« Les changements climatiques »

Lundi 1er mars 2021
Université de Liège

Demi-journée organisée par des étudiants des masters en géographie, orientation « global change », et en sciences spatiales de l'Université de Liège

Dans le cadre du cours « Les changements climatiques et leurs impacts », les étudiants des masters en géographie, orientation climatologie, en sciences spatiales et en sciences géologiques de l'Université de Liège organisent leur treizième colloque annuel sur le thème des changements climatiques. Ils tenteront de mieux faire comprendre les changements climatiques qui affectent aujourd'hui notre planète et analyseront les impacts possibles sur l'environnement et la société dans deux séries de capsules vidéo. La première de ces deux séries sera diffusée le 1er mars 2021.

Les capsules vidéo s'adressent principalement aux élèves des classes de 5ème et 6ème année du secondaire, mais aussi aux étudiants du supérieur, aux enseignants, aux chercheurs et au grand public. L'accès aux capsules vidéo requiert une inscription obligatoire, mais gratuite via inscriptions.rejouisciences@uliege.be

Informations: Louis FRANCOIS, Institut d'Astrophysique et de Géophysique, Université de Liège, Quartier Agora, 19c Allée du Six Août, 4000 Liège.
Tél. 04/3669776 ; e-mail : Louis.Francois@uliege.be

La calotte du Groenland, un géant des glaces endormi ?

Josip Brajkovic
Master en sciences géographiques — orientation « Global Change »

Un géant ?

Concernant la calotte ou l'inlandsis du Groenland, on peut effectivement parler de géant des glaces, puisqu'il s'agit d'une masse de glace couvrant une superficie de 1.710.000 km^2, soit approximativement 56 fois la superficie de la Belgique. Sur notre planète, aujourd'hui, il demeure deux calottes à savoir celles du Groenland et de l'Antarctique. Ces calottes se forment sur des dizaines de milliers d'années par l'accumulation des précipitations neigeuses. Au Groenland, les glaces les plus anciennes, à grande profondeur, remontent à 250.000 ans. Sous son propre poids, par une augmentation de pression, la neige se transforme progressivement en glace.

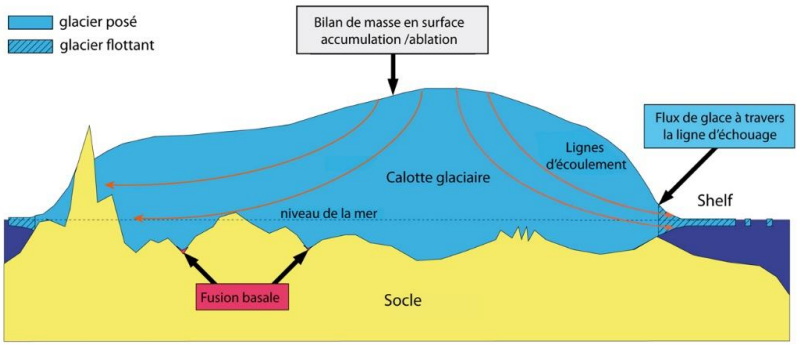

Figure 1 : . Schéma de formation de la calotte du Groenland. https://www.glaciers-climat.com/gp/calottes-glaciaires (consulté le 13/02/2021)

Comme on peut le voir sur la figure 1, sous son propre poids, la glace va fluer vers les marges du socle sur lequel elle repose. En marge de la calotte, suivant la topographie, la calotte pourra développer des vallées glaciaires parmi les montagnes (bordure sud-est du Groenland) pour finir sa course au contact de la mer.

À la base de ces glaciers, en fonction des conditions de température et de pression, de l'eau peut apparaitre en raison également du déplacement de la calotte et de la friction avec le socle qui en résulte. En ce qui concerne l'épaisseur de l'inlandsis, celle-ci peut atteindre plus de trois kilomètres (maximum vers 3800 m).

Le relief sous-jacent à cette calotte est varié comme on peut le constater sur la figure 2. À certains endroits, notamment en raison du poids qu'exerce cette gigantesque masse, la base de la calotte s'enfonce jusqu'en dessous du niveau de la mer. En marge de l'inlandsis, on a cependant, le long de la bordure orientale, un relief beaucoup plus accidenté.

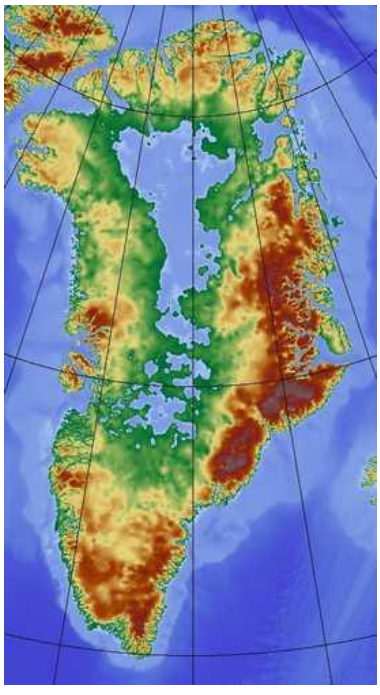

Figure 2 : Topographie du Groenland. https://fr.wikipedia.org/wiki/Inlandsis_du_Groenland (consulté le 13/02/2021)

Pourquoi en étudier la fonte ?

Souvent, le grand public associe le réchauffement climatique à la fonte des glaces, qui elle-même cause une augmentation du niveau global des océans. En réalité, cela n'est vrai qu'en partie et doit être nuancé.

En effet, premièrement, il faut tout d'abord préciser que seule la fonte des glaces continentales contribuent à l'élévation du niveau des mers, que ce soit via la fonte des calottes ou via la fonte des glaciers de montagnes, dont l'eau de fonte atteint les mers et les océans par les réseaux hydrographiques. La fonte de la glace de mer quant à elle ne contribue pas à l'élévation du niveau des mers. Ainsi la fonte de la banquise de la mer de glace au pôle nord ne fera pas augmenter le niveau des mers.

Cela s'explique très aisément. Lors de sa formation, la glace de mer flotte grâce à la poussée d'Archimède, sa densité étant plus faible que celle de l'eau de mer. La glace occupe plus de volume que l'eau de mer en raison de sa densité inférieure. La partie émergée de cette glace représente 10% de son volume total. Ainsi, par exemple, pour un iceberg, 90% de son volume total se situe sous eau. Après la fonte, l'eau occupera moins de volume que la glace, la contribution de ces 10% émergés auront comme conséquence la conservation du niveau d'eau initial.

Deuxièmement, à l'heure actuelle, la fonte des glaces continentales ne constitue pas la composante principale de l'élévation du niveau global des mers. Pour l'instant, cette composante principale est la dilatation thermique. Sous l'effet du réchauffement de l'eau des mers, cette même eau occupe plus de volume. Cependant, le potentiel de fonte de la calotte du Groenland est très important. Dans le cas d'une fonte totale, le niveau global des océans augmenterait de 7,2 m.

Comment en étudier la fonte ?

Pour étudier l'évolution de la masse de glace de la calotte du Groenland, il faut évaluer son bilan de masse annuel. Le bilan de masse annuel d'une calotte consiste en l'évaluation du gain de masse net de celle-ci au cours d'une année. Ce bilan se calcule en prenant la différence entre les apports de masse et les pertes de masses subis par la calotte. Les apports de masse sont constitués de l'accumulation des précipitations neigeuses. S'agissant des pertes de masse, celles-ci sont issues de la fonte en surface de la calotte, du vêlage d'icebergs en marge de celle-ci ou encore de la fonte conditionnée en marge par les eaux de mer.

Pour accéder au bilan de masse de la calotte, trois techniques peuvent être utilisées. La première utilise des mesures altimétriques issues de satellites, par lesquelles on accède à l'évolution de l'altitude de la surface de la calotte, dont on peut déduire le bilan de masse. Sur la figure 3 est présenté le résultat de telles mesures au cours de différentes périodes. On peut voir

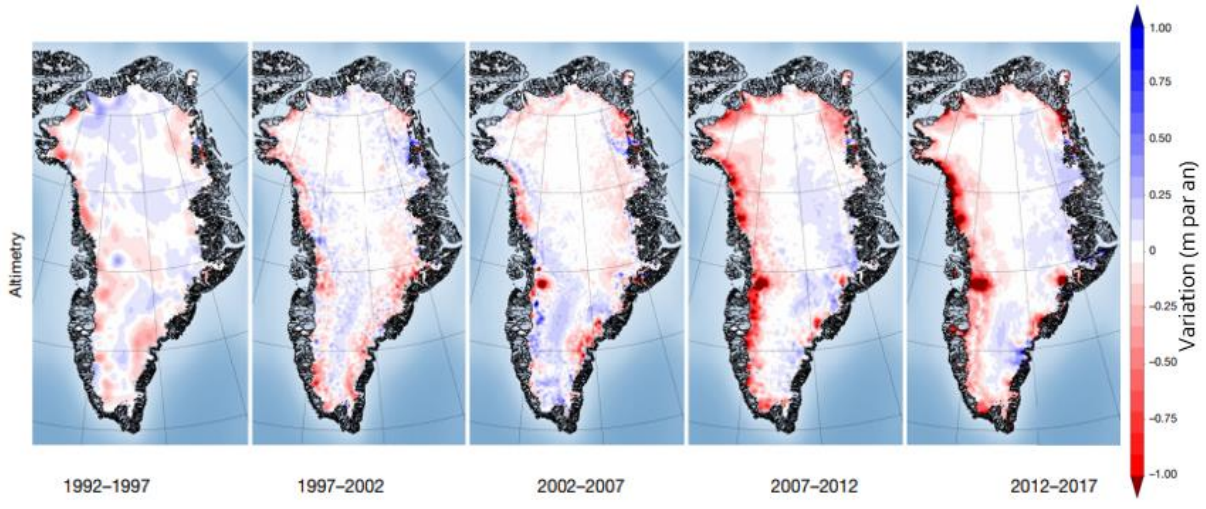

Figure 3 : Variations altimétriques au Groenland (modifié d'après Team IMBIE, Nature 2020)

que des zones d'accumulation subsistent au centre de la calotte, alors qu'en marge, par exemple, les altitudes décroissent.

Une seconde méthode consiste en l'évaluation des variations du champ gravitationnel terrestre. Ce champ n'est pas uniforme sur notre planète en raison d'une répartition non-uniforme des masses. La fonte de la calotte du Groenland a pour conséquence une modification de ce champ au-dessus du Groenland, puisqu'elle s'accompagne d'une perte de masse. Les orbites des satellites étant conditionnées par le champ gravitationnel, celles-ci sont impactées par les variations de masse de la calotte du Groenland. Ainsi, en mesurant ces anomalies orbitales, on peut en déduire la masse perdue par la calotte. Les deux satellites de la mission Grace, lancée en 2002, ont permis de réaliser de tels calculs. Suivant la même trajectoire, mais avec un certain espacement, les anomalies gravitationnelles causaient des variations de distance entre ces deux satellites.

Une troisième technique utilise des modèles de bilan de masse de surface. Ces modèles évaluent les pertes et les gains de masses de manière locale, c'est-à-dire pour des mailles de petite taille (quelques kilomètres) couvrant l'ensemble de la calotte. L'intégration de ces évaluations sur l'ensemble de la calotte permet d'établir le bilan de masse de la calotte. Ces calculs doivent cependant être combinés avec des observations de la vélocité des glaciers et de variations d'altitude en marge de la calotte pour évaluer la perte de masse due à la dynamique des glaciers (vêlage d'icebergs).

Quels résultats ?

L'équipe IMBIE, constituée d'experts internationaux sur le sujet, a publié en 2020 dans la revue Nature, les résultats de l'évaluation de la fonte de la calotte entre 1992 et 2018. La figure 4 présente les résultats issus des 3 méthodes discutées précédemment. L'axe des abscisses représente les années d'évaluation. En ordonnée, à gauche, sont rapportées les pertes de masse en milliards de tonnes par année et, à droite, l'équivalent en contribution à l'élévation du niveau des mers en millimètres par an. La couleur des traits varie suivant la méthode utilisée. Plusieurs évaluations sont réalisées via les différentes méthodes. Une valeur prenant en compte toutes ces évaluations est représentée par les traits noirs. Autour de ces traits noirs, s'étendent des barres en niveaux de gris matérialisant l'incertitude liée à ces évaluations.

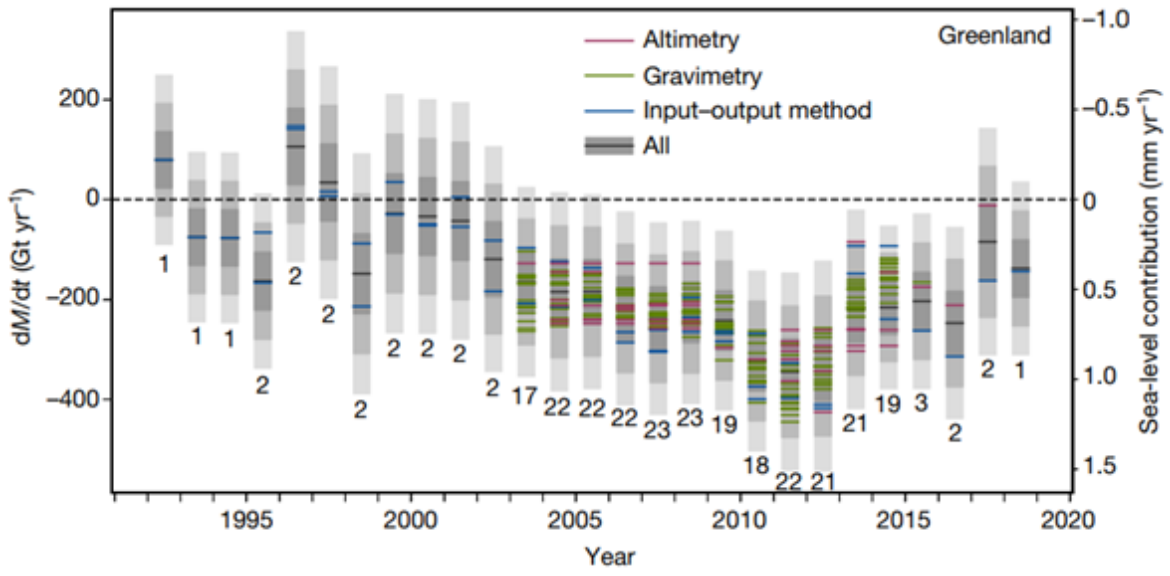

Figure 4 : Évolution du bilan de masse du Groenland (modifié d'après Team IMBIE, Nature 2020)

On peut constater qu'entre 2005 et 2015, quelle que soit la méthode, les estimations convergent vers des valeurs négatives. Même en prenant en compte la barre d'incertitude, toutes les valeurs y sont négatives, témoignant ainsi clairement d'une perte de masse.

Bien qu'en termes de perte de masse, ces valeurs soient très importantes (centaines de milliards de tonnes), leur contribution à l'élévation du niveau des mers se compte en dixièmes de millimètres par an. Pour rappel, pour l'instant, la composante principale de l'élévation des eaux est la dilatation thermique. Cette évolution du bilan est cependant inquiétante. En effet, dans cette étude, l'évolution de la calotte sur cette période a été comparée pour différents scénarios du GIEC. Les scénarios du GIEC permettent de modéliser l'évolution de la contribution de la fonte de la calotte au niveau des mers suivant diverses hypothèses d'émission de gaz à effet de serre. Ces scénarios ont permis d'estimer la fonte entre 1990 et 2100. D'un côté, les scénarios les plus pessimistes se basent sur une hypothèse où l'humanité ne fait aucun effort pour diminuer ses émissions de gaz à effet de serre. De l'autre côté, les modèles les plus optimistes évaluent cette évolution en considérant que l'humanité atteindra un pic d'émissions d'ici environ 2050 avant de les diminuer via de grands efforts. Les résultats de cette étude montrent que la trajectoire de la calotte suit actuellement la courbe d'évolution des scénarios les plus pessimistes dans lesquels aucun effort de réduction des émissions n'est fait. Une telle trajectoire conduirait à une élévation de 7 à 13 cm d'ici 2100. Cette valeur est en réalité très élevée notamment au vu de ses conséquences potentielles pour les littoraux de nombreux états.

Conclusion

Compte tenu de ces résultats, la calotte du Groenland est loin d'être endormie. D'une part, même hors réchauffement climatique, les calottes ne sont pas des corps figés et leur évolution complexe est la résultante de nombreux processus. D'autre part, s'agissant de la fonte de la calotte, au vu de la trajectoire actuelle, celle-ci semble particulièrement éveillée. Témoin direct du réchauffement climatique, la fonte de la calotte du Groenland demeure donc plus que jamais sujette à questions.

Pour en savoir plus

- https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/la-calotte-du-groenland-est-amenee-a-disparaitre-avec-des-consequences-imprevisibles_146953
- https://www.lalibre.be/planete/sciences-espace/comment-deux-satellites-vont-peser-l-eau-sur-terre-5b03b3e9cd7028f07a2140fd
- https://www.nationalgeographic.fr/environnement/alors-que-la-fonte-des-glaces-saccelere-certains-glaciers-se-reforment
- https://www.nationalgeographic.com/environment/2018/12/greenland-ice-sheet-is-melting-faster-than-in-the-last-350-years/ (en anglais)

Quand nos montagnes perdent leur sang froid

Tom Peffer
Master en sciences géographiques — orientation « Global Change »

Même si les calottes du Groenland et de l'Antarctique représentent la majorité de la glace sur Terre, les glaciers de montagne (figure 1), ainsi que leur réaction au réchauffement climatique, ne sont pas négligeables et affectent énormément de communautés à long et à court terme. Quelle est l'évolution de ces glaciers, qui sont non seulement valorisés pour leur caractère esthétique, mais surtout pour leur apport en eau potable? Dans quelle mesure cette évolution affecte-t-elle ces communautés, par exemple dans l'Himalaya ou les Alpes?

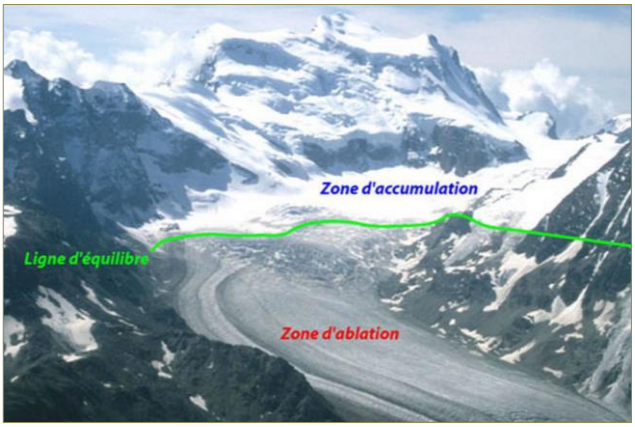

Figure 1 : Représentation de la zone d'accumulation et d'ablation.
(Source : https://www.rts.ch/decouverte/sciences-et-environnement/environnement/la-fonte-des-glaciers/8947090-un-glacier-comment-ca-fonctionne.html. consulté le 24 février 2021)

Que sont les glaciers de montagne ?

Avant d'étudier le lien entre le dérèglement climatique et les glaciers de montagne, la connaissance de certaines notions de base est nécessaire. Comme l'illustre la figure 2, un glacier de montagne, de manière très générale, peut être divisé en deux parties principales : (1) la zone d'accumulation et (2) la zone d'ablation comme le montre la figure 1. Par précipitation, la neige s'accumule dans la zone d'accumulation et se transforme progressivement en névé et puis en glace, à cause de la pression exercée de la partie située au-dessus. Dans la partie plus basse du glacier se trouve la zone d'ablation, séparée de la zone d'accumulation par la ligne d'équilibre. Dans cette zone, la neige tend à fondre à cause des températures plus élevées. La masse de neige et de glace perdue dans la zone d'ablation est ensuite renouvelée par la masse venant de la zone d'accumulation. La différence entre le gain de masse d'eau (sous forme de neige ou glace) dans la zone d'accumulation et la perte de masse d'eau dans la zone d'ablation fournit le bilan de masse. Un bilan négatif implique une décroissance (ou rétrécissement) d'un glacier, tandis qu'un bilan positif implique sa croissance. Cette grandeur est utilisée pour évaluer l'évolution des glaciers de montagne et est de grande importance lorsqu'on vise à quantifier l'impact du changement climatique sur la cryosphère.

Un autre élément caractéristique des glaciers de montagne est la moraine qui peut se trouver sur les côtés du glacier (moraine latérale), dans la zone d'ablation ou au niveau du front du glacier (moraine frontale). Ces moraines sont des accumulations de débris rocheux qui proviennent de l'érosion par le déplacement du glacier. Entre la moraine frontale et le front du glacier, un lac pro-glaciaire peut se former suite au recul de ce dernier (figure 2).

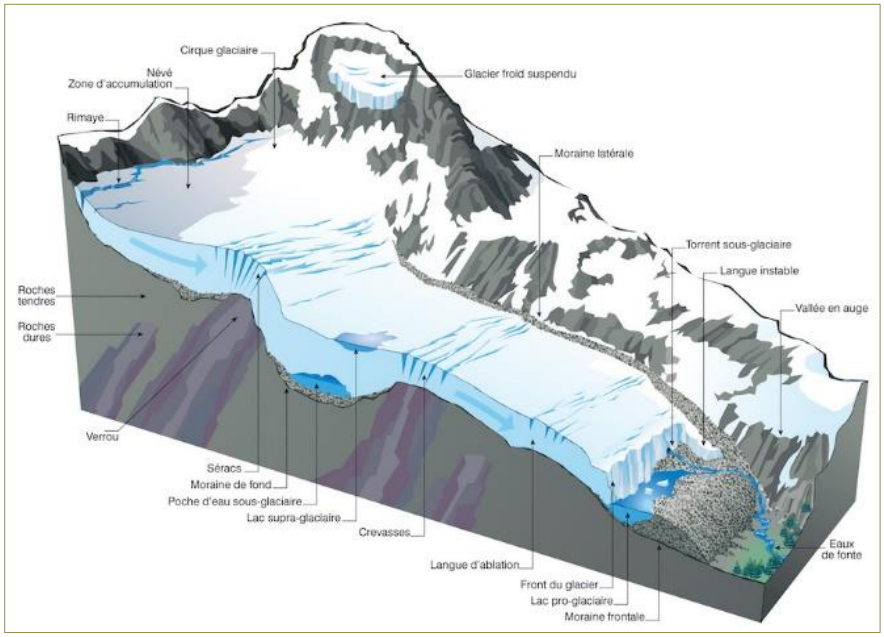

Figure 2 : Schéma simplifié d'un glacier de montagne (Hardloop, 2018)

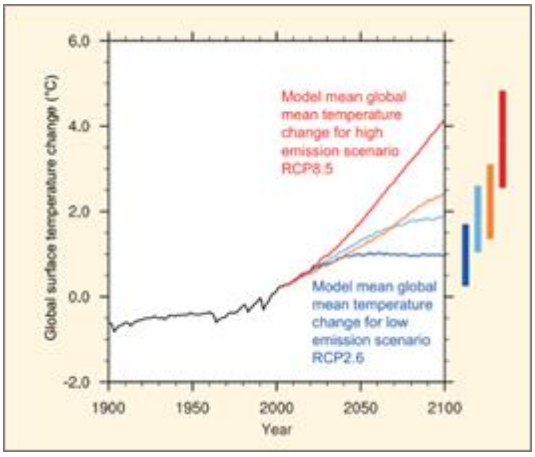

Figure 3 : Évolution projetée et observée de la température globale de surface (IPCC, 2013)

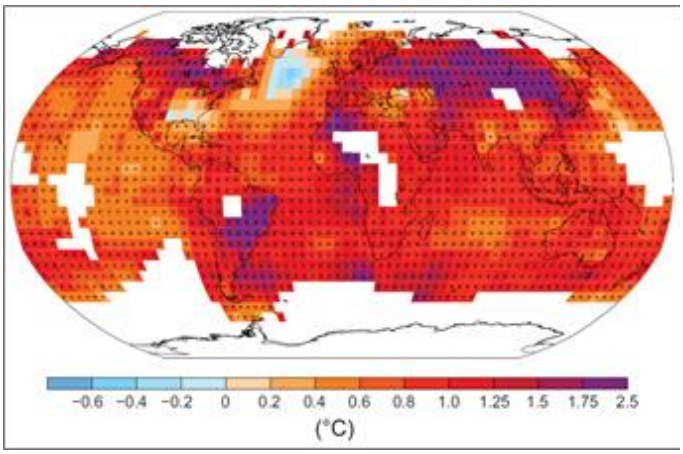

Figure 4 : Carte de l'évolution des températures en surface observée entre 1901 et 2012 (IPCC, 2013)

Le changement climatique

La figure 3 représente l'évolution observée de la température globale de surface, ainsi que des projections obtenues par des modèles climatiques. On observe que, surtout depuis les années 50, la température augmente notablement. En outre, selon les modèles, cette évolution suivra très probablement cette tendance vers le haut. Pour le scénario le plus pessimiste (émissions de gaz à effet de serre élevées), cette température globale de surface pourrait atteindre une hausse de 4 degrés par rapport à la moyenne de 1986-2005 en 2100. Cette croissance de la température de surface peut également être observée sur la carte de la figure 4 sur laquelle l'évolution de température entre 1901 et 2012 est représentée. Comme sur le graphique, les températures ont augmenté dans cette période et ceci aussi dans les régions contenant des glaciers de montagne, comme en Europe (Alpes) et en Asie (Himalaya).

Impact sur les glaciers

L'impact direct d'une augmentation de température est la fonte plus marquée des glaciers et donc des bilans de masse qui diminuent progressivement jusqu'à la disparition entière des glaciers (figure 5). Dans les Alpes presque la moitié de la surface totale des glaciers a disparu entre 1850 et 2000. Cette disparition est le résultat d'un ajustement face aux nouvelles conditions climatiques. Les modèles climatiques prévoient également que ces glaciers des Alpes auront presque complètement disparu à la fin de ce siècle.

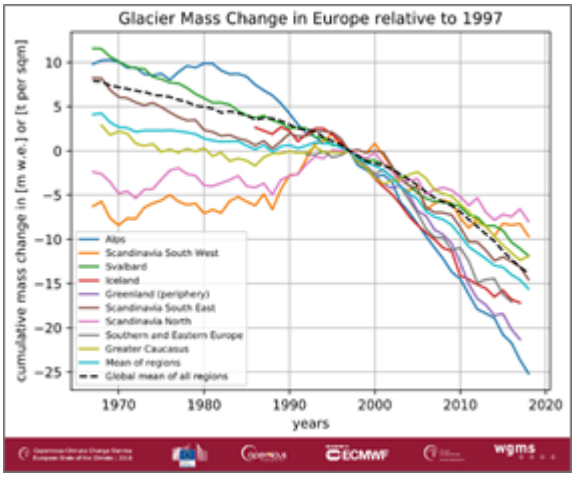

Figure 5 : Courbes cumulatives de l'évolution du bilan de masse en Europe de 1967 à 2018 (WGMS, 2017)

Eau potable

Une première conséquence de cette disparition des glaciers est la diminution de l'apport d'eau. En fait, les glaciers sont des énormes réservoirs d'eau stockée en forme de neige et de glace. La fonte de cette neige et glace alimente les rivières en aval et augmente leur débit en été. Ceci crée donc une saisonnalité du débit. À court terme, la fonte accélérée des glaciers provoque un apport d'eau plus élevé. Cependant, lorsqu'il ne reste qu'une certaine quantité de glace, la part d'eau venant des glaciers diminue. Ceci provoque un vrai déficit hydrologique pour les populations dépendantes de cette source en eau. Les régions les plus affectées sont les régions arides et semi-arides dans lesquelles la précipitation est plus rare. Ceci est par exemple le cas du Pakistan, un pays émergent avec une forte dépendance envers l'agriculture et avec une croissance démographique importante. La combinaison d'un secteur agricole dominant et un climat aride produit une forte dépendance envers l'eau d'irrigation. Au Pakistan, cette eau d'irrigation provient de la rivière Indus, qui est alimentée par les glaciers de l'Himalaya. La disparition de ces glaciers représente donc une menace socioéconomique pour le Pakistan.

Vidange brutale d'un lac glaciaire

Un autre évènement qui résulte de la fonte des glaciers est la vidange brutale d'un lac glaciaire. Un lac pro-glaciaire, qui est formé lors du retrait du front du glacier et qui est bloqué par la moraine frontale, va s'agrandir progressivement lorsque les températures augmentent et que le glacier fond. Par des mécanismes, comme des séismes ou la fonte du cœur gelé de la moraine, la rupture de ce barrage naturel peut être déclenchée. Cet évènement est une menace pour les populations qui habitent en aval des glaciers. Au Népal, au Bhutan, en Chine et au Pakistan, cet évènement catastrophique s'est produit au moins 35 fois entre 1990 et 2000. À cause de la fonte du glacier du Cordillera Blanca au Pérou, cet évènement naturel a provoqué la mort de 30.000 personnes depuis 1941. Ces exemples concrets montrent bien l'importance de l'étude du comportement des glaciers qui peuvent menacer la vie de certaines communautés.

Autres conséquences

Malheureusement, les conséquences de la fonte des glaciers de montagne ne se limitent pas au déficit hydrologique et aux risques de vidanges brutales de lacs glaciaires. Le retrait des glaciers a une multitude d'impacts négatifs. Parmi eux, on peut citer la contribution à l'élévation du niveau de la mer. Celle-ci est considérée comme un impact à long terme, puisque la fonte totale d'un glacier peut prendre plusieurs décennies. Cependant, comme illustré sur le graphique à la figure 6, la fonte des glaciers de montagne a déjà eu un impact non négligeable sur le niveau de la mer et surtout plus important que celle de l'énorme calotte de l'Antarctique.

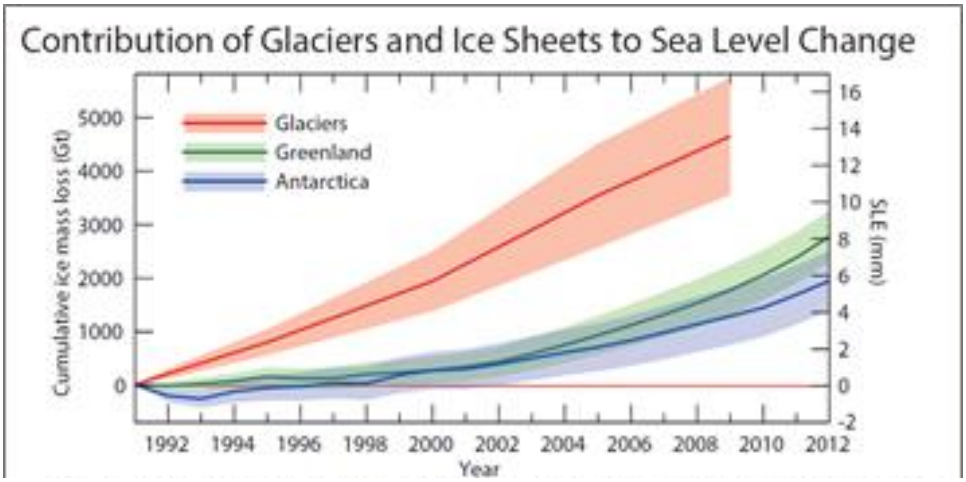

Figure 6 : Contribution de la fonte des glaciers, de l'Antarctique et du Groenland au changement du niveau de la mer (IPCC, 2013)

De plus, la neige et la glace possèdent un albédo (pouvoir réfléchissant) très élevé (80-95%). La fonte des glaciers entraine une diminution de la surface recouverte par de la neige ou de la glace et aura comme conséquence une baisse de l'albédo de surface. Lorsqu'une surface possède un albédo moins élevé, moins d'énergie solaire incidente est réfléchie et la surface se réchauffe davantage. Au niveau global, ceci est négligeable. Il faut cependant prendre en compte les effets à l'échelle locale et même régionale. Un autre impact de cette disparition des glaciers de montagne est la menace du tourisme de montagne, qui représente environ 20% du tourisme global. La fonte totale des glaciers aura surtout un impact élevé dans les régions où le tourisme de montagne est une activité économie importante, comme en Suisse ou en Autriche, par exemple.

Finalement, lorsque les débits des rivières diminuent suite à la disparition des glaciers, la production potentielle d'énergie hydroélectrique diminue également. Ceci produit un défi pour les pays dépendants envers une production hydroélectrique.

Conclusion

À l'aide des exemples comme la vidange brutale de lacs glaciaires, l'élévation du niveau de la mer ou le défi pour le tourisme de montagne, l'ampleur de l'impact du changement climatique sur les glaciers a pu être démontrée. Ceci souligne l'importance du développement de modèles climatiques performants et de la mise en place de bonnes mesures d'adaptation comme la construction de barrages ou le développement de nouvelles activités économiques, qui vont compenser la décroissance d'autres secteurs.

Pour en savoir plus

- https://www.echosciences-grenoble.fr/articles/les-glaciers-alpins-dans-un-climat-en-evolution
- https://labs.letemps.ch/interactive/2018/carte-glaciers-2100/
- https://www.swissinfo.ch/fre/s%C3%A9rie-sur-les-glaciers-suisses--2000---3000-m%C3%A8tres_le-recul-des-glaciers-rend-il-les-alpes-plus-dangereuses-/45255474
- https://climate.nasa.gov/interactives/global-ice-viewer/#/1 (en anglais)

Le réchauffement climatique et le prince de sang-mêlé

Émilie Briquet
Master en sciences géographiques — orientation « Global Change »

Le réchauffement climatique est une préoccupation qui a pris de plus en plus d'importance au cours de ces dernières années. Les premières choses qui viennent à l'esprit lorsque nous en parlons sont l'augmentation des températures, la fonte des glaces, l'élévation du niveau des océans, les vagues de chaleur, les évènements extrêmes, etc… Il est cependant moins courant de s'intéresser aux impacts sur la santé. Pourtant les risques sont bien présents… C'est une infime partie de ceux-là que nous allons aborder avec notre merveilleux ami le moustique faisant partie du groupe des vecteurs de maladies.

Réchauffement climatique

Pour bien comprendre le phénomène, il est tout d'abord nécessaire d'avoir de bonnes connaissances sur le réchauffement climatique.

Avant toute chose, qu'est-ce qu'un climat ? En première définition, nous pourrions dire que le climat est l'ensemble des conditions météorologique moyennes, pour un laps de temps donné, en une région donnée. Mais il serait plus correct de dire que c'est l'ensemble des statistiques (dont la moyenne) décrivant l'atmosphère et l'océan sur une échelle de temps donnée au niveau global ou régional.

Un climat est créé grâce à différentes sources d'énergie, dont la plus importante est l'énergie solaire. Les différents climats ont plutôt une répartition latitudinale de part et d'autre de l'équateur. Plus on monte en latitude, moins il fait chaud.

Dans l'atmosphère entourant la planète, se produisent divers phénomènes tels que la formation de nuages, les précipitations, les vents, etc… Dans cette atmosphère, nous retrouvons également de nombreux gaz, présents naturellement, dont des gaz à effet de serre (GES) comme la vapeur d'eau, le méthane, le dioxyde de carbone... Grâce à ces derniers, elle agit comme une gigantesque serre qui permet de garder la Terre à une température moyenne de 15°C. Une grande partie des rayons du soleil la traversent et atteignent la surface, qui absorbe alors ce rayonnement. La Terre réémet ensuite un rayonnement infrarouge. Une partie de celui-ci est à son tour absorbé par les gaz à effet de serre, qui le réémettent par après dans toutes les directions. Sans les gaz à effet de serre, la température moyenne sur Terre serait de -18°C en moyenne globale, soit 33°C de moins ! L'effet de serre est au départ un phénomène tout à fait naturel.

Mais, …

des problèmes surviennent lorsqu'il y a trop de GES. Or, depuis la période industrielle, le rejet de ces gaz n'a fait qu'augmenter, s'accumulant alors dans cette serre et augmentant progressivement la température globale de la planète. En ce qui concerne le CO_2, par exemple, nous sommes passés d'une concentration d'environ 280 ppm (partie par million [1]) à l'époque préindustrielle à 410 ppm en 2019.

Maintenant que cette mise au point est faite, intéressons-nous aux moustiques.

[1] Cette unité de mesure ppm nous indique le nombre de molécules de polluant que nous trouvons par million de molécules présentes dans l'air.

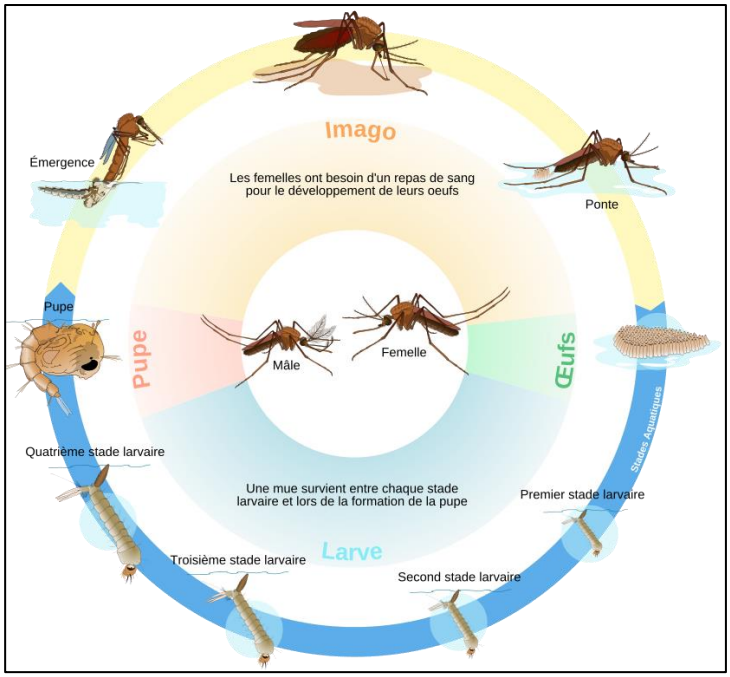

Figure 1 : Cycle de reproduction du moustique.
(Source : https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Fichier:Culex_mosquito_life_cycle_fr.svg)

Les moustiques et les maladies vectorielles

Il en existe près de 3500 espèces, dont environ 300 sont susceptibles de piquer l'Homme. Seule une centaine sont reconnues comme vectrices de maladies infectieuses. Le moustique est un diptère de la classe des insectes, de la famille des *Culicidae*. Il possède une paire d'ailes, un corps en trois parties (prothorax, mésothorax et métathorax), un appareil buccal suceur, piqueur-suceur, ou non fonctionnel et une taille comprise entre 0,5 mm à 8 cm.

Son développement est holométabole, c'est-à-dire à métamorphoses complètes. En effet, le moustique passe par différentes phases (œuf, larve, nymphe et moustique – voir figure 1), qui nécessitent différents milieux. Il a une phase aquatique et une autre aérienne. Cette charmante bestiole est donc très dépendante de son environnement.

Dans ce travail, nous nous intéressons au rôle des moustiques dans la transmission de maladies. Nous parlons de transmission vectorielle lorsque l'agent pathogène (bactérie, virus, helminthe, protozoaire) passe d'un hôte infecté à un hôte sain au travers d'un vecteur (dans notre cas le moustique) qui l'emporte avec lui lors d'un repas. Il y a deux types de transmission :

- Mécanique : l'agent pathogène est simplement transporté d'un hôte A à un hôte B. Le moustique servira seulement de 'seringue volante'. Pour que le pathogène puisse survivre, le délai entre les deux hôtes doit être relativement court. Il faut donc que la concentration d'hôtes et de vecteurs en un même lieu soit suffisamment élevée.
- Biologique : l'agent pathogène subit des multiplications lors de son transport. Il passe par une série de stades avant de pouvoir être 'injecté'.

Parmi les genres de moustiques qui transmettent des maladies infectieuses, trois s'occupent de la majorité d'entre elles : *Aedes*, *Anopheles* et *Culex*.

Chacun d'entre eux a ses petites 'préférences'. *Aedes* s'occupe d'un certain nombre de maladies zoonotiques, dont le virus de la dengue, du chikungunya, le virus *Zika* et la fièvre jaune. Anophèle est plutôt responsable de la transmission du paludisme et de quelques autres agents pathogènes, tels que le ver du cœur canin et les espèces qui causent la filariose. *Culex*, quant à lui, peut transporter, entre autres, le virus du Nil occidental et le virus de l'encéphalite de Saint Louis.

Conséquences du réchauffement climatique

Chaque phase du cycle biologique du moustique est grandement influencée par les moindres changements de l'environnement de manière imprévisible. Les sécheresses peuvent augmenter l'eau stagnante dans les cours d'eau, favorisant ainsi la formation de zones de ponte. Des hivers plus chauds aux latitudes nordiques peuvent, quant à eux, impacter l'expansion de l'aire de répartition.

La chaleur et l'humidité semblent donc être deux facteurs importants dans la vie d'un moustique. La disponibilité en eau et l'augmentation des températures influencent les paramètres biologiques du moustique favorisant son développement, diminuant la durée de son cycle gonotrophique,[2] accélérant son cycle de reproduction et la capacité d'hibernation. Cette dernière, possible grâce à des températures hivernales plus chaudes, est très importante pour l'expansion des différentes espèces dans les régions plus nordiques. De plus, des températures plus élevées provoquent une croissance plus rapide.

La température joue également un rôle important sur la période d'incubation[3] de certains agents pathogènes transportés dans le moustique. L'augmentation des températures diminue ce temps de développement, augmentant ainsi la période durant laquelle ces agents pathogènes peuvent transmettre des maladies.

Dans les zones tempérées, la saisonnalité joue un rôle important pour la survie et la diffusion des agents pathogènes car, contrairement aux tropiques, il existe une période froide. Ainsi, un agent pathogène ne pourra être diffusé même si la saison d'été est suffisamment chaude, car il sera éliminé à l'arrivée de l'hiver. Toutefois, dans le contexte du réchauffement climatique, ces périodes froides tendent à s'écourter, laissant de plus en plus de place aux températures plus chaudes.

Au vu de ce que nous avons observé concernant le réchauffement climatique et de ce que nous avons appris sur les moustiques, nous pouvons prévoir les impacts suivants du premier sur le deuxième:

- une augmentation des aires de distribution (des vecteurs et des foyers de maladies) ;
- une augmentation des périodes d'activité des vecteurs ;
- une augmentation de la densité des vecteur jusqu'à un certain seuil au-delà duquel l'effet inverse sera observé ;
- une augmentation de la longévité ;
- une diminution de la durée d'incubation.

Nous pouvons déjà remarquer ces effets. Par exemple, *Aedes albo-pictus* (ou moustique tigre), espèce responsable de la propagation de la dengue, est déjà présent en France alors qu'il est originaire d'Asie du Sud-Est et de l'Océan Indien.

Conclusion

Nous ne nous sommes intéressés qu'à une infime partie des problèmes que nous rencontrons ou pourrions rencontrer ces prochaines années. Le nombre de problèmes de santé possible est très élevé (voir figure 2). De plus, nous nous sommes contentés d'étudier le cas des moustiques, mais les vecteurs de maladies peuvent être variés (par exemple les tiques) et ne pas être nécessairement hématophages (c'est-à-dire, qu'ils ne doivent pas obligatoirement piquer pour transmettre les maladies). Certains peuvent transporter des maladies sur leurs pattes ou leur corps en faisant des allers-retours entre les détritus et les aliments comme les blattes ou certaines mouches.

Pour en savoir plus

C'est pas sorcier

- Un moustique, ça trompe énormément https://www.youtube.com/watch?v=XSyQCbKl4ns
- Moustiques dangereux envahisseurs https://www.youtube.com/watch?v=85NwOQpJU94

[2] Temps qu'il met à digérer entre deux repas sanguins.
[3] Temps de développement.

Le Parisien

- Moustique-tigre : « Cet insecte peut transmettre des maladies arboviroses » https://www.youtube.com/watch?v=-0atg_7Qw2o
- Moustique-tigre : 3 questions à Anna-Bella Failloux, chercheuse à l'Institut Pasteur https://www.youtube.com/watch?v=Poh639hPdPc

Éditions Lelivrescolaire.fr

- Agents pathogènes et maladies infectieuses (SVT 2de) https://www.youtube.com/watch?v=dGekAdVGWck

OMS

- OMS -Organisation Mondiale de la Santé. (2020). Maladies à transmission vectorielle. https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/vector-borne-diseases.

Plus général

10 fiches pour décrypter le défi climatique
http://www.fondation-nature-homme.org/sites/default/files/publications/fiches_defi_climatique.pdf

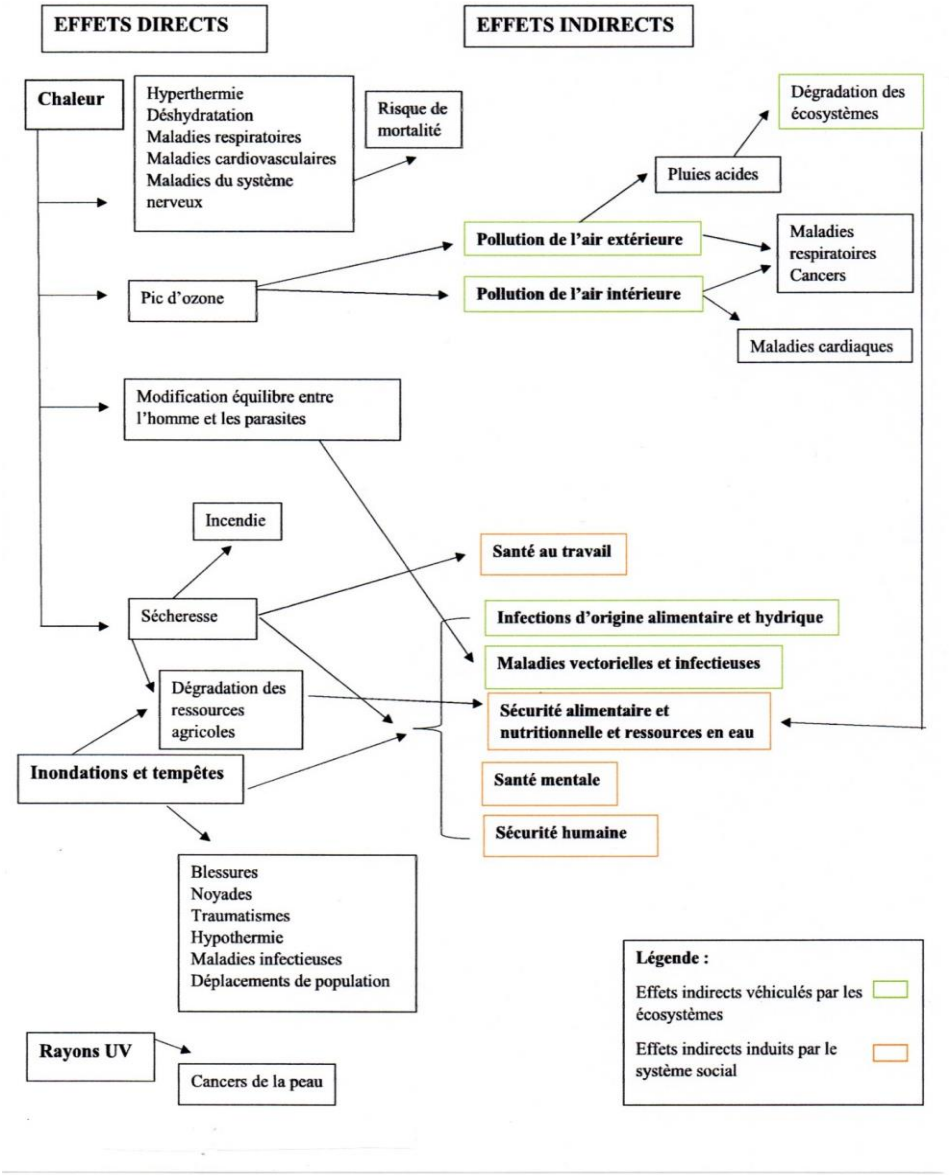

Figure 2 : Effets directs et indirects du réchauffement climatique sur la santé humaine. (Source : Van Cauter, L. (2019) http://hdl.handle.net/2078.1/thesis:19890, consulté le 24 novembre 2020.)

Venus et la Terre – Observer un autre climat pour mieux comprendre le nôtre

Steven Christopher
Master en sciences spatiales

La climatologie comparative

Lorsque l'on parle de climat, on parle généralement du climat terrestre. Mais celui-ci n'est pas le seul qui nous est connu. En effet, toutes les planètes du système solaire, excepté Mercure, possèdent une atmosphère, et donc un climat qui leur est propre et différent de celui de la Terre. Leur existence nous permet d'étudier la climatologie comparative.

La climatologie comparative est l'étude du climat des autres planètes et satellites naturels du système solaire dans le but de mieux comprendre son fonctionnement. En effet, les lois de la physique étant universelles, les systèmes climatiques devraient fonctionner suivant les mêmes principes physiques que sur Terre. Par conséquent, comprendre un phénomène climatique sur une autre planète peut nous permettre de comprendre un phénomène similaire sur Terre. De même, comprendre un phénomène climatique sur Terre permet de comprendre des phénomènes similaires sur d'autres planètes. Par conséquent, afin d'obtenir un modèle climatique plus complet, une étude des climats extraterrestres ainsi que du climat terrestre est instructive.

Vénus : Jumelle de la Terre ?

La planète Vénus est une cible particulièrement intéressante de par sa similarité à la Terre. En effet, Mars et Vénus sont les seules planètes telluriques (c'est-à-dire possédant une surface solide) du système solaire autres que la Terre et possédant une atmosphère. Vénus et la Terre présentent également des masses et tailles similaires.

De plus, nous savons aujourd'hui que ces deux planètes présentaient initialement des climats et des atmosphères très similaires. Or ces mondes présentent maintenant des conditions très différentes. Vénus présente aujourd'hui une atmosphère composée presque entièrement de dioxyde

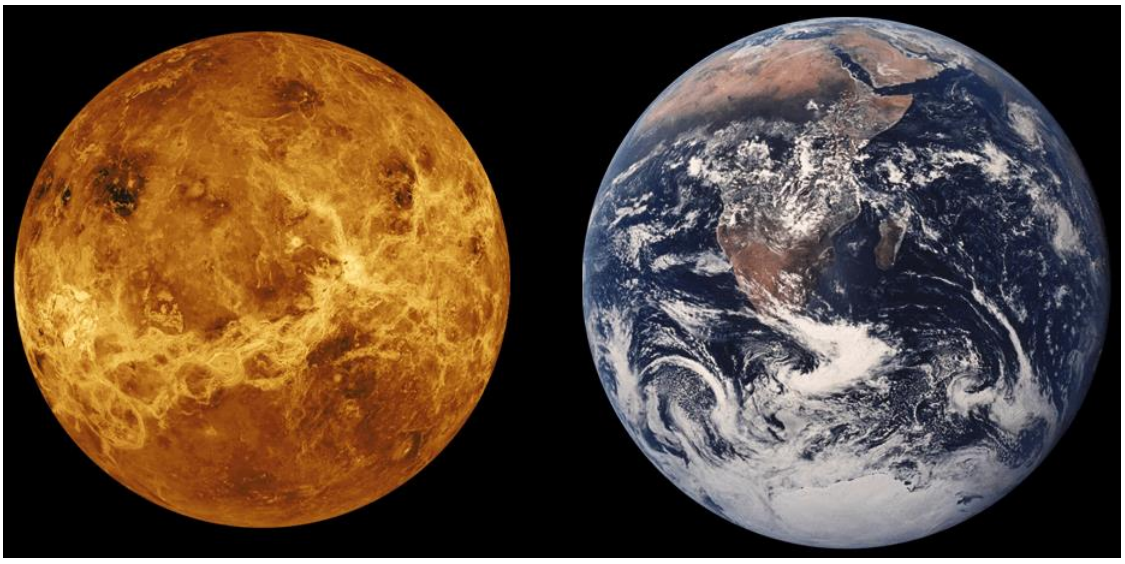

Figure 1 : Vénus et la Terre. Source : universetoday.com

de carbone (96.5%). La pression atmosphérique à sa surface est plus de 90 fois celle de la Terre. La température moyenne de surface est de 464°C et la planète est entièrement couverte de nuages d'acide sulfurique, réfléchissant 75% de la lumière solaire incidente et provoquant des pluies acides, qui s'évaporent avant de toucher la surface. Pourquoi est-ce qu'il y a eu une telle divergence par rapport à la Terre ?

L'évolution du climat vénusien

On pense aujourd'hui que Vénus possédait non seulement une atmosphère de densité et température beaucoup moins extrêmes, mais potentiellement même des océans, aujourd'hui évaporés. L'explication la plus probable pour ce changement climatique extrême est un emballement de l'effet de serre. En effet, sans l'effet de serre, Vénus aurait une température de surface de -43°C ! Plus précisément, on parle d'emballement de l'effet de serre lorsque les gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère d'une planète la chauffent au point que son système climatique atteint un point de basculement et que toute eau à la surface s'évapore. La vapeur d'eau étant également un gaz à effet de serre, elle contribue ensuite à un réchauffement encore plus intense de la planète.

Dans le cas de Vénus, le point de basculement aurait été atteint lors d'une augmentation de la luminosité du Soleil. En effet, plus une étoile comme le Soleil vieillit, plus elle devient brillante. Sur Vénus, cette augmentation de l'apport d'énergie, avec les gaz à effet de serre déjà présents dans l'atmosphère, mena à l'évaporation de ses océans. La Terre, étant plus éloignée du Soleil, n'a pas subi cette évaporation.

Sur Terre, les océans sont nécessaires à la tectonique des plaques. En effet, les plaques océaniques absorbent de l'eau lors de leur déplacement sous-marin. Ceci les rend plus flexibles ce qui leur permet de passer en-dessous des plaques continentales (subduction). Sans les océans, les plaques océaniques n'auraient pas la flexibilité nécessaire et la tectonique des plaques s'arrêterait. De plus, la tectonique des plaques participe au cycle du carbone : le dioxyde

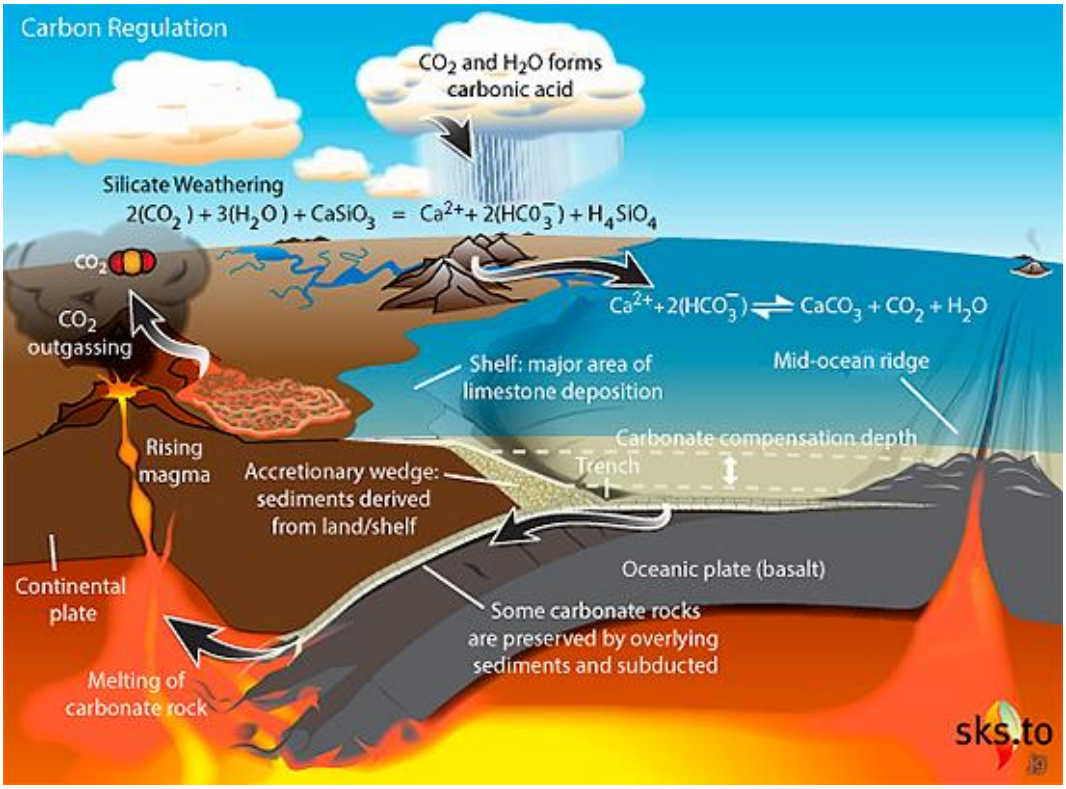

Figure 2. Cycle du carbone et tectonique des plaques.
Source : skepticalscience.com

de carbone, à travers plusieurs réactions chimiques, forme des roches carbonates qui s'accumulent sur les plaques océaniques. Par la suite, lors de la subduction des plaques océaniques, le carbone est piégé sous terre. Il est ensuite réémis sous forme de CO_2 par volcanisme (voir figure 2).

Il y a donc sur Terre (et sur Vénus primordiale) un recyclage au long terme du CO_2 atmosphérique. Avec la perte de ses océans et donc que de l'arrêt de sa tectonique des plaques, ce recyclage s'est arrêté sur Vénus. Il y a donc eu une augmentation permanente du CO_2 dans l'atmosphère vénusienne. Sans le recyclage naturel du CO_2, la masse de l'atmosphère ne pouvait qu'augmenter. Puisque la pression atmosphérique n'est que l'effet du poids de l'atmosphère, ceci a mené aux pressions élevées que l'on observe aujourd'hui.

Quant aux nuages d'acide sulfurique, ceux-ci se sont formés par émission de gaz sulfureux (tels que le dioxyde de soufre) lors d'éruptions volcaniques. L'acide sulfurique est ensuite formé lors de réactions chimiques dans la haute atmosphère vénusienne. Lorsqu'il précipite vers la surface, les températures extrêmes de la basse atmosphère causent son évaporation. Lorsque les vapeurs remontent dans la haute atmosphère, les températures plus basses causent leur recondensation en nuages acides. Ainsi, l'acide sulfurique reste en permanence dans l'atmosphère, menant à une forte accumulation de l'acide et à la formation de la couverture nuageuse permanente.

On voit donc comment une planète initialement similaire à la Terre peut très drastiquement changer par emballement de l'effet de serre. La question se pose : est-ce que la Terre peut subir un tel emballement, par cause naturelle ou par le changement climatique anthropique ?

Le futur du climat terrestre ?

Dans le cas naturel, la Terre subira presque certainement un emballement similaire à Vénus. En effet, dans 500 millions à 1 milliard d'années, la luminosité solaire aura augmenté à tel point qu'elle causera un emballement de l'effet de serre.

Dans le cas anthropique, un emballement semble improbable. En effet, il nécessiterait probablement que l'on brule plus de carburant fossile qu'il n'en existe sur Terre, jusqu'à dix fois plus suivant certains modèles. Cependant, il existe quand même quelques modèles qui prédisent un emballement dû à l'activité humaine. Un emballement anthropique, bien qu'improbable, reste toujours dans le domaine du possible.

L'emballement de l'effet de serre est un bon exemple d'un résultat de la climatologie comparative. En effet, en appliquant des principes à la base de notre compréhension du système climatique terrestre au climat vénusien, nous avons pu théoriser l'emballement climatique, et ensuite le réappliquer au climat terrestre.

Pour en savoir plus

- https://www.aeronomie.be/fr/encyclopedie/venus-evaporation-leau-effet-serre
- http://www.slate.fr/monde/76138/oceans-bouillir-emballement-effet-serre-goldblatt
- https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/venus-venus-aurait-ete-habitable-jusqua-grand-bouleversement-il-y-715-millions-annees-63885/