

# « Les changements climatiques »

**Lundi 2 mars et lundi 9 mars 2020**  
**Université de Liège**

**Deux demi-journées organisées 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 *Global Change*, et en sciences spatiales de l'Université de Liège organisent les 2 et 9 mars 2020 leur douzième colloque annuel sur le thème des changements climatiques. Dans une série de mini-conférences, 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. Leurs exposés aborderont notamment les questions suivantes : La Terre a-t-elle déjà connu des changements climatiques de grande ampleur dans le passé ? Quel climat connaîtra notre planète à la fin du 21<sup>ème</sup> siècle ? Quelles conséquences aura la fonte de la banquise arctique ? Quels risques représente la fonte des pergélisols ? Quel sera l'impact sur la santé ?

Cette année, deux demi-journées sont organisées. Elles s'adressent principalement aux élèves des classes de 5<sup>ème</sup> et 6<sup>ème</sup> année du secondaire, mais sont également ouvertes aux étudiants du supérieur, aux enseignants, aux chercheurs et au grand public. Les inscriptions aux demi-journées sont gratuites.

Merci de compléter le formulaire d'inscription suivant :

<http://rejouisciences.uliege.be/activites/climat/climat-inscription/>

pour vous inscrire ou inscrire votre classe à une ou aux deux demi-journées.

**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](mailto:Louis.Francois@uliege.be)



## Deuxième demi-journée « Les changements climatiques »

Lundi 9 mars 2020, 9h00 à 12h00

Université de Liège

Amphithéâtre de Zoologie, Bâtiment I1

Quai Edouard Van Beneden, 4000 Liège

9h00-9h20 **Accueil et introduction de la journée** (Louis François & Guy Munhoven)

9h20-9h40 **Ecosia : le moteur de recherche qui plante des arbres** (Thomas Gourin)

*Internet fait aujourd'hui partie de notre quotidien. Chaque jour, plusieurs milliards de recherches sont faites ce qui représente une consommation énergétique colossale. A côté du géant qu'est Google, Ecosia se présente comme « le moteur de recherche qui plante des arbres. » En quoi est-il différent d'un moteur de recherche classique et quel est son réel impact environnemental ?*

9h40-10h00 **Analyse des arguments climato-sceptiques à la lueur des rapports du GIEC**  
(Aude Corbeel)

*Dans cette présentation, nous effectuons une confrontation entre les arguments avancés par certains climato-sceptiques et les données se trouvant dans les rapports du GIEC afin de se forger une opinion objective sur le sujet. On aura l'occasion de répondre à différentes questions: Qu'est-ce que le climato-scepticisme ? Est-ce qu'il trouve son origine dans des faits scientifiques solides et véridiques ? Quels intérêts existe-t-il à défendre le climato-scepticisme actuellement ?*

10h00-10h20 **Le pergélisol : nouvelle source de pollution ?** (Augustin Tribolet)

*De grandes quantités de matière organique sont contenues depuis des millénaires dans les sols de l'Arctique. Ces sols gelés sont appelés « pergélisols ». Le réchauffement climatique peut amener le pergélisol à fondre, provoquant ainsi la libération de gaz à effet de serre dans l'atmosphère (dioxyde de carbone et méthane). L'importance et l'évolution du réchauffement du pergélisol et de ses conséquences restent cependant encore incertaines. Quels sont et seront les impacts de la mise en route de ces nouvelles sources de gaz à effet de serre sur le réchauffement climatique ?*

10h20-11h00 **Pause**



**Deuxième demi-journée « Les changements climatiques »**

**Lundi 9 mars 2020, 9h00 à 12h00**

**Université de Liège**

**Amphithéâtre de Zoologie, Bâtiment I1**

**Quai Edouard Van Beneden, 4000 Liège**

**11h00-11h20 Le réchauffement climatique pourrait mener au refroidissement de l'Europe**  
(Ismail Maghouz)

*La Terre a connu tout au long de son existence de nombreux changements climatiques de différentes ampleurs. Notamment, les événements d'Heinrich qui ont apporté un grand froid à l'hémisphère Nord suite à un vélage intensif d'inlandsis qui a mené à l'arrêt du Gulf Stream. Quelle est la situation actuelle sur nos inlandsis ? Qu'en est-il du Gulf Stream ? L'Europe verra-t-elle le réchauffement se ralentir ?.*

**11h20-11h40 Changements climatiques et santé** (Inès Tirvengadam)

*Le changement climatique est une menace dont on entend parler partout. Les catastrophes naturelles de plus en plus présentes font l'actualité, mais d'autres menaces plus discrètes nous guettent. Des microbes préhistoriques dégelés, plus de diabétiques, plus d'allergies ? Voilà ce qui nous attend.*

**11h40-12h00 Conclusions de la journée**



# Ecosia : le moteur de recherche qui plante des arbres

---

**Thomas Gourin**

*Master en sciences spatiales*

## Introduction

Internet fait aujourd'hui partie de notre quotidien. Chaque jour, plusieurs milliards de recherches sont faites, ce qui représente une consommation énergétique colossale. A côté du géant qu'est Google, Ecosia se présente comme « le moteur de recherche qui plante des arbres. » En quoi est-il différent d'un moteur de recherche classique et quel est son réel impact environnemental ?

## Internet et consommation électrique

Le premier point à aborder est celui de la consommation électrique d'internet. Cette valeur est difficile à évaluer, puisque divers éléments sont à prendre en compte : les serveurs sur lesquels sont stockés toutes les informations, la connexion en elle-même et les supports informatiques utilisés, que ce soit un ordinateur ou un smartphone. Différentes études ont tenté d'évaluer au mieux la consommation totale d'internet. Une étude datant de 2018 abordait la consommation des centres de données (Figure 1), c'est-à-dire des lieux, où les serveurs et équipements réseau sont installés. Pour l'année 2018, à l'échelle mondiale, les serveurs ont consommé 102 TWh d'électricité, le stockage 18 TWh, la connexion 4 TWh et l'infrastructure 74 TWh, soit un total de 198 TWh. La consommation totale d'internet est cependant très largement supérieure à cette valeur, quoique difficile à évaluer. En effet, une requête sur internet nécessite un transfert d'information entre l'utilisateur et le centre de données, mais l'étude ne tient pas compte du support utilisé par l'utilisateur : si on laisse un ordinateur allumé toute la journée, quel est son poids dans le bilan énergétique ?

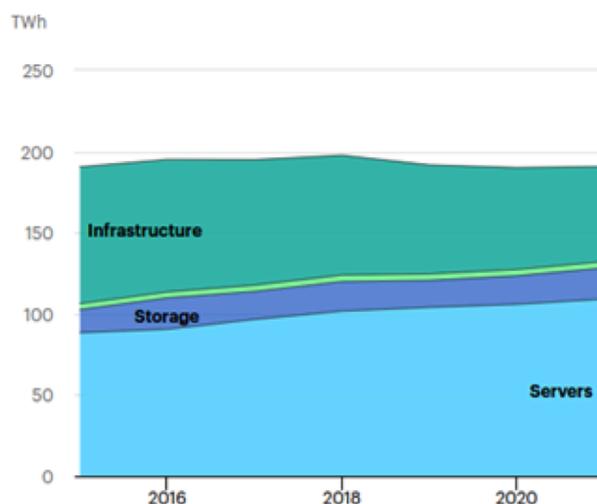


Figure 1 : Consommation électrique des centres de données à l'échelle mondiale entre 2015 et 2021 (prévisions).

## Forêts : rôle climatique et...

Le deuxième point à aborder est celui des forêts et, plus généralement, de la végétation. Cette dernière joue un rôle climatique important. Sans entrer dans les détails, la végétation a les effets suivants sur le système climatique :

- des effets sur le bilan hydrique : la végétation intervient dans le processus d'évapotranspiration, c'est-à-dire la quantité d'eau transportée vers l'atmosphère qui est composée de l'évaporation de l'eau au niveau du sol, de l'interception des précipitations par les plantes et de la transpiration des végétaux ;
- des effets dynamiques : la végétation modifie la rugosité du sol ce qui a un impact sur les courants atmosphériques ;
- des effets radiatifs : la végétation a tendance à avoir un pouvoir d'absorption du rayonnement solaire (radiation) plus fort qu'un sol nu.

Les forêts jouent d'autres rôles encore, qui font partie des services écosystémiques. Nous pouvons notamment citer le service d'approvisionnement : les forêts sont sources directes de nourriture, combustibles et autre matériaux. Il est également important de mentionner les services socio-culturels (nous en reparlerons plus loin), qui renvoient à l'aspect récréatif et éducatif de ces lieux.

Enfin, le rôle le plus important dans notre discussion est l'effet des forêts sur le bilan du carbone au travers de la photosynthèse : les plantes utilisent l'énergie lumineuse provenant du Soleil pour produire de la matière organique et de l'oxygène à partir de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et d'eau. Le carbone provenant initialement de l'atmosphère au travers du CO<sub>2</sub> se retrouve alors stocké dans la végétation, qui agit donc comme un puits de carbone. Signalons que les plantes sont des êtres vivants, qui ont également besoin de respirer, et que la respiration consomme de l'oxygène et rejette du dioxyde de carbone. Il est donc important de souligner le fait que les plantes retirent plus de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère qu'elles n'en émettent seulement lorsque le processus de photosynthèse est actif.



Figure 2 : Rapport financier d'Ecosia pour le mois de décembre 2019.

## Ecosia

Maintenant que nous avons introduit les deux éléments de base de notre discussion, parlons d'Ecosia, qui fait le pont entre ces deux concepts. Ecosia.org est une entreprise allemande à vocation sociale, fondée en 2009 par Christian Kroll. Ecosia est un moteur de recherche et chaque recherche internet va générer de l'argent au travers de la publicité. Une partie de cet argent sera ensuite investi dans la plantation d'arbres (Figure 2).

En avril 2014, Ecosia est la première entreprise allemande à avoir été certifiée *B Corporation*. Cette certification valorise les entreprises, qui tiennent compte de l'impact de leurs décisions sur leurs employés, clients et fournisseurs, ainsi que sur la société et

l'environnement. En 2017, le palier des dix millions d'arbres plantés a été atteint. Un an plus tard, ce nombre était doublé. Aujourd'hui, le nombre atteint plus de 84 millions d'arbres au total. Avec ses quinze millions d'utilisateurs, Ecosia peut planter un arbre toutes les 0.8 s.

Mais comment fait-on pour planter un arbre ? Dans la pratique, une recherche génère 0.005€ en moyenne et un arbre coûte 0.25€ : il faut donc environ cinquante recherches pour planter un arbre. Évidemment, les arbres ne sont pas plantés un par un n'importe où. Ecosia investit son argent dans de nombreux projets, comme en Espagne, au Brésil ou plus récemment, en Australie, suite aux incendies. Dans ce travail, nous parlerons de deux projets en particulier.

### Burkina Faso - arrêter la désertification

Ecosia est partenaire d'OZG (*Ondernemers Zonder Grenzen*) au Burkina Faso, où l'objectif est de lutter contre la désertification. Dans la région sèche du Sahel, la végétation ne peut se développer d'elle-même, ce qui a tendance à accentuer l'aridité du sol. L'Afrique a lancé en 2007 le projet de la Grande Muraille Verte, un mur végétal s'étendant d'ouest en est pour lutter contre la progression du désert.

Deux aspects se dégagent de ce projet. D'une part, nous avons évidemment les aspects climatiques : la désertification est arrêtée, la région profite d'une meilleure gestion de l'eau et la biodiversité augmente. D'autre part, les aspects sociétaux ne sont pas négligeables. La population locale a accès à plus de nourriture, l'économie se voit développée. De plus, cela peut paraître surprenant, mais puisque la population a un meilleur accès à l'eau, les enfants n'ont pas besoin de faire plusieurs kilomètres tous les jours pour aller chercher de l'eau. Ils ont donc plus de temps pour leur développement personnel et leur éducation. Enfin, les femmes sont mises en avant dans ce projet, puisqu'elles sont les seules personnes rémunérées, ce qui leur permet une plus grande indépendance financière.

### Ouganda : protection des chimpanzés

L'autre projet abordé est celui entre Ecosia et l'Institut Jane Goodall en Ouganda. L'objectif est d'y établir des couloirs forestiers pour relier des parcelles forestières dans le sud du pays. De cette manière, les chimpanzés vivant dans la région auront accès à un espace plus étendu, qui leur offre une alimentation plus variée, et ils pourront se reproduire avec des partenaires d'autres forêts. En effet, le brassage génétique et donc la diversité peuvent être très limités dans une population isolée, ce qui augmente leur vulnérabilité en cas d'épidémie ou de catastrophe. De plus, les arbres sont plantés préférentiellement le long des cours d'eau, ce qui facilite l'approvisionnement en eau dans la région.

Il faut savoir que les chimpanzés sont nos plus proches cousins dans le règne animal. En effet, nous partageons presque 99% de notre ADN avec eux. De plus, les chimpanzés sont actuellement une espèce en danger d'extinction : il ne reste qu'une cinquantaine d'individus dans la réserve en Ouganda. C'est pour ces raisons qu'il est intéressant de mentionner ce projet.

## Conclusion

Au cours de cette discussion, nous avons abordé différents points : internet, les forêts et Ecosia. Cette étude est un instantané de la situation actuelle, mais il est également intéressant d'avoir une vision à plus long terme. Pour conclure, nous pouvons donc reprendre chaque point sous cet angle de vue :

- le trafic futur sur internet va avoir tendance à augmenter de manière exponentielle, mais sa consommation ne devrait pas croître autant, en raison des progrès technologiques et de l'optimisation des installations ;
- pour les forêts, nous pouvons envisager un équilibre avec, d'un côté, la déforestation et autres catastrophes (pertes), et, de l'autre, la reforestation (gain). Pourtant, bien que la société prenne conscience de ces problèmes et que des compagnies comme Ecosia se lancent dans de vastes projets de reforestation, peut-on vraiment dire que des arbres fraîchement plantés valent des forêts millénaires ayant évolué au fil des siècles ?

- Enfin, Ecosia ne doit pas être vu comme une solution miracle, mais plutôt comme un moyen simple, à notre échelle individuelle, de limiter notre empreinte carbone, tout en ayant également un impact positif sur la société.

### **Pour en savoir plus**

Le mensuel « Pour la Science » propose plusieurs articles sur le sujet de la déforestation (<https://www.pourlascience.fr/tags/deforestation>). L'ASBL belge Empreintes fournit une vue d'ensemble de l'empreinte écologique des moteurs de recherches les plus courants (<http://www.empreintes.be/web-ecologique/>). Enfin, il peut être intéressant de consulter les pages web d'Ecosia (<https://info.ecosia.org/what>), qui peuvent servir de portes vers leurs partenaires et leurs projets qui n'ont pas été mentionnés dans cette discussion.

# Analyse des arguments climato-sceptiques à la lueur des rapports du GIEC

*Aude Corbeel*

*Master en sciences spatiales*

## « L'augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> est la conséquence de l'augmentation de la température »

En étudiant le climat, qui régnait sur Terre dans le passé, on a découvert que la Terre avait subi des périodes glaciaires tous les cent mille ans environ (minima de la courbe en bleu sur la Figure 1). Grâce à l'étude des carottes de glace, on observe également que l'évolution de la

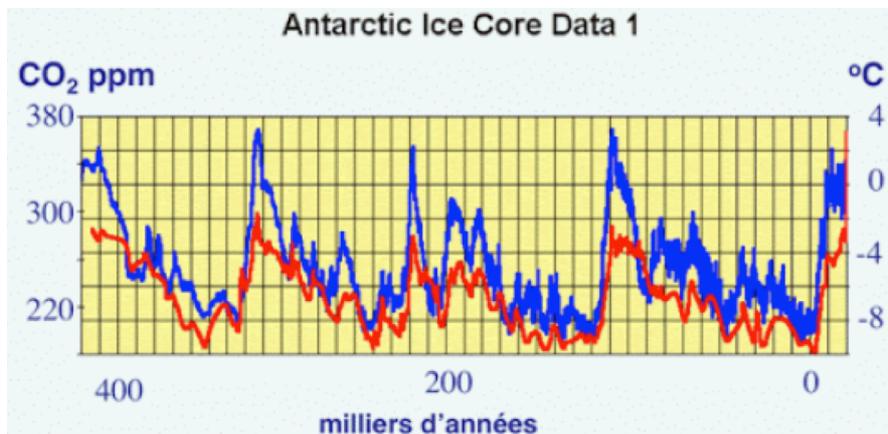


Figure 1 (Source : Petit et al., Nature, 1992)

température semble précéder celle de la concentration en gaz carbonique.

Les variations de température, qui accompagnent ces oscillations glaciaires-interglaciaires sont dues à des modifications de la quantité d'énergie reçue du Soleil par la Terre. Les autres planètes du système solaire font varier la forme de l'orbite de la Terre de manière périodique : elle est parfois plus circulaire, parfois plus elliptique. La modification de cette forme entraîne des variations de la distance entre la Terre et le Soleil et, au plus on est éloigné de celui-ci, au moins on reçoit d'énergie et donc, au moins il faut chaud, comme dans le cas d'un feu de cheminée.

Les variations de la concentration de CO<sub>2</sub> sont des conséquences de ces variations de températures. En effet, lorsque la température globale terrestre augmente, l'océan se réchauffe et relâche alors son gaz carbonique dans l'atmosphère, comme une bouteille d'eau pétillante ouverte laissée au soleil qui devient plate. Ainsi, ce transfert de CO<sub>2</sub> de l'océan à l'atmosphère entraîne l'augmentation de sa concentration dans l'atmosphère et on parle d'un dégazage par les océans.

Ce mécanisme explique pourquoi les variations de la concentration en gaz carbonique sont les conséquences des variations de température, comme observé dans les carottes de glace.

### Réponse

Les variations de température semblent être liées aux variations d'énergie reçue par la Terre. Cependant, les variations de la forme de l'orbite sont trop faibles pour pouvoir engendrer les variations de température observées.

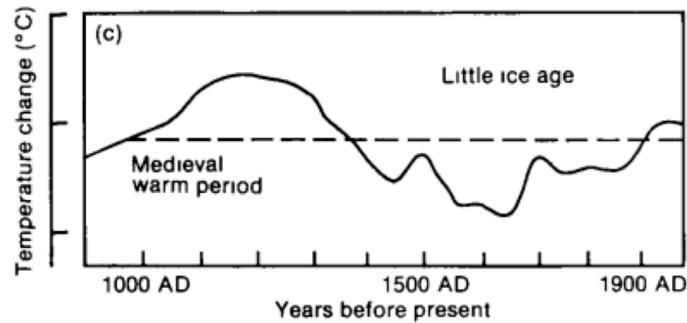


Figure 2. (Source : GIEC, 1990, chap. 7)

Aucun phénomène physique connu ne permet d'expliquer, à lui seul, les variations de température à ces échelles de temps. Les variations de la forme de l'orbite ou de la concentration en  $\text{CO}_2$  n'expliquent pas tout individuellement, le système climatique étant bien plus complexe. Néanmoins, le phénomène ayant la plus grande influence sur la température est l'effet de serre. Le gaz à effet de serre le plus connu est le  $\text{CO}_2$  et l'augmentation de sa concentration entraîne effectivement une augmentation de la température.

Ainsi, la manipulation climato-sceptique a été de nous faire croire qu'il fallait choisir : soit les variations de  $\text{CO}_2$  sont les causes des variations de la température ou soit les variations de la température sont les causes des variations du  $\text{CO}_2$ . Dès lors, comme il est indéniable que la hausse de température entraîne une augmentation de la concentration en  $\text{CO}_2$  via l'océan, on choisit la deuxième possibilité.

En réalité, il y a d'autres solutions, dont fait partie celle avancée par la science, où les deux explications doivent être prises en compte. La hausse de température entraîne une augmentation de la concentration de  $\text{CO}_2$  par le biais d'un dégazage par les océans et cette augmentation de concentration entraîne à son tour une augmentation de la température par le biais des gaz à effet de serre.

### « La température globale a déjà été plus élevée dans le passé, donc ce n'est pas grave »

Pendant la période médiévale, entre les ans 1000 et 1350, la Terre a connu une période chaude où il faisait plus chaud qu'actuellement en moyenne.

De plus, autour de l'an 1000, lorsque les Vikings ont colonisé le Groenland, ils y ont construit des églises, des maisons et autres édifices, qu'on retrouve aujourd'hui au bord de la glace ou sous la glace. Donc, lorsqu'on vous dit que jamais le Groenland n'a été aussi petit, c'est totalement faux. Les glaces étaient sensiblement moins étendues et la température plus élevée à cette période.

Ainsi, comme il faisait plus chaud avant, le réchauffement actuel n'est pas grave, car nous sommes simplement en train de sortir du « Petit Âge Glaciaire ».

#### Réponse

Le premier rapport d'évaluation du Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'évolution du Climat (GIEC), publié en 1990, présentait effectivement une courbe mettant en évidence une période au Moyen Âge, pendant laquelle il faisait plus chaud qu'aujourd'hui en moyenne (Figure 2). En fait, à l'époque de ce rapport, il n'y avait que peu de données disponibles pour faire un réel état de la situation.

Mais en 2001, dans le troisième rapport d'évaluation du GIEC, davantage de sources diverses étaient disponibles, permettant d'obtenir une vision du passé plus claire. L'une des « nouvelles » visions du passé correspond à la courbe de Mann, ayant la forme d'une crosse de hockey (Figure 3). Cette courbe montre qu'autour de l'an 1000, la température était inférieure

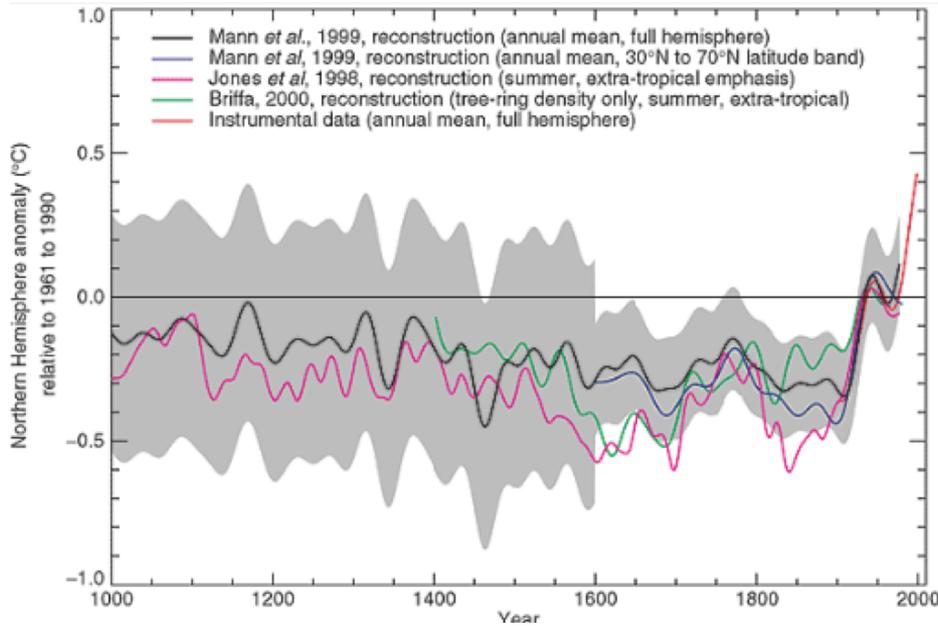


Figure 3. (Source : GIEC, 2001, chap. 2)

aux valeurs actuelles. Donc, l'argument prétendant qu'il faisait plus chaud au Moyen Âge qu'actuellement (et que ce n'est pas grave que le climat se réchauffe) est faux !

Ensuite, s'il est vrai que les Vikings s'installèrent au Groenland autour de l'an 1000 sur des terres non recouvertes par la glace à l'époque, il faut savoir que, même aujourd'hui, ces régions ne sont pas recouvertes de glace. De plus, alors que Groenland connaissait effectivement un épisode plus chaud à ce moment-là, ce n'était pas le cas de l'ensemble du globe.

En outre le Groenland perd actuellement des milliards de tonnes de glace chaque année, même si cela ne représente qu'une infime part de celui-ci.

### « L'augmentation du niveau de la mer n'a rien de rapide ou de phénoménal »

Sur la Figure 5, la pente de la courbe change en 1900 et on peut observer une augmentation du niveau de la mer avec une vitesse assez constante.

Pourtant, au cours de la deuxième moitié du 20<sup>e</sup> siècle, les émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère étaient beaucoup plus importantes qu'à la fin du 19<sup>e</sup> siècle, alors que cette courbe ne montre pas d'accélération marquée en résultant.

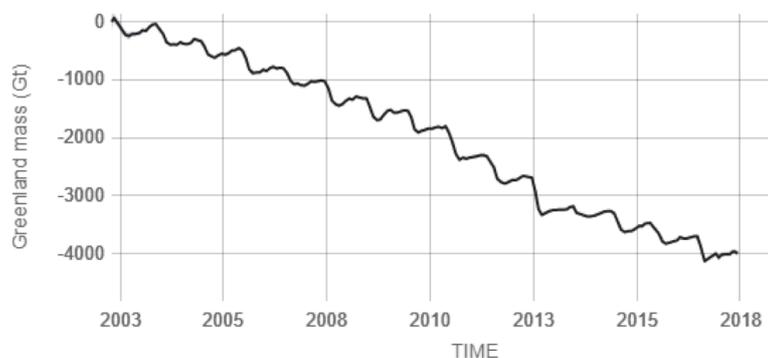


Figure 4. (Source : climate.nasa.org)

Ainsi, cette augmentation du niveau de la mer s'effectuera à la même vitesse au siècle prochain qu'au siècle passé. Mais, 20 cm en plus n'est pas quelque chose d'incroyable auquel l'homme ne pourra pas s'adapter étant donné qu'on vient de passer un siècle avec une hausse de 20 cm sans soucis. Ainsi, l'augmentation du niveau de la mer a une probabilité extrêmement faible d'entraîner des catastrophes au cours des siècles prochains.

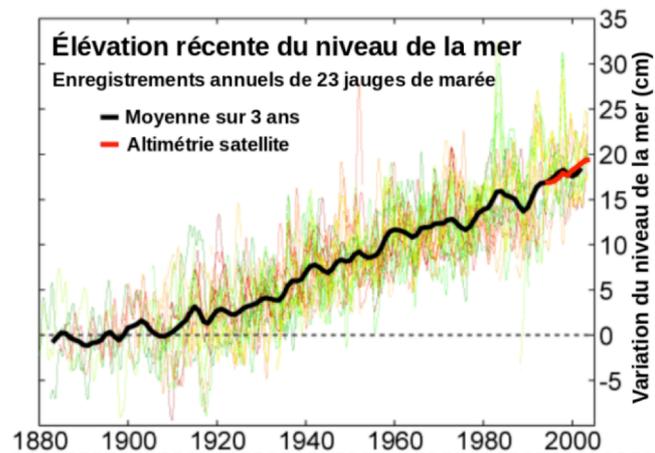


Figure 5 (Source : GIEC, 2007)

### Réponse

Il faut savoir que c'est la combinaison de deux phénomènes, qui est responsable de l'augmentation du niveau de la mer :

- la fonte des glaciers de montagne et des calottes polaires, la fonte de la banquise n'ayant aucun effet sur le niveau de la mer étant donné que la glace de la banquise est déjà flottante ;
- la dilatation thermique de l'eau à cause de l'absorption d'une partie de la chaleur emmagasinée dans le système climatique suite au réchauffement anthropogénique, sachant que l'eau chaude est moins dense que l'eau froide et occupe donc un volume plus important.

Pour la période actuelle, ce n'est pas le niveau de la mer qui importe mais bien la vitesse de l'élévation. Ce rythme d'élévation était très faible avant la période industrielle (inférieur à 1 mm/an). Mais, à cause de l'émission de gaz à effet de serre par l'humanité et le réchauffement qui en résulte, la vitesse d'élévation s'est mise à augmenter pour atteindre 3.2mm/an entre 1992 et 2018. Ainsi, au fur et à mesure du réchauffement, l'élévation du niveau de la mer s'accélère.

Cette augmentation du niveau de la mer peut paraître lente. Mais, est-ce que la lenteur de cette augmentation est un argument suffisant pour ignorer cette conséquence du changement climatique ? De nombreuses villes se retrouveront sous les eaux, des millions de personnes devront être relocalisées et la perte sera considérable en termes de patrimoine historique et culturel. Pour avoir un ordre de grandeur, le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) estimait en 2006, que 145 millions de personnes seraient affectées par une augmentation uniforme d'un mètre du niveau de la mer.

### Pour en savoir plus

- Site web et chaîne YouTube « Le réveilleur » :
  - <https://www.lereveilleur.com/>
  - <https://www.youtube.com/channel/UC1EacOJoqsKaYxaDomTCTEQ/videos>
- Site web : <https://skepticalscience.com/>
- Articles de la revue *Science et Vie*:
  - « Un climatocéptique payé par un lobby : non, le réchauffement n'est pas dû au Soleil »,
  - « Réchauffement climatique : peut-on encore être sceptique ? »,
  - « Scénario de fin du monde : la catastrophe climatique ».

# Le pergélisol : nouvelle source de pollution

---

**Augustin Tribolet**

*Master en sciences spatiales*

## Introduction

De grandes quantités de matière organique sont contenues depuis des millénaires dans les sols de l'Arctique. Ces sols gelés sont appelés « pergélisols ». Le réchauffement climatique peut amener ces pergélisols à fondre, provoquant ainsi la libération de gaz à effet de serre dans l'atmosphère (dioxyde de carbone et méthane). L'importance et l'évolution du réchauffement du pergélisol et de ses conséquences restent cependant encore incertaines. Quels sont et seront les impacts de la mise en route de ces nouvelles sources de gaz à effet de serre sur le réchauffement climatique global ?

## Le pergélisol

On définit un pergélisol comme étant un sol restant gelé pendant au moins deux années consécutives. Le pergélisol se forme à haute latitude ou à haute altitude, là où la température descend suffisamment bas (en-dessous de 0°C) durant toute l'année. Le pergélisol peut être composé de sédiments ou de roches et d'une quantité variable de glace. L'eau gelée contenue dans ce sol agit comme un ciment et maintient les différents matériaux ensemble. Le pergélisol couvre une grande surface sur les continents. Ils représentent environ un quart de la surface des continents dans l'hémisphère Nord. Ils couvrent la moitié de la superficie du Canada. On en retrouve également en Russie, en Alaska et au Groenland. En Europe, il est présent en Scandinavie et à haute altitude, dans les montagnes principalement.

On distingue plusieurs types de pergélisols. Le pergélisol est dit continu lorsque au moins 90% des terres sont recouvertes de pergélisol et discontinu lorsqu'ils couvrent entre 10 et 90%. Mais on retrouve également du pergélisol sous les mers peu profondes de l'Arctique, le pergélisol sous-marin. Ce pergélisol a été inondé durant la dernière déglaciation et a été conservé depuis lors.

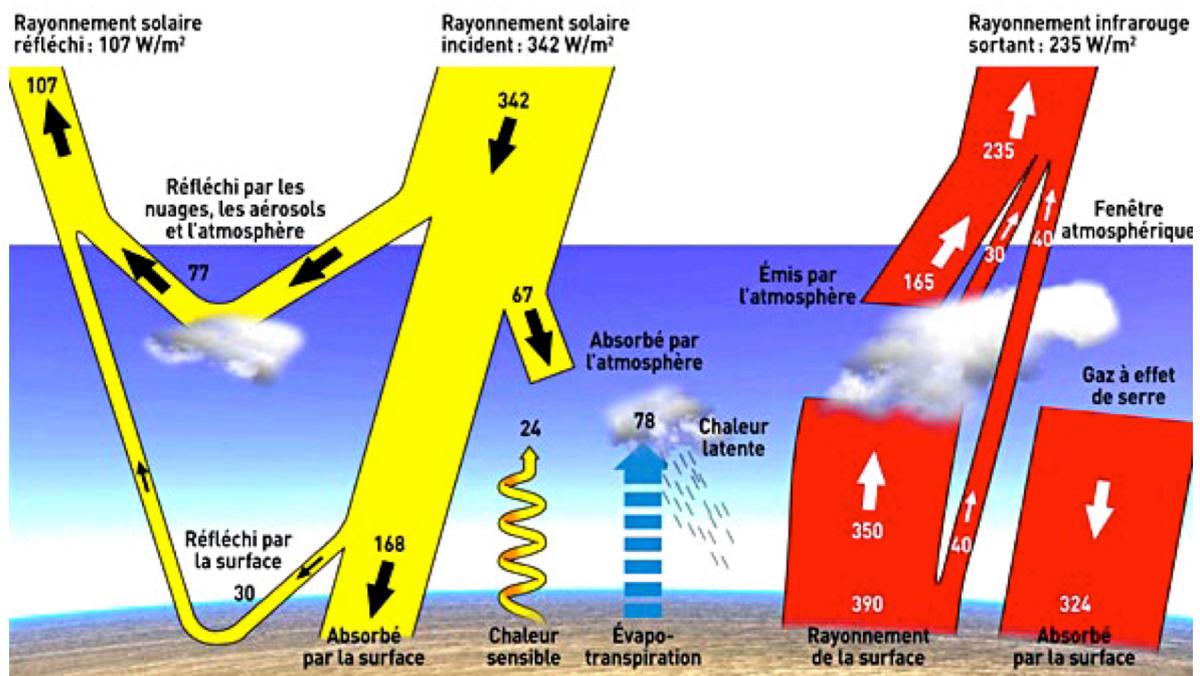
Au-dessus de la partie profonde du sol gelé en permanence se trouve une mince couche de sol appelée couche active. Cette couche dégèle en été et gèle en hiver. Elle peut avoir une profondeur de 30 à 200 cm. Le pergélisol peut lui s'étendre jusqu'à 1500 m de profondeur. La plupart des pergélisols actuels se sont formés depuis la fin de la dernière période glaciaire. Le gel de la couche active en hiver conduit celle-ci à se contracter, ce qui engendre des fissures dans le sol. En été, ces fissures se remplissent d'eau et gèlent à nouveau en hiver, agrandissant ainsi leur profondeur. Ce procédé peut se poursuivre pendant des milliers d'années et conduire à la formation de polygones à la surface du sol, très caractéristiques des zones contenant le pergélisol.

Avec l'allongement de la période chaude de l'année et l'augmentation de la température liée au réchauffement climatique, la couche active s'étend de plus en plus profondément dans le sol gelé et le pergélisol finit par disparaître. La fonte du pergélisol a plusieurs conséquences locales. Elle conduit à la déstabilisation et à l'érosion des sols, à des glissements de terrain ainsi qu'à la formation de réserves naturelles d'eau dans le sol. En effet, la glace jouant un rôle de ciment permet le maintien du sol, ainsi que le maintien de la réserve d'eau, grâce à son imperméabilité.

Mais la fonte du pergélisol pourrait contribuer à augmenter la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère et avoir ainsi une conséquence à l'échelle globale sur le réchauffement climatique en renforçant l'effet de serre..

## Les gaz à effet de serre

Le soleil émet toute une gamme de rayonnement électromagnétique. On classifie ces ondes électromagnétiques en fonction de leur longueur d'onde (la longueur d'une oscillation de l'onde) ou de leur fréquence d'oscillation (le nombre d'oscillations par seconde). Le soleil émet lui un rayonnement couvrant toutes les longueurs d'onde de l'ultraviolet à l'infrarouge en passant par la lumière visible. En se dirigeant vers la surface de la Terre, une partie de ce rayonnement est réfléchi par les hautes couches de l'atmosphère et par certains constituants présents sur Terre (comme la glace,...). La partie qui n'est pas réfléchi est absorbée minoritairement par l'atmosphère et majoritairement par le sol. Le rayonnement absorbé par le sol réchauffe ce dernier. Le sol va émettre un rayonnement dans l'infrarouge dont une partie est dispersé dans l'espace, tandis que l'autre interagit avec certaines molécules présentes dans l'atmosphère.

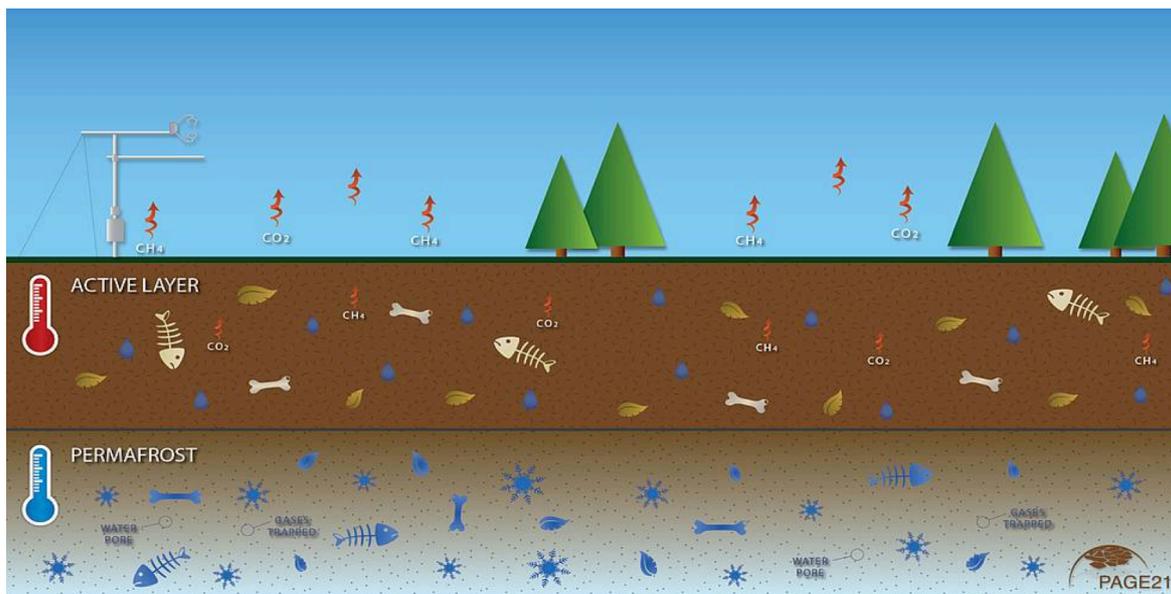


Source : ?

En effet, une molécule, un peu comme un ressort, peut se mettre à osciller. Ces vibrations des atomes au sein de la molécule sont induites par l'absorption de rayonnement à des longueurs d'onde bien spécifiques, dépendant du type de molécule. Par exemple, l'eau et le dioxyde de carbone présentent des fréquences de vibration dans l'infrarouge. Lorsque le rayonnement infrarouge émis par la terre rencontre ces molécules, il est absorbé et fait vibrer ces molécules. Ces molécules sont appelées gaz à effet de serre. Les gaz à effet de serre capturent le rayonnement infrarouge émis par la Terre conduisant à l'augmentation de la température de l'atmosphère. Ils ont ainsi permis de maintenir une température propice au développement de la vie sur Terre. Cependant avec la révolution industrielle, la concentration de ces gaz présents naturellement a considérablement augmenté, conduisant l'atmosphère à se réchauffer davantage.

## La fonte du pergélisol

De la matière organique provenant de restes de plantes ou d'animaux est conservée depuis des milliers d'années dans le pergélisol. Cette matière organique continue d'y être préservée aussi longtemps que le pergélisol se maintient. Lorsque le permafrost fond, elle est exposée aux bactéries et commence à être décomposée. Du dioxyde de carbone et du méthane, qui sont deux



Source : <https://www.page21.eu>

gaz à effets de serres, sont alors rejetés dans l'atmosphère, contribuant à accélérer le réchauffement climatique et donc le dégel du pergélisol : une boucle de rétroaction s'active.

Il existe beaucoup d'autres boucles de rétroaction dans le système climatique. On parle de *rétroaction positive* lorsqu'elle amplifie le réchauffement climatique. À l'inverse, on parle de *rétroaction négative* si elle atténue le réchauffement climatique. Prenons l'exemple de la rétroaction de la vapeur d'eau. La vapeur d'eau est un gaz à effet de serre. Avec le réchauffement climatique, la température de la terre augmente. Cette augmentation de température permet d'augmenter le niveau de saturation de la vapeur d'eau dans l'air. Ceci signifie qu'avec l'augmentation de température, plus de vapeur d'eau peut se trouver dans l'air. On a donc plus de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, ce qui amplifie le réchauffement climatique. La température augmente alors et donc la quantité maximale de vapeur d'eau dans l'air peut encore augmenter et ainsi de suite. C'est une boucle de rétroaction positive. D'un autre côté, l'augmentation de la vapeur d'eau dans l'air permet de former de plus en plus de nuages lors de la condensation. Les nuages agissent sur une partie du rayonnement provenant du Soleil un peu comme un miroir et les renvoient vers l'espace. Donc le rayonnement atteignant la surface de la Terre est réduit. C'est une boucle de rétroaction négative : le réchauffement de la Terre produira de plus en plus de nuages, ce qui augmentera de plus en plus la quantité de rayonnement solaire réfléchi vers l'espace. On voit que l'augmentation de la quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère est à l'origine de deux boucles de rétroaction à effets opposés, mais qui n'auront pas la même importance dans leur action sur le climat.

La boucle de rétroaction résultant de la fonte du pergélisol est une boucle de rétroaction positive. Le carbone emmagasiné depuis des milliers d'années dans le pergélisol pourrait être rejeté dans l'atmosphère. Il y a actuellement deux fois plus de carbone sous forme de matière organique dans le pergélisol qu'il n'y en a dans l'atmosphère sous forme de CO<sub>2</sub>. On estime qu'une grande partie de cette réserve de carbone pourra être libérée sous forme de CO<sub>2</sub> ou de CH<sub>4</sub> et être rejetée dans l'atmosphère.

Les effets du dégel du pergélisol peuvent déjà être observés, mais il est difficile de prédire leur évolution future. En effet, il y a beaucoup de paramètres influençant le comportement du pergélisol. Par exemple, l'augmentation de la température contribue à la croissance de la végétation dans certaines régions, compensant ainsi l'émission de dioxyde de carbone, du moins partiellement. De même, la fonte du pergélisol permet l'installation de végétation sur sa surface, créant ainsi une boucle de rétroaction négative. L'isolation du

pergélisol de l'air froid lorsque des couches de neige se forment favorise son dégel. L'influence nette de l'ensemble de ces paramètres est cependant difficile à évaluer. De plus, il y a d'autres phénomènes observés qui restent incompris : dans certaines régions, la couche active devient de plus en plus épaisse, alors que la température du pergélisol reste constante ; dans d'autres régions par contre, l'épaisseur de la couche active reste constante, alors que le pergélisol se réchauffe rapidement. Il est donc difficile de prédire comment le dégel du pergélisol va évoluer, et a fortiori, d'évaluer quelles conséquences ce dégel aura effectivement sur le réchauffement climatique.

L'étude des climats du passé offre la possibilité d'avoir un meilleur aperçu de l'impact potentiel du dégel de pergélisols sur le climat. Les pergélisols qui s'étaient développés autour des grandes calottes glaciaires pendant la dernière glaciation ont dégelé lors de la déglaciation. Il semble que les bactéries n'auraient pas eu suffisamment de temps pour décomposer toute la matière organique présente dans ces pergélisols. Les conséquences du futur dégel des pergélisols pour le climat pourraient donc être moins graves que l'on craint actuellement.

## Conclusion

On a vu que le réchauffement climatique entraînait le dégel du pergélisol. Celui-ci étant exposé aux microbes se décompose et produit d'importantes quantités de gaz à effet de serre. Différentes boucles de rétroaction se mettent en place par la suite. En raison des nombreux paramètres qui affectent le pergélisol, il est difficile de prédire de manière quantitative quelle influence ce dégel aura en fin de compte sur le réchauffement climatique.

## Pour en savoir plus

- <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/rechauffement-climatique-arctique-permafrost-fond-70-ans-plus-tot-prevu-43336/>
- Kate Marvel. Les nuages, amplificateurs du réchauffement. Pour la Science No. 484, pp. 50-56, 2018.
- <https://eo.belspo.be/fr/degel-du-pergelisol>

# Le réchauffement climatique pourrait mener au refroidissement de l'Europe

Ismaël Maghouz

Master en sciences spatiales

## Les événements de Heinrich

Dans les plaines abyssales, nous nous attendons à trouver des sédiments très fins. En effet, la sédimentation y est de l'ordre d'un à dix centimètres par mille ans dû à la décantation lente des apports éoliens et des squelettes de microplancton et des autres apports de la source lointaine qu'est le continent. Par contre, dans les carottes prélevées dans l'Atlantique Nord entre les latitudes 40°N et 55°N, des couches de gravier (>2 mm) ont été observées. Ce type de sédiment a été retrouvé à différents intervalles correspondant aux épisodes de froid extrêmes de la dernière glaciation. Ces sédiments ont été transportés et déposés lors de la fonte des icebergs dérivants suite à leur vêlage. Ces débâcles sont appelées « événements de Heinrich » (HE, pour *Heinrich events*).

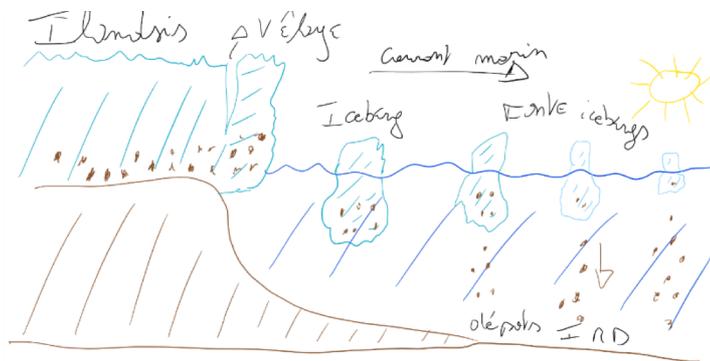


Figure 1 : Vêlage et Ice Rafted Debris (IRD).

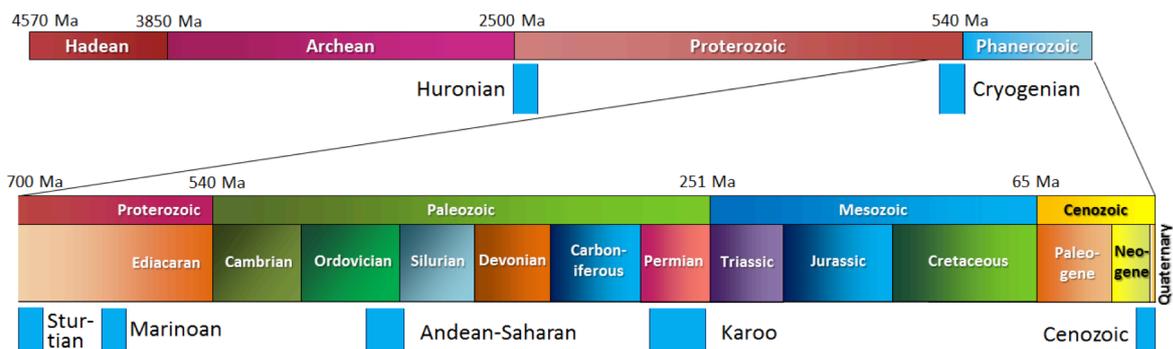


Figure 2 : Ligne de temps montrant les ères glaciaires (en bleu clair) connues depuis le début de l'existence de la planète. Source : S. Earle « *Physical Geology* » (2015, p. 452).

## Théorie

### Les ères glaciaires

Pour comprendre les événements d'Heinrich, il faut d'abord comprendre ce que c'est qu'une ère glaciaire. Nous sommes actuellement en ère glaciaire, une parmi plusieurs connues depuis la formation de la Terre. Une ère glaciaire est caractérisée par l'existence de calottes polaires permanentes.

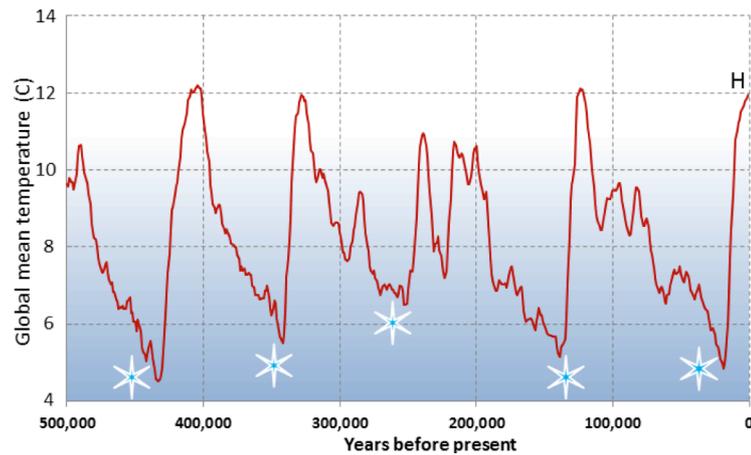


Figure 3 : Température moyenne globale pendant les derniers 500.000 ans. Source : S. Earle « *Physical Geology* » (2015, p. 452).

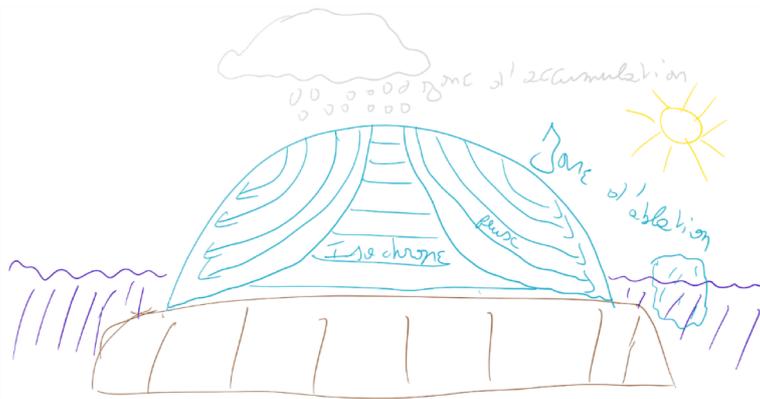


Figure 4 : Accumulation et fluctuation de la glace d'une calotte glaciaire.

Une ère glaciaire ne présente pas forcément un climat uniforme. L'ère actuelle a connu plusieurs oscillations de température, appelées cycles glaciaires/interglaciaires. Ces cycles passent par des maxima et des minima d'extension des calottes et des glaciers continentaux.

### Formation des glaciers

Les glaciers se forment aux pôles (précipitations faibles, mais températures toujours négatives) et en haute montagne (précipitations importantes et températures variables, mais majoritairement basses). Ces grosses couches de glace sont créées par l'accumulation de couches successives de neige. Le poids des couches supérieures compacte la neige sous-jacente en évacuant l'air entre les cristaux de neige, et cimentant ceux-ci, créant des couches de glace. Ces couches s'accumulent et leur poids augmente. Lorsqu'ils ont une masse très élevée, les glaciers commencent à « bouger » sous la force de la gravité, pouvant atteindre une vitesse maximale de 10 m par jour pendant une période chaude. Leurs flancs descendent alors vers de plus basses élévations et leur centre continue d'accumuler des couches de glace. Leur progression s'arrête lorsque qu'ils rejoignent une zone d'ablation où la température est trop élevée ou lorsqu'ils rencontrent la côte où, sans support et avec des températures plus élevées, il y a un phénomène de vêlage, c'est-à-dire, de largage de grands blocs de glace sous forme d'icebergs.

## Température, niveau marin et $\delta^{18}\text{O}$

L'un des principaux indicateurs de température et du niveau marin d'une époque donnée est le taux de  $\delta^{18}\text{O}$  mesuré dans une couche d'un dépôt de glace ou de sédiment qui lui correspond. En effet, il existe plusieurs isotopes de l'atome d'oxygène (p. ex.,  $^{16}\text{O}$  et  $^{18}\text{O}$ ), dont les noyaux atomiques ont tous huit protons, mais un nombre différent de neutrons (huit pour  $^{16}\text{O}$ , dix pour  $^{18}\text{O}$ ). Ces différents isotopes forment différentes molécules d'eau ( $\text{H}_2^{16}\text{O}$  et  $\text{H}_2^{18}\text{O}$ ). Les isotopes avec un plus grand nombre de neutrons sont plus massiques et de ce fait les molécules de  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  ont une pression de vapeur saturante plus basse que les molécules de  $\text{H}_2^{16}\text{O}$ . Cela a pour effet que lors de l'évaporation de l'eau de mer, on retrouve une proportion plus grande de  $\text{H}_2^{16}\text{O}$  dans la vapeur d'eau que dans l'océan (où elle a pris source) et cela s'accroît à des températures plus basses. Le processus inverse se produit lors de la condensation de la vapeur d'eau : l'eau condensée se retrouve enrichie en  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  (l'effet s'accroît également à des températures plus basses). Les rapports  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  dans ces différents milieux sont de l'ordre de 1:500 environ et leurs variations faibles, mais mesurables. C'est pourquoi il est d'usage de les exprimer de manière relative, en tant que déviation par rapport  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  d'un échantillon standardisé (actuellement, cette référence est le *Vienna Standard Mean Ocean Water, VSMOW*, avec un rapport  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  proche de celui de l'eau de mer actuelle en moyenne). Ces déviations, dénotées  $\delta^{18}\text{O}$ , sont généralement faibles et donc habituellement exprimées en ‰. Les nuages issus de l'évaporation de l'eau à la surface des océans présentent un  $\delta^{18}\text{O}$  négatif. Ainsi, lorsque la condensation dans un nuage, suivie de précipitation des gouttes formées, progresse, le  $\delta^{18}\text{O}$  devient de plus en plus négatif avec le temps. Dans l'océan, les foraminifères fixent du  $\text{HCO}_3^-$  (en équilibre avec l'eau) pour former leurs coquilles et gardent ainsi une trace du  $\delta^{18}\text{O}$  de l'eau dans

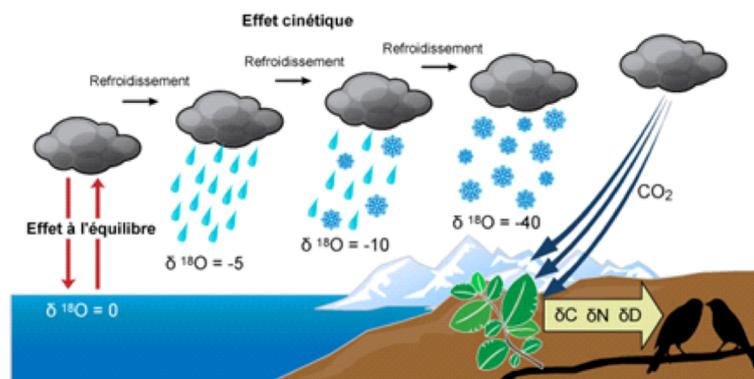


Figure 5 : Evolution du  $\delta^{18}\text{O}$ .

laquelle ils vivent. Les coquilles de ces microfossiles extraits des sédiments marins permettent donc de retracer l'évolution du  $\delta^{18}\text{O}$  de l'eau de mer au cours du temps. Les maxima de  $\delta^{18}\text{O}$  correspondent alors à des maxima glaciaires (et minima eustatiques) ; les minima de  $\delta^{18}\text{O}$  correspondent à des minima glaciaires (maxima eustatiques).

## Analyse

### La dernière glaciation

Durant la dernière glaciation (115.000 à 12.000 années avant le présent), la Terre a subi plus de vingt fluctuations cycliques rapides, appelées événements de Dansgaard-Oeschger (D/O). Chaque événement D/O se compose d'une phase de réchauffement rapide (10 à 15°C en quelques décennies), suivi d'un refroidissement progressif (durant plusieurs siècles). Ces événements présentent une quasi-périodicité de 1470 ans.. Avant le début d'un événement D/O, la température en Atlantique Nord est basse et la circulation thermohaline ralentie, voire à l'arrêt. Ensuite, un réchauffement se produit suite à la reprise de formation d'eau profonde

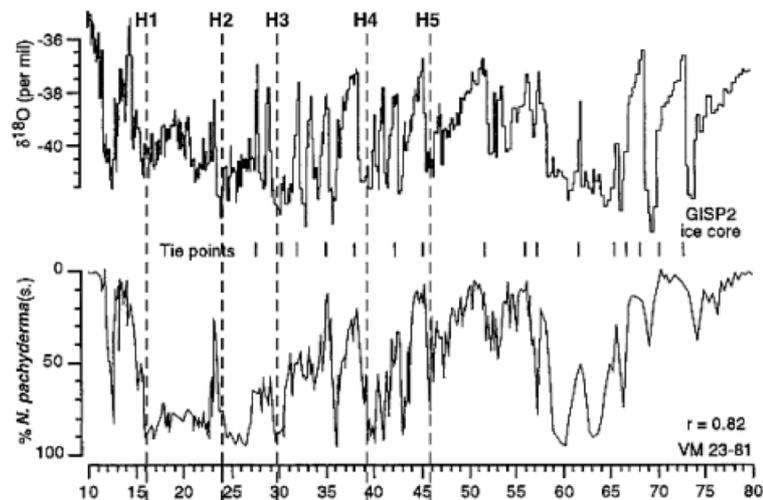


Figure 6 : L'abscisse en millier d'année et le temps reculé de droite à gauche. *N. Pachyderma* est un foraminifère typiquement rencontrée dans des eaux froides et denses. H1, H2, H3, ..., représentent les événements d'Heinrich. Source : Hemming, S. (Rev. Geophys., 2004)

donnant lieu à un appel d'eau chaude d'origine tropicale. Ce réchauffement aurait causé la fonte de glaciers avoisinants apportant de l'eau douce moins dense sur l'Atlantique Nord. De ce fait, la circulation thermohaline aurait de nouveau été ralentie et aurait progressivement apporté un refroidissement dans l'hémisphère Nord. Les plus longs événements D/O ont été précédés par des HE. Les HE sont liés à un événement de vêlage intensif de l'inlandsis laurentidien. En effet, l'analyse des carottes a démontré que les sédiments proviennent en fait du Canada oriental. Le vêlage intensif serait dû au fait que plusieurs D/O successifs auraient augmenté le niveau des mers entraînant une déstabilisation des plates-formes glaciaires débordant en bordure de mer. L'apport d'eau douce sur l'Atlantique Nord s'en trouve accru et aurait ainsi causé l'interruption du Gulf Stream et un grand refroidissement de l'hémisphère Nord. De plus, le vêlage accru aurait changé la topographie de l'inlandsis et ainsi changé la circulation des vents atmosphériques (la position du front polaire) accentuant le refroidissement.

### Conclusion

Les HE résultent d'interactions complexes entre la cryosphère, l'atmosphère et l'océan apportant un froid non négligeable à l'hémisphère Nord. En effet, l'apport d'eau douce par les icebergs a pu stopper la circulation thermohaline et ainsi estomper l'apport de chaleur du Gulf Stream sur le continent européen. Si ce phénomène devait se reproduire aujourd'hui, la Belgique aurait un climat tel que celui observé actuellement autour de la Baie d'Hudson au Canada. L'agriculture belge n'existerait plus. L'impact se verrait partout en Europe et cela aurait une conséquence désastreuse sur l'économie et sur la condition de vie des Européens. L'effet se répercuterait sur l'ensemble de la planète à moyen ou long terme.

### Pour en savoir plus

- Échelle des temps géologiques : <https://www.science-et-vie.com/archives/polemique-chez-les-geologues-mais-dans-quelle-epoque-vivons-nous-24513>
- Fonte des glaces : <https://www.pourlascience.fr/sd/geosciences/l-eau-une-menace-pour-les-calottes-polaires-3887.php>
- Gulf Stream : [https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/climat/le-courant-rechauffe-par-le-gulf-stream-pourrait-s-arreter-temporairement\\_140196](https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/climat/le-courant-rechauffe-par-le-gulf-stream-pourrait-s-arreter-temporairement_140196)

# Changements climatiques et santé

---

*Inès Tirvengadam*

*Master en sciences spatiales*

Nous allons nous intéresser aux liens entre le climat et la santé. Les problèmes sanitaires dont l'homme est sujet, sont multiples. Nous allons tout d'abord nous concentrer sur l'impact direct du climat sur la santé. Ensuite, nous regarderons les liens que le climat entretient avec le diabète et l'asthme. Finalement, nous regarderons ce que le dégel du pergélisol fait remonter comme problèmes.<sup>1</sup>

## Impacts directs du changement climatique

Les dernières prévisions climatiques annoncent une augmentation de température globale jusqu'à 4°C en 2100. Cela a un impact direct sur la population. On peut déjà observer que les vagues de chaleurs augmentent la mortalité de la partie la plus fragile de la population (les enfants, les personnes âgées, certaines personnes atteintes de handicap...). Dans certaines parties du monde, ces vagues de chaleurs amènent à des sécheresses, qui sont d'autant plus mortelles qu'elles impactent des populations déjà fragilisées avec peu d'accès à l'eau, à la nourriture et aux médicaments.

Le changement climatique, c'est aussi la montée des eaux et des événements météorologiques extrêmes comme des sécheresses, des tornades, des tempêtes... Tous ces phénomènes font que des populations entières voient leurs propriétés détruites. De plus, malgré la présence de l'aide internationale, les infrastructures médicales sont souvent mises en péril. Les personnes touchées n'ont donc même pas le moyen de se soigner.

## Impacts indirects sur différentes maladies

### Diabète

Chaque année, on observe de plus en plus de personnes atteintes du diabète. Cette augmentation est en partie due au changement climatique. En effet, ces dernières sont plus sensibles aux facteurs environnementaux. Commençons par décrire brièvement cette maladie et ses implications. Le diabète est une maladie qui s'observe par une glycémie<sup>2</sup> très haute. Il existe deux principaux types de diabète : le type 1 et le type 2.

Le diabète de type 1, communément appelé diabète de naissance, est une maladie auto-immune, où les cellules du pancréas produisant l'insuline (l'hormone évitant que la glycémie ne monte trop haut), sont détruites par le corps lui-même. Ce type est celui qui est soigné par des injections journalières d'insuline et il se déclenche généralement avant l'âge de 20 ans. Cependant, ce n'est pas la seule manière de développer cette maladie. Les cellules produisant de l'insuline ne peuvent en créer qu'une quantité finie. Avec l'augmentation de la durée de vie, des personnes saines peuvent développer un diabète à un âge avancé, parce que leur production d'insuline devient insuffisante. D'autres maladies peuvent aussi intervenir dans la surconsommation d'insuline, ainsi que notre mode de vie et certains facteurs environnementaux.

Le diabète de type 2 est, quant à lui, dû au recouvrement des récepteurs d'insuline par de la graisse. Pour compenser, le pancréas va produire de plus en plus d'insuline jusqu'à épuisement. Arrivé à ce stade, ces personnes auront le même problème que celles souffrant de diabète de type 1. Au début, le meilleur moyen de soigner cette maladie est de réduire la

---

<sup>1</sup> Le pergélisol est une zone de gel permanent. Il se situe dans les régions arctiques du globe et représente environ 20% de la surface de la Terre.

<sup>2</sup> Taux de sucre dans le sang.

quantité de graisse dans le corps (souvent à l'aide d'un changement d'alimentation combiné à des médicaments). Cette forme de diabète est plus difficile à soigner, en particulier, quand ces personnes ont usé toute leur insuline. Notons que même si son déclenchement est souvent lié à du surpoids, voire de l'obésité, son origine est majoritairement génétique.

La chaleur, ainsi que la qualité de l'air peuvent être des déclencheurs pour la réaction auto-immune liée au type 1. Le reste de la population, par le biais d'une augmentation de la consommation d'insuline, est aussi touchée. Les infrastructures médicales des pays en voie de développement sont souvent touchées par les catastrophes naturelles. Étant donné la difficulté d'accès aux traitements qui leur sont vitaux, on constate une plus grande mortalité chez les diabétiques. Enfin, le nombre de diabétiques de type 2 est plus impacté par l'évolution de notre style de vie et par le vieillissement de la population, que par le changement climatique. Néanmoins, ils restent une population sensible.

En conclusion, l'effet négatif du changement climatique est non négligeable sur les personnes diabétiques. Certaines mesures visant à limiter le changement climatique peuvent directement impacter la qualité de vie de ces personnes. Montrons cela pour quelques sujets clefs. Premièrement, la surconsommation alimentaire dans les pays développés augmente les chances d'être touché par le diabète. Ce mode de vie, promouvant l'agriculture intensive et l'automatisation de l'industrie agroalimentaire, a un impact négatif sur le climat. Ensuite, l'augmentation de la population amène à une demande toujours plus grande en ressources. Cela mène à l'urbanisation, ce qui a des effets directs (changement de type de sols) et indirects (besoin de ressources pour construire ces villes et leur transport). Cette population augmentant et les systèmes médicaux s'améliorant, on observe un vieillissement de la population. Les personnes âgées, au-delà d'être plus touchées par le diabète, ont plus souvent besoin d'être hospitalisées, apportant une augmentation de la pollution. Remarquons que, d'après différentes études, les personnes âgées et/ou en surpoids ont tendance à plus utiliser des moyens de transports à énergie fossile.

### Asthme et allergies

Il est clair que les personnes asthmatiques font partie des catégories de population les plus touchées par le changement climatique. En plus du pollen, la pollution de l'air est un facteur prépondérant dans l'évolution de la maladie et sa croissance démographique.

Beaucoup d'asthmatiques sont sensibles aux pollens. Avec le réchauffement climatique, la période de floraison commence plus tôt dans l'année, les fleurs produisent une quantité plus importante de de pollens et la floraison dure plus longtemps.

Les asthmatiques sont aussi très sensibles à la qualité de l'air, et notamment aux concentrations en ozone,<sup>3</sup> dioxyde d'azote et particules fines. Ces différentes molécules peuvent d'un côté aggraver les symptômes liés à l'asthme, mais peuvent aussi déclencher la maladie chez certaines personnes. Remarquons que l'origine de ces composants peut être liée à des sources naturelles, comme la création de particules fines suite aux feux de forêt. Elle est cependant surtout liée à l'activité humaine et à l'évolution de notre mode de vie, comme à la surconsommation et la combustion de combustibles fossiles. Prenons l'exemple des transports. Si on diminue l'utilisation des transports basés sur l'énergie fossile (typiquement le pétrole), on crée moins de gaz à effet de serre et on limite le changement climatique (ce qui est bénéfique pour les asthmatiques). À cela s'ajoute une amélioration de la qualité de l'air.

### Conséquences du dégel du pergélisol

Le dégel du pergélisol est l'une des conséquences du changement climatique dont les effets ne sont pas encore complètement appréhendés. Cependant, en 2015, plus de 1500 rennes, ainsi qu'un enfant, ont trouvé la mort sur la péninsule de Yamal, en Sibérie. Le responsable ? La

---

<sup>3</sup> C'est bien la même molécule qui nous protège des rayons UV. Cependant, elle a cet effet dans la stratosphère, une couche plus haute de l'atmosphère. Pour les humains, cette molécule est toxique.

maladie du charbon (appelée *anthrax*<sup>4</sup> en anglais), une maladie, qui n'avait plus été signalée dans cette région depuis 75 ans. Suite à une période prolongée de température aux alentours de 35°C, le pergélisol avait dégelé tellement profondément que des cadavres de rennes morts vers 1940 avaient été exhumés. Après décongélation, la bactérie, qui avait été préservée, a pu infecter d'autres êtres vivants.

En 2014 déjà, des chercheurs français avaient extrait un virus géant vieux de 30.000 ans encore congelé du pergélisol sibérien, le *Pithovirus sibericum* et ont réussi à en infecter des amibes en laboratoire. D'autres virus de ce sol pourraient être dangereux, comme, p. ex., celui de la grippe espagnole de 1918. Cette grippe a coûté la vie à entre 50 et 100 millions de personnes, soit 2,5 à 5 % de la population mondiale de l'époque. En comparaison, le bilan humain de la première guerre mondiale s'élève à 10 millions de morts seulement. Des fragments de virus ont pu être isolés d'échantillons de tissus prélevés sur des cadavres de victimes de la grippe espagnole enterrées dans le pergélisol en Alaska et au Svalbard. Ces fragments ont permis de reconstruire le génome complet du virus (H1N1) et de le répliquer. Les experts disent qu'il est peu probable que des virus complets aient été préservés, même dans le pergélisol. Cette possibilité ne peut cependant pas être exclue.

## Conclusion

Pour conclure, nous avons constaté que dans le cas de l'asthme et du diabète, les mesures à prendre pour limiter le nombre de personnes touchées concernent, aussi, le changement climatique. Ainsi, la nécessité de remettre en question notre mode de vie ne se limite plus uniquement à des considérations écologiques. Le réchauffement climatique est devenu un problème de santé publique.

## Pour en savoir plus

- <https://www.encyclopedie-environnement.org/sante/changement-climatique-effets-sante-de-lhomme/>
- <https://www.science-et-vie.com/archives/permafrost-et-s-il-liberait-des-armees-de-virus-21237>

---

<sup>4</sup> La maladie du charbon est parfois erronément appelée anthrax en français. L'anthrax est cependant causé par un staphylocoque (*Staphylococcus aureus*), contrairement à la maladie du charbon, causée par *Bacillus anthracis*.