre d'ici à 2030 par rapport à leur niveau de 1990. Il est toutefois déjà prévisible que l'objectif des 2 degrés ne sera pas atteint dans ces conditions. D'ici à 2050, c'est une réduction de 70% des émissions de gaz à effet de serre qui sera nécessaire.¹¹

Dans le cadre du suivi de la Conférence de Paris de 2015 sur les changements climatiques, la politique climatique de la Suisse a été actualisée sur la base de l'Accord de Paris et un rapport officiel a présenté le «portefeuille» de la Suisse en matière de politique climatique. Le domaine d'action prioritaire reste la réduction des émissions provenant des combustibles fossiles. Des discussions importantes ont eu ou vont avoir lieu lors de la révision de la loi sur le CO₂, de la stratégie énergétique de la Confédération, de la législation dans les secteurs de l'agriculture et de la sylviculture, et à propos des projets de compensation (du CO₂) à l'étranger. Ce nouveau «portefeuille» comprend également des mesures d'adaptation à divers dangers naturels (par exemple: fortes précipitations et inondations, vents violents, sécheresse, éboulements, laves torrentielles, etc.), et le soutien aux personnes les plus touchées par les conséquences du changement climatique dans le monde.



Fig. 5.4. Autoroute A9 entre Grandvaux et Chexbres (VD), un matin, hors heure de pointe. (Photo © Ph. Hertig, 2009).

¹¹ Académies suisses des sciences (2016), *Coup de projecteur sur le climat suisse. Etat des lieux et perspectives*, SCNAT, p. 208.

Texte 1**La Suisse et la politique climatique internationale**

L'Accord de Paris met en avant le fait que le réchauffement climatique ne pourra être enrayeré que dans le cadre d'une collaboration internationale. Bien que la Suisse soit un petit pays, son économie est fortement interconnectée. Elle a donc un intérêt vital à ce que l'ensemble des pays conjuguent leurs efforts afin de réduire sensiblement les émissions de gaz à effet de serre.

La Suisse possède des moyens financiers considérables ainsi que les connaissances permettant de faire face aux phénomènes météorologiques extrêmes et aux catastrophes naturelles. Malgré cela, son économie et sa société sont vulnérables, et le seront d'autant plus si les changements climatiques continuent à s'accroître au même rythme qu'aujourd'hui : le régime des eaux pourrait connaître de profonds bouleversements, dans certaines branches essentielles telles que le tourisme hivernal, les conditions se dégraderont, de nouveaux risques sanitaires apparaîtront, et la grande dépendance de la Suisse vis-à-vis des produits importés et des chaînes d'approvisionnement mondiales pourrait devenir de plus en plus perceptible.

Pour conserver sa crédibilité, la Suisse, en tant que nation prospère, doit assumer sa part de responsabilités dans les changements climatiques. Avec des émissions par habitant supérieures à la moyenne [...], elle contribue certes au problème, mais ses compétences spécialisées et sa capacité économique lui permettront aussi de contribuer à la solution globale. Grâce à sa capacité d'innovation, elle sera en mesure de proposer un nouveau modèle de prospérité qui reposera sur des énergies et des matières premières pauvres en émissions, renouvelables et durables.

Source: Office fédéral de l'environnement OFEV (2018). *La politique climatique suisse. Mise en œuvre de l'Accord de Paris*. Info Environnement n° 1803. Berne: OFEV (p. 9).

Texte 2**Le rôle des cantons et des communes**

La participation active des cantons et des communes est indispensable pour que la Suisse puisse atteindre ses objectifs climatiques. Plusieurs cantons soutiennent les mesures de la Confédération et mettent en place parallèlement leurs propres programmes d'encouragement et dispositifs d'incitation. Les communes ont elles aussi un rôle à jouer, par exemple par le biais du Programme SuisseEnergie (Cités de l'énergie, Régions-énergie, Sites 2000 watts, etc.) ou en s'engageant dans une mobilité respectueuse du climat.

Source: Office fédéral de l'environnement OFEV (2018). *La politique climatique suisse. Mise en œuvre de l'Accord de Paris*. Info Environnement n° 1803. Berne: OFEV (p. 14).

Activité 5.5.

Prenez connaissance du texte d'information qui ouvre cette section sur la politique climatique de la Suisse, puis des textes 1 et 2 ci-dessus.

Identifiez les arguments et les enjeux qui sont mis en avant dans les deux textes extraits de la publication de l'OFEV.

Discutez ces arguments et enjeux avec quelques élèves de la classe.

[Suite de la consigne en page suivante]

Proposez une mise en catégories et une hiérarchisation de ces arguments et enjeux, tels qu'ils sont présentés dans ces textes.

Discutez votre proposition avec les autres groupes.

Vous semble-t-il que les choix opérés par la Suisse pour sa politique climatique correspondent à une approche et à une gestion intégrées des risques climatiques (cf. le schéma de la fig. 5.2)?

Justifiez votre réponse.

Activité 5.6.

Observez et analysez les documents des fig. 5.4 à 5.8 ci-après, ainsi que le texte 3.

Sur la base de ces documents et des autres informations dont vous disposez, quelle(s) réponse(s) pouvez-vous apporter à la question «Vers quel climat allons-nous?»? Explicitez votre point de vue, puis discutez-le au sein de la classe.

Quelles seraient les conséquences d'une nouvelle augmentation des concentrations de gaz à effet de serre et à quoi peut-on s'attendre si on parvient à une réduction effective des émissions de gaz à effet de serre ? Ce sont des simulations produites au moyen de modèles climatiques qui permettent de dessiner des réponses à ces questions. Les scénarios climatiques suisses CH2018 calculent les impacts pour deux situations extrêmes (cf. fig. 5.5 et 5.6) :

- Pas de mesures d'atténuation (RCP8.5) : les mesures d'atténuation qui sont nécessaires ne sont pas mises en œuvre. Malgré les progrès technologiques, les émissions de gaz à effet de serre qui ont un impact sur le climat ne cessent donc d'augmenter – et avec elles le réchauffement climatique.
- Mesures d'atténuation sévères et immédiates (RCP2.6) : en réduisant immédiatement les émissions de GES et en les ramenant pratiquement à zéro, l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère sera stoppée dans une vingtaine d'années. Cela permettra probablement d'atteindre les objectifs de l'Accord de Paris sur le climat de 2015 et de limiter le réchauffement climatique à 2°C par rapport à l'ère préindustrielle.

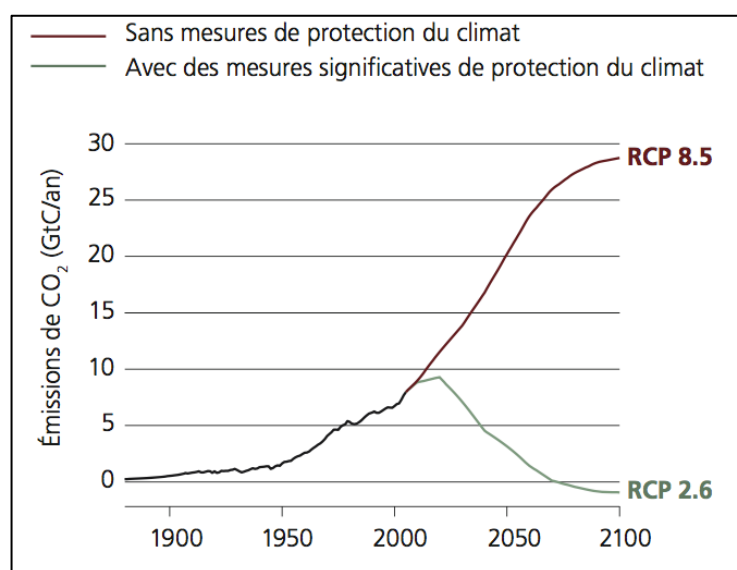


Fig. 5.5. Scénarios d'émissions. Emissions mondiales nettes de CO₂ d'origines fossile et industrielle. (Source: NCCS (2018). *CH2018 – Scénarios climatiques pour la Suisse*. Zurich, National Centre for Climate Services, p. 20)

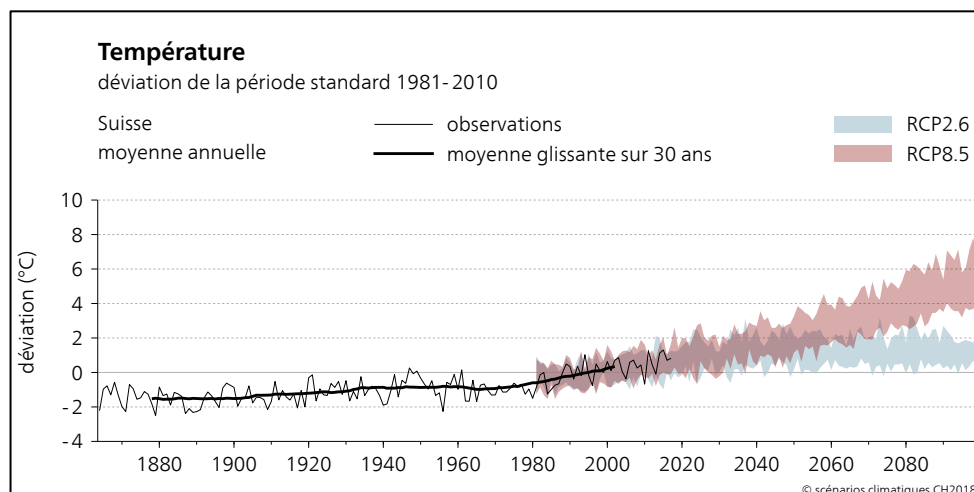


Fig. 5.6. Température moyenne annuelle en Suisse de 1864 à 2018 (écarts par rapport à la période 1981-2010) et évolution prévue en fonction des scénarios RCP2.6 et RCP8.5. (Source: CH2018 – Scénarios climatiques pour la Suisse, ressources en ligne: <https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/materialien-und-daten/daten/ch2018-webatlas.html>; dernière consultation le 23.01.2020)

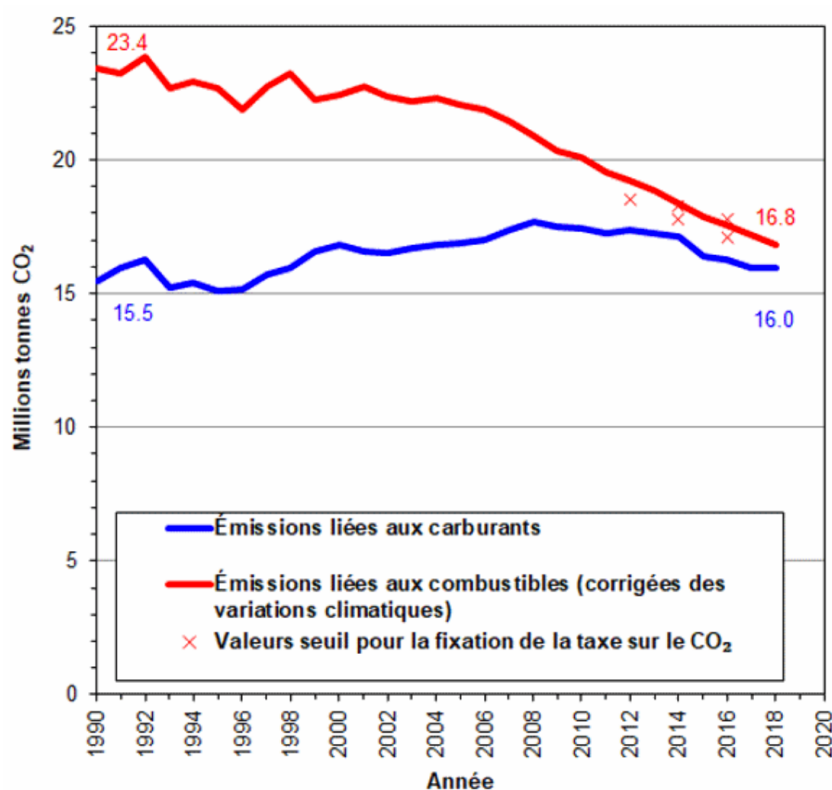


Fig. 5.7. Evolution des émissions de CO₂ des combustibles et des carburants en Suisse selon la loi sur le CO₂ (1990 à 2018). Les émissions de CO₂ des combustibles (rouge) sont corrigées par un facteur climatique. Les croix rouges indiquent les valeurs seuil au-delà desquelles le montant de la taxe sur le CO₂ des combustibles est augmenté automatiquement. Les émissions de CO₂ des carburants (bleu) doivent être compensées partiellement. Source : OFEV, 2018, <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/donnees-indicateurs-cartes/donnees/statistique-sur-le-co2.html> ; dernière consultation le 29.08.2019)

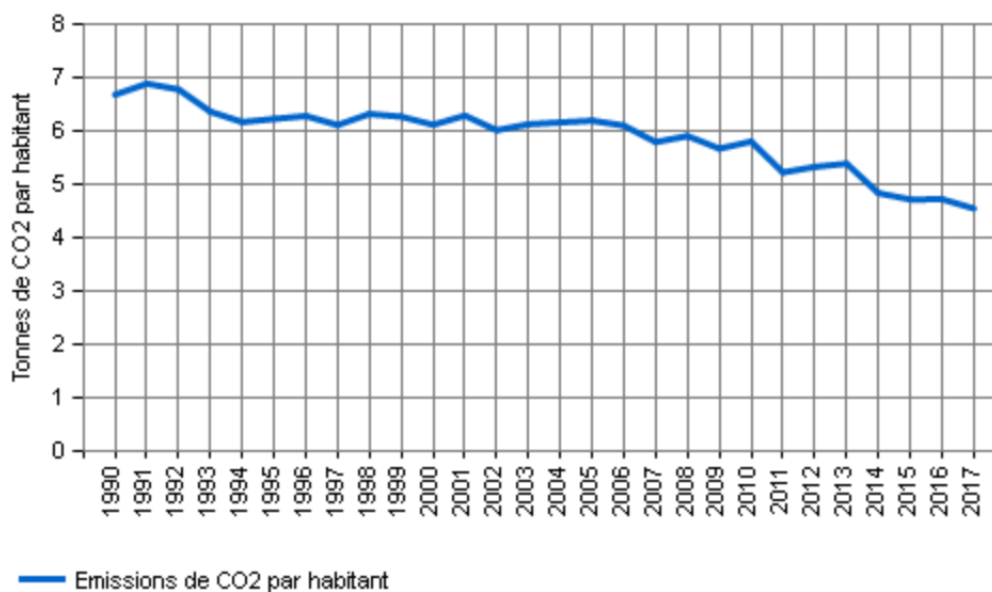


Fig.5.8. Indicateur clé: évolution des émissions de CO₂ par habitant (1990–2017) en Suisse (Source: OFEV, OFS, 2019: Disponible sur le site de l'OFEV, mais le lien occupe 4 lignes! Accès: page d'accueil du site de l'OFEV <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home.html> > onglet Données, indicateurs, cartes > Indicateurs > Thèmes > Thème climat > Indicateurs > Indicateur climat > Emissions CO₂ par habitant ; dernière consultation le 25.10.2019)

Texte 3

Tendance des émissions en Suisse : nécessité d'une vision d'ensemble

L'empreinte gaz à effet de serre d'un pays exprime l'ensemble des émissions de gaz dont celui-ci est responsable. À ce jour, la part « indigène » de l'empreinte gaz à effet de serre de la Suisse s'établit à près de 6 tonnes d'équivalents-CO₂ (éq.-CO₂) par habitant et par an. Cette valeur est inférieure à la moyenne en comparaison avec d'autres pays tels que l'Allemagne, la Grande-Bretagne, l'Italie ou encore le Japon. Pour autant, la Suisse peut-elle être considérée comme un modèle en matière de protection du climat ?

Une analyse plus approfondie relativise cependant cette première impression : en effet, la part « indigène » de l'empreinte gaz à effet de serre comparativement peu élevée s'explique par la faible quantité de matières premières dont la Suisse dispose et, de fait, par l'absence d'une activité industrielle associée. Une grande partie des matières premières et produits finis consommés en Suisse (y compris les aliments et fourrages) est donc importée. Les émissions de gaz à effet de serre générées à l'étranger dans le cadre de la fabrication de ces biens sont aujourd'hui supérieures aux émissions indigènes, même lorsqu'on déduit les émissions liées aux exportations. Par ailleurs, les Suisses aiment voyager, et les vols de vacances contribuent sensiblement à l'empreinte gaz à effet de serre. La part « étrangère » de l'empreinte gaz à effet de serre de la Suisse est supérieure à 8 tonnes d'éq.-CO₂ par habitant et par an. L'empreinte totale se situe ainsi à environ 14 tonnes par habitant et par an.

Si la Suisse souhaite contribuer à contenir le réchauffement climatique en dessous de 2°C, elle devra réduire en conséquence l'ensemble de ses émissions. Or, ces dernières décennies, les parts indigène et étrangère de son empreinte gaz à effet de serre ont évolué dans des sens opposés. En effet, la part générée en Suisse a reculé alors que la part produite à l'étranger a augmenté.

Si le niveau de vie est aussi élevé en Suisse, c'est en grande partie grâce à l'importation de biens et services dont la production a généré des émissions à l'étranger. Ainsi, les émissions de CO₂ par habitant, liées à la production et à la consommation, sont globalement supérieures à la moyenne comparées à celles d'autres pays industrialisés.

Source: Office fédéral de l'environnement OFEV (2018). *La politique climatique suisse. Mise en œuvre de l'Accord de Paris*. Info Environnement n° 1803. Berne: OFEV (p. 13)

Un enjeu spécifique: le climat en ville

Jeudi 25 juillet 2019: la température enregistrée à Paris atteint 42,6°C à 16h42, soit l'équivalent de la température normale d'un mois de juillet à Bagdad (Irak). C'est un nouveau record pour Paris, qui dépasse largement le précédent – 40.4°C – qui datait de juillet 1947. La température a dépassé les 40°C dans plusieurs villes de la moitié Nord de la France, avec 41.5°C à Lille, 41.3°C à Rouen, 40.1°C à Rennes et à Nancy, par exemple. Le seuil des 40°C a même été dépassé dans deux localités situées au bord de la Manche (41.3°C à Dunkerque et 40.1°C à Dieppe).¹² En Suisse romande, les températures ont également été très élevées à Sion (38°C) ou à Genève (36.3°C), par exemple, tout comme à Bâle (37.4°C) ou à Berne (35.4°C) pour la Suisse alémanique¹³.

En France comme en Suisse, les vagues de chaleur de l'été 2019 ou celles qui les ont précédées ont été ressenties sur tout le territoire, et même en altitude: 31°C à Montana (1500 m) ou 29.8°C à Davos (1560 m), nouveaux records là aussi. Dans les régions urbaines, les canicules sont plus marquées que dans la campagne environnante, en raison d'un phénomène appelé **îlot de chaleur urbain** (fig. 5.9). Les deux textes ci-après apportent quelques précisions au sujet de ce phénomène, qui va probablement être amplifié par le réchauffement climatique au cours des décennies à venir – du moins si des mesures visant à l'atténuer ne sont pas mises en œuvre.

Texte 4

L'effet d'îlot de chaleur

L'espace urbain est concerné à double titre par le changement climatique. D'une part, l'effet de hautes températures peut être renforcé par des spécificités de la ville. C'est ainsi qu'une circulation de l'air réduite, le manque de zones ombragées et de surfaces vertes, l'absorption du rayonnement solaire par les murs et les sols, de même que les rejets thermiques d'installations industrielles, de bâtiments et des transports contribuent à l'effet d'îlot de chaleur, un réchauffement prononcé pendant la journée et un refroidissement réduit pendant la nuit. Aujourd'hui déjà, la différence de température entre la ville et la campagne peut atteindre jusqu'à une dizaine de degrés.

D'autre part, du fait de sa haute densité de population et de sa forte concentration de valeurs, l'espace urbain est particulièrement vulnérable face à une augmentation d'événements extrêmes dus au climat. Aux conséquences directes du climat, par exemple les dommages causés à des personnes ou à des biens par des événements relevant des dangers naturels, s'ajoutent des effets indirects du changement climatique qui peuvent également avoir un fort impact sur l'espace urbain : des infrastructures importantes, dites «critiques», peuvent être mises hors d'état de fonctionner, ce qui cause des problèmes dans les transports, les télécommunications ou l'approvisionnement en eau potable et en énergie.

Source: Académies suisses des sciences (2016), *Coup de projecteur sur le climat suisse. Etat des lieux et perspectives*, SCNAT, p. 126.

¹² Données Météo France : <http://www.meteofrance.fr/actualites/74529640-canicule-chaleur-record-au-niveau-national> (dernière consultation le 22.11.2019).

¹³ Données MétéoSuisse : <https://www.meteosuisse.admin.ch/home/service-et-publications/publications.html> (dernière consultation le 22.11.2019).

Texte 5

Sion (VS) fait parties des localités suisses où il fait le plus chaud, et la tendance s'accroît. La ville a donc décidé de privilégier l'ombrage, la végétalisation, et la perméabilité des sols dans le cadre de l'aménagement de ses espaces extérieurs (rues, places et espaces de détente), afin de maintenir une qualité de vie élevée malgré la hausse des températures. Par ailleurs, les maîtres d'ouvrages privés ont bénéficié d'un soutien financier pour la réalisation de projets de toiture végétale et d'aménagement extérieur. Les expériences acquises sont intégrées dans les outils d'aménagement du territoire (plans de quartier, plans de zone), les lignes directrices pour la conception et la gestion des espaces publics, et le règlement des constructions.

Source: Office fédéral de l'environnement OFEV (2018). *La politique climatique suisse. Mise en œuvre de l'Accord de Paris*. Info Environnement n° 1803. Berne: OFEV (p. 21)

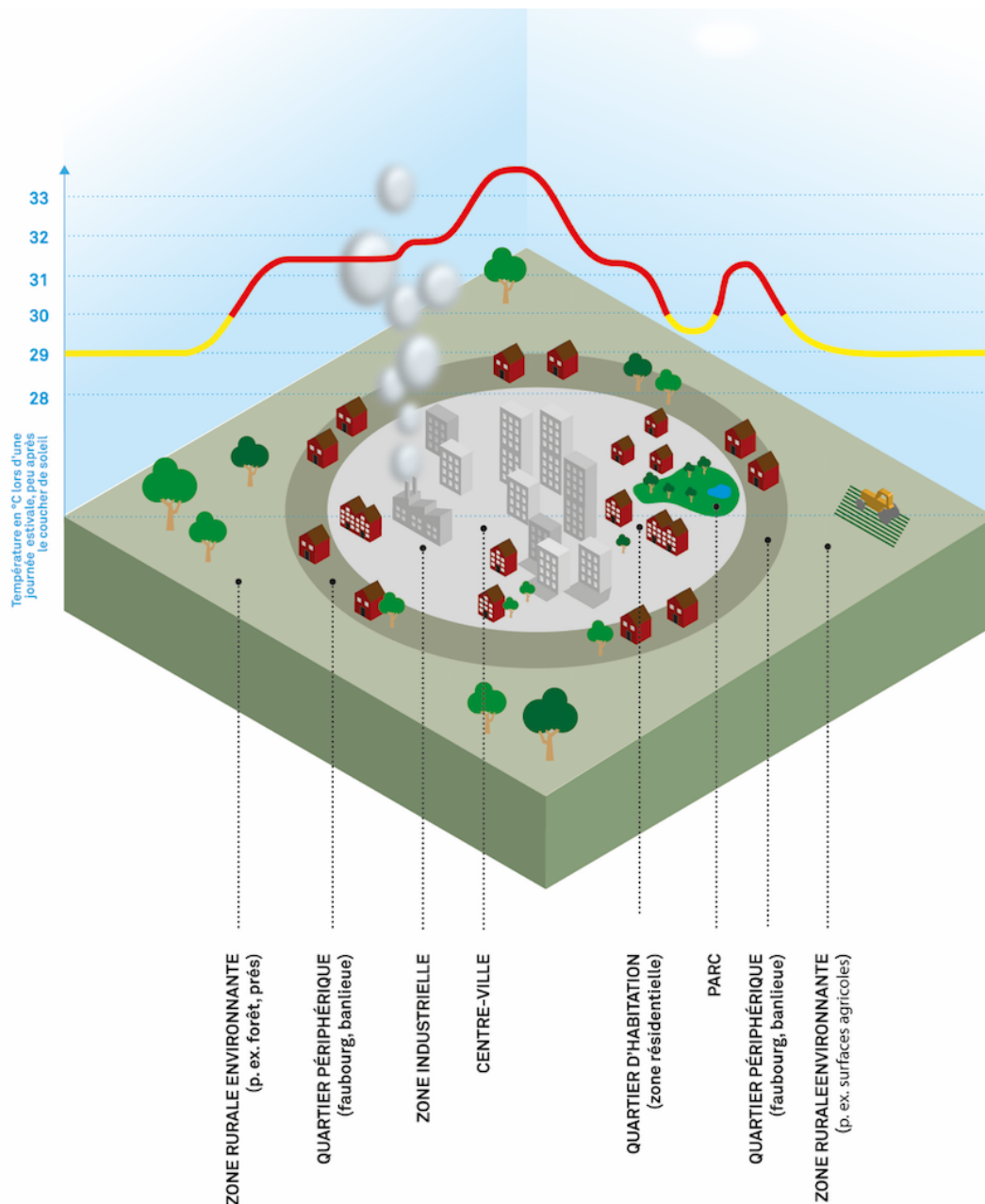


Fig. 5.9. Effet d'îlot de chaleur: exemple type du comportement des températures dans une ville et ses environs lors d'une journée estivale, peu après le coucher du soleil. (Source: schéma original, projet CCESO II, 2019)

Activité 5.7.

Représentez les facteurs en interaction dans le cas de l'effet d'îlot de chaleur, en tirant parti des informations dont vous disposez.

Il vous est suggéré de privilégier un schéma de type systémique.

Comparez le schéma que vous avez produit à ceux réalisés par vos camarades.

Complétez votre travail si nécessaire.

Activité 5.8.

Menez une petite enquête dans la localité où vous habitez ou dans celle où se trouve l'établissement scolaire. Il est souhaitable que vous tentiez de récolter des informations «sur le terrain», en rencontrant les acteurs concernés en premier lieu. Le recueil d'informations peut éventuellement être complété par les indications fournies par le site internet de la commune.

Le phénomène de l'effet d'îlot de chaleur est-il problématisé dans cette commune, à l'instar de ce qui se passe à Sion (cf. texte 5)?

Si oui, sur quel type de mesures débouche-t-il?

Si le phénomène n'est pas pris en compte, pouvez-vous en identifier les raisons?

6 Synthèse

Activité 6.1.

Reprenez la carte mentale ou la carte conceptuelle que vous avez élaborée au début de la séquence (activité 1.1.).

Complétez-la en mobilisant ce que vous avez découvert et appris à travers votre travail sur le changement climatique.

Vérifiez également si les questions que vous vous posez (activité 1.2.) ont trouvé des réponses.

Activité 6.2.

Mettez en évidence, sous la forme qui vous convient le mieux, les enjeux essentiels de la gestion des risques liés au changement climatique, en vous fondant sur le modèle de la fig. 6.1 ci-dessous.

Préparez-vous à présenter votre travail à la classe.

Si nécessaire, complétez-le après les présentations des autres étudiant.e.s.

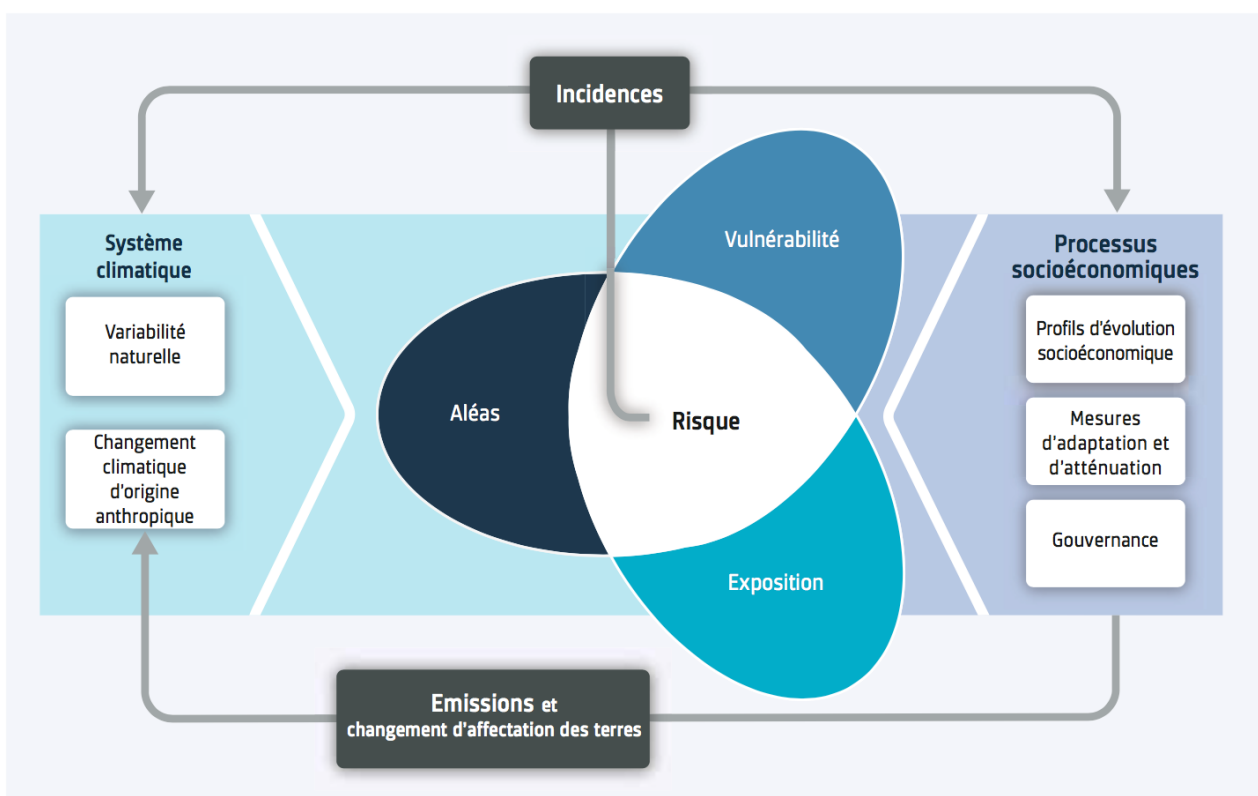


Fig. 6.1. Le concept de risque tel qu'il est utilisé par le GIEC. Le risque d'incidences lié au climat résulte de l'interaction entre les aléas climatiques et la vulnérabilité et l'exposition des systèmes anthropiques et naturels.

(Source: Académies suisses des sciences (2016), *Coup de projecteur sur le climat suisse. Etat des lieux et perspectives*, SCNAT, p. 78)

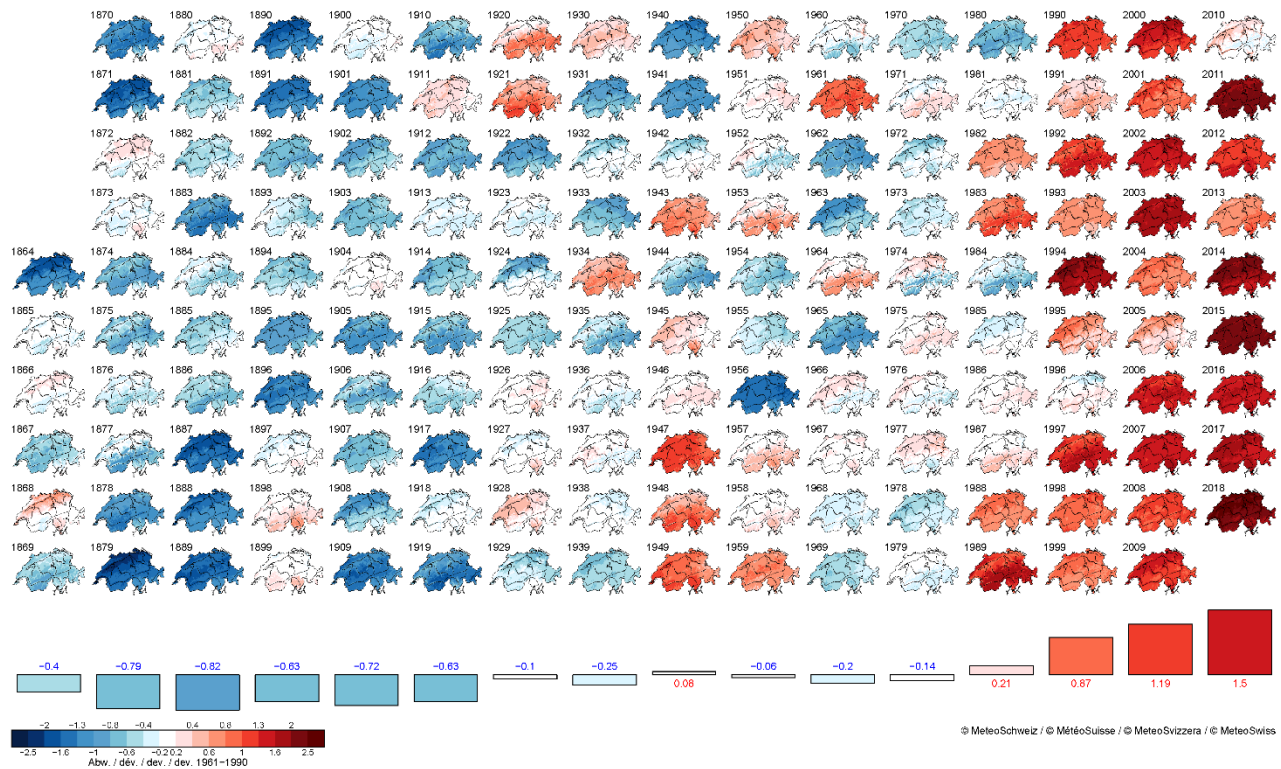


Fig. 6.2. Ecarts à la moyenne des températures en Suisse pour toutes les années de 1864 à 2018 (période de référence pour le calcul de la moyenne: 1960–1990). Les années avec des températures en-dessous de la moyenne sont en bleu, celles avec des températures supérieures à la moyenne en rouge. Les valeurs moyennes par décennie sont indiquées dans les graphiques en barre de la partie inférieure de la figure. (Source: MétéoSuisse, 2019)



Fig. 6.3. Quel climat voulons-nous? Quel climat aurons-nous?. (Photo © Ph. Hertig, avril 2018, en Lavaux).

Fig. 6.4. La Terre, hémisphère oriental. Images captées en janvier 2012 par le satellite Suomi NPP de la NASA, assemblées et diffusées quelques semaines plus tard. (Source: © NASA, site Earth Observatory)



<https://earthobservatory.nasa.gov/images/77085/earth-behind-the-scenes>

(dernière consultation le 26.11.2019)