

Si belle et si fragile

Voici mon deuxième article consacré aux dérèglements climatiques. Dans le premier, je brosse un historique des observations et des travaux scientifiques qui nous ont amené à prendre conscience que nous vivons dans une atmosphère où les gaz à effet de serre (GES) jouent un rôle clé dans le maintien de la vie sur terre et que notre écosystème physique (terre - océans - atmosphère) est un système délicat finement réglé. Parallèlement à une augmentation du dioxyde de carbone (CO₂), nous assistons à une augmentation de la température terrestre, première manifestation de nombreuses perturbations qui se font sentir dans notre écosystème physique.

Dans mon premier article, nous avons couvert les changements qui surviennent à la banquise polaire et au Groenland. Les autres régions froides, les glaciers, l'Antarctique et le pergélisol ne sont pas en reste. Ils sont l'objet du présent article.

Si vous n'avez pas lu l'article précédent, je vous invite à le faire, voici le [lien](#).

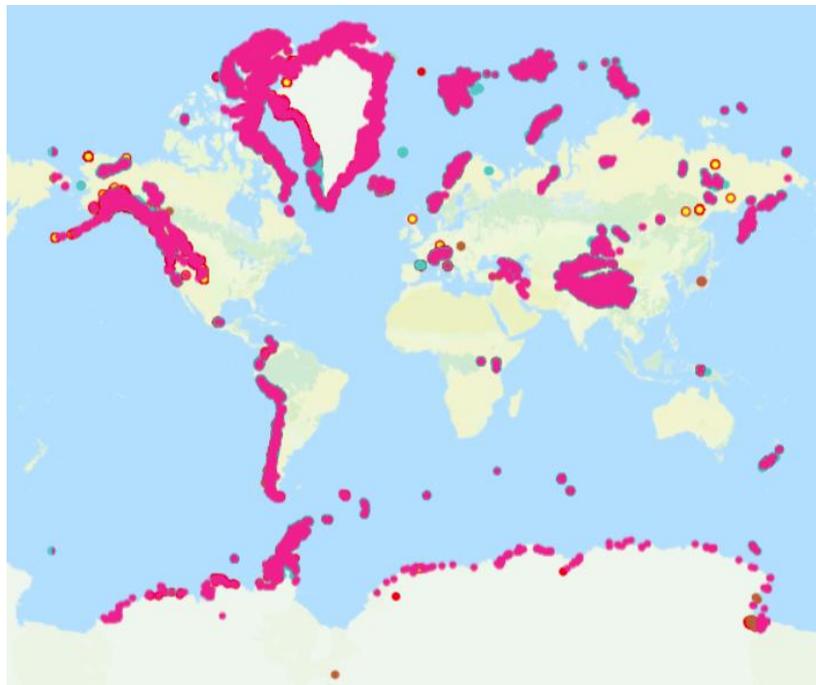
Bonne lecture ☺.

Les glaciers

« Dans le monde, les montagnes sont plus importantes que jamais : elles occupent près d'un quart de la surface terrestre et sont le foyer d'un quart de toute la population humaine. »¹. Et qui dit montagnes dit glaciers.

« Un glacier est une masse de glace plus ou moins étendue qui se forme par le tassement de couches de neige accumulées. Écrasée sous son propre poids, la neige expulse progressivement l'air qu'elle contient, se soude en une masse compacte et se transforme en glace. »²

Le [World Glacier Monitoring Service](http://www.glims.org) coordonne les efforts de nombreuses organisations et dissémine des données normalisées sur l'état des glaciers. Dans un climat stable, l'apport en précipitations est en équilibre avec la fonte de sorte que l'étendue du glacier est essentiellement constante si ce n'est des inévitables variations annuelles. Répartis dans le monde entier sauf en Australie, les quelque 130 000 glaciers forment autant de précieux thermomètres qui nous renseignent sur la température de la Terre. Ils deviennent ainsi autant de canaris dans la mine. La carte ci-dessous illustre leur distribution géographique (en rouge). Pour visualiser la carte originale en haute définition et interactive, cliquez sur le lien suivant : <http://www.glims.org/maps/gtng>.

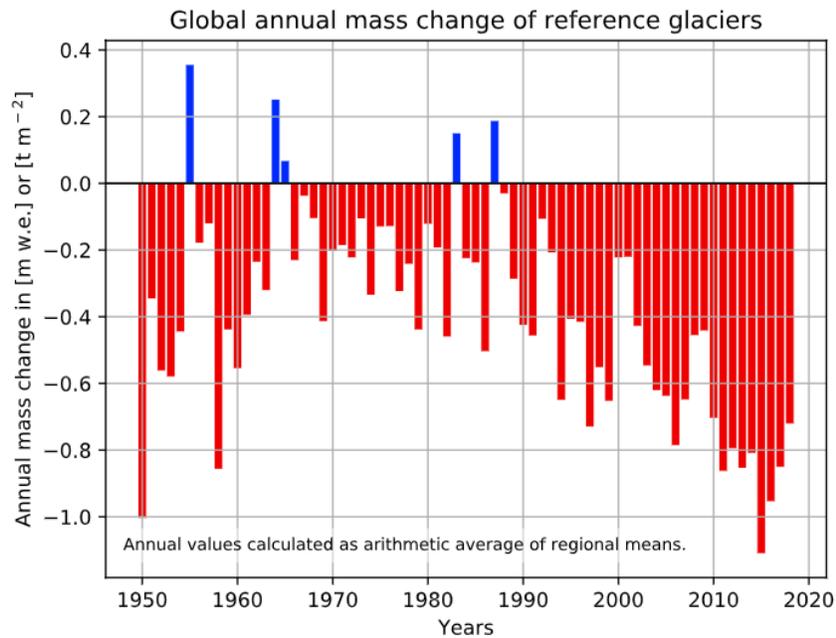


Source : <http://www.glims.org/maps/gtng>

¹ <http://parkscanadahistory.com/publications/acc/sotm-f-2018.pdf>

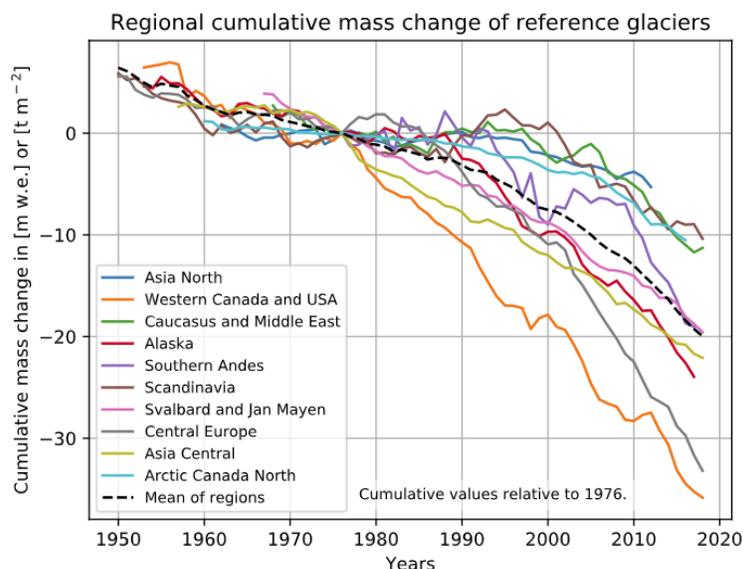
² <https://www.rncan.gc.ca/sciences-terre/sciences/pergelisol-glace-neige/glaciers/10918>

Pour mieux comprendre les glaciers, visionnez cette [brève vidéo](#) (moins de quatre minutes). Le graphique ci-dessous nous permet de constater qu'il y a une perte nette de glace (barres rouges) depuis 1950 et que la chose est encore plus marquée depuis une quinzaine d'années. Le graphique est basé sur les mesures effectuées sur 41 glaciers de référence³ pour lesquels nous disposons de plus de 30 ans de données consécutives depuis 1950. La perte, continue depuis 1988, est affichée en tonnes / mètres². Dit autrement, 1 tonne / mètre² équivaut à une fonte de 1,1 mètre d'épaisseur de glace. La conclusion? L'ensemble des glaciers a perdu collectivement l'équivalent de près d'un mètre d'épaisseur de glace sur l'ensemble de leur surface depuis 2011.



Cet autre graphique, ci-dessous, illustre les pertes relatives des glaciers par région.

³ La liste des 41 glaciers apparaît ici : https://wgms.ch/products_ref_glaciers/



Les glaciers de l'Amérique du Nord

Dans le graphique ci-dessus, on notera une accélération marquée de ces pertes un peu partout dans les vingt à trente dernières années. Elles sont particulièrement élevées dans l'ouest du Canada et des États-Unis (la courbe en jaune) depuis quatre décennies et excèdent maintenant 30 tonnes / m² annuellement. Cette [étude](#) précise que la perte de glace a été multipliée par quatre dans la décennie 2009 - 2018 par rapport à celle de 2000 - 2009 et qu'une partie de cette hausse marquée est due partiellement à des changements dans la circulation atmosphérique (un point que je couvrirai dans mon prochain article). Dans une étude parue en décembre 2018 dont il est co-auteur, le chercheur albertain [Zac Robinson](#) affirme qu'il anticipe une perte de quelque 80 % de l'étendue des glaciers de Colombie-Britannique et d'Alberta d'ici cinquante ans. L'impact sur l'environnement physique et les écosystèmes peut être considérable comme le révèle cet [article](#) où l'écoulement des eaux de fonte du glacier Kaskawulsh au Yukon n'est plus désormais dirigé vers la mer de Bering mais dans le golfe de l'Alaska... tout ça en quatre jours en 2016. Du travail à venir pour les cartographes.

La Colombie-Britannique a connu en [2017](#) et en [2018](#) les deux pires années de son histoire pour ce qui est des feux de forêts et, sans surprise, on assiste à des dommages collatéraux. En effet, cela a laissé de sérieuses traces sur les [glaciers de cet État](#) et même en Alberta. Ils n'ont jamais été autant recouverts de cendres comme on peut le constater sur la photo ci-dessous, ce qui a accéléré leur fonte.



Le scientifique Ben Pelto a passé cinq années à étudier les glaciers. Photo : Margot Vore

Source : <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1145305/feux-de-foret-glaciers-fumee-cendres-rocheusesse-ben-pelto>

Les glaciers de l'Asie

Cet [excellent reportage](#) illustre ce qui se passe dans une autre région du monde, soit à Almaty la plus grande ville du Kazakhstan où l'on dépend du glacier voisin, le Tuyuksu. La longueur de celui-ci est passée de 2,4 km à 1,6 km en une soixantaine d'années. L'alimentation en eau n'est pas un problème dans l'immédiat mais, dans une vingtaine d'années, ce sera très vraisemblablement une préoccupation majeure.

La préoccupation première de nombreux glaciologues est de prévoir quand disparaîtront divers glaciers dans les Rocheuses des États-Unis et du Canada, d'Amérique du Sud et, surtout, ceux de la Chine et de l'Inde car ils sont une source irremplaçable d'eau potable pendant la saison chaude pour des centaines de millions de personnes et les écosystèmes environnants.⁴

Les glaciers du Hindu Kush Himalaya (HKH)

Une étude toute récente (février 2019) lance un véritable cri d'alarme sur la fonte des glaciers de l'Hindou Kouch Himalaya⁵, laquelle est annonciatrice de formidables impacts sociaux,

⁴ <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-glacier-mass-balance> et <https://www.noaaclimate.gov>

⁵ <https://www.nationalgeographic.fr/environnement/la-fonte-des-glaciers-himalayens-menace-des-millions-de-personnes>

et

https://www.lemonde.fr/planete/article/2019/02/04/la-fonte-des-glaces-de-la-region-hindou-kouch-himalaya-menace-les-grands-fleuves-d-asie_5419162_3244.html

économiques, environnementaux et politiques dans une région du globe très densément peuplée. Les hautes montagnes du HKH alimentent dix bassins versants dans les huit pays de l'Icimod⁶ (International Centre for Integrated Mountain Development). Quelque 350 chercheurs et experts divers ont été impliqués dans cette [étude](#) très fouillée. Philippus Wester, qui fut le coordonnateur de la production du rapport, affirme⁷ :

« C'est la crise climatique dont vous n'avez pas entendu parler »

...

Le réchauffement climatique est en voie de transformer les sommets glaciaires de l'HKH, qui traverse huit pays, en rochers dénudés en un peu moins d'un siècle... »

...

« [HKH] est à l'origine des dix grands bassins fluviaux, dont le Gange, le Brahmapoutre et l'Indus en Inde. Deux milliards de personnes en Asie dépendent du HKH pour leurs besoins en eau. »

Voici comment cela se présente, de manière plus détaillée, [l'enjeu](#) de l'eau pour ces pays et leurs bassins fluviaux. À cela s'ajoute la pollution qui réduit l'albédo de ces glaciers, accélère la fonte de la glace et perturbe la circulation de la mousson et la distribution des précipitations en Asie.

On estime que le glacier de Baishui, situé en Chine, est celui qui disparaît le plus rapidement. Il a perdu 60 % de sa masse de glace depuis 1982. Le réchauffement climatique et sa proximité relative avec l'équateur seraient à l'origine de cette perte accélérée.

Les glaciers de l'Antarctique

Je ne peux passer sous silence le plus grand inlandsis de la Terre, soit le très inhospitalier Antarctique⁸, qui fait plus de huit fois la taille du Groenland, dont l'épaisseur de la banquise varie entre deux km à plus de trois km, et où on retrouve de très nombreux glaciers. On connaît très peu de choses sur le comportement de l'inlandsis, on ignore la vitesse à laquelle ces masses de glace glissent vers la mer. Une question à laquelle il faut répondre est la nature du sol sur lequel elle repose. Des chercheurs britanniques ont trouvé [une façon originale](#) pour répondre à cette question en prenant une région de l'Antarctique de l'ouest comme champ d'études. C'était en janvier 2019. Mais un nouvel obstacle se dresse sur leur route... ils doivent fermer temporairement leur base de recherches, pour la deuxième fois depuis 2012, sous la menace imminente du détachement (vêlage) d'un iceberg qui l'emporterait dans la mer. On va la réinstaller plus loin et on espère la rouvrir pour la fin de l'année 2019.⁹

⁶ Afghanistan, Bangladesh, Boutan, Chine, Inde, Myanmar, Népal et Pakistan. Icimod est basé à Katmandou au Népal.

⁷ <https://indianexpress.com/article/india/study-warns-a-third-of-hindu-kush-himalaya-glaciers-will-melt-by-2100-5569164/>

⁸ Pour une carte détaillée de l'Antarctique : [https://cdn.zmescience.com/wp-](https://cdn.zmescience.com/wp-content/uploads/2018/09/merlin_143399853_f1d3ba90-8d8d-479d-a6e3-1cb43a1da996-superJumbo.jpg)

[content/uploads/2018/09/merlin_143399853_f1d3ba90-8d8d-479d-a6e3-1cb43a1da996-superJumbo.jpg](https://cdn.zmescience.com/wp-content/uploads/2018/09/merlin_143399853_f1d3ba90-8d8d-479d-a6e3-1cb43a1da996-superJumbo.jpg)

⁹ https://fr.sputniknews.com/sci_tech/201903031040226356-antarctique-base-britannique-iceberg/

L'impact du réchauffement climatique

On a cru pendant des décennies que ce continent était à l'abri de la fonte car les températures y sont en moyenne beaucoup plus basses, d'environ **30° C plus basses que dans l'Arctique**. De plus, les chutes de neige ont augmenté sur ce continent au XX^e siècle. Cet apport de précipitations additionnelles a contribué à réduire du tiers la hausse du niveau de la mer (suite à l'évaporation de l'eau à l'origine de ces chutes de neige) qui a été causée par la perte de glace de ce continent.¹⁰ Mais il n'y a pas de quoi pavoiser. Le mercure monte de 0,5° C par décennie et l'Antarctique perd une quantité impressionnante de glace, soit quelque 252 milliards de tonnes annuellement depuis une décennie (ce qui est presque autant qu'au Groenland malgré des températures beaucoup plus basses) comparativement à 40 milliards de tonnes dans les années 1980.¹¹ Cela a amené les chercheurs à soupçonner l'eau de mer, plus chaude qu'auparavant, comme facteur important de cette accélération de la fonte, ce qui est maintenant confirmé.

L'importance des barrières de glace

Comme on l'a vu pour le Groenland, les glaciers qui sont sur le continent antarctique bénéficient de la protection d'une barrière de glace qui flotte sur l'eau et qui les protègent contre les vagues qui contribueraient à les affaiblir et à les faire glisser plus rapidement dans l'océan. Ces barrières de glace sont réchauffées par les vagues qui les recouvrent et le mouvement de l'eau qui les grugent par-dessous et les affaiblissent au point de libérer de plus en plus d'icebergs qui, ensuite, partent à la dérive. L'Antarctique de l'Ouest (du côté de la mer de Weddell) semble la région la plus affectée par le réchauffement des océans et de l'air pour le moment.

Les vêlages de faible amplitude ont toujours existé mais ceux auxquels nous assistons ces dernières décennies sont bien plus marqués. Il faut savoir que le réchauffement des océans a un impact beaucoup plus grand que celui de l'air sur la fonte des barrières. Une fois une barrière disparue, le glacier auquel elle était rattachée est beaucoup plus susceptible de glisser dans la mer sous son propre poids. Pour tenir compte du rôle de l'océan dans le vêlage des barrières, on utilise depuis quelques années des drones sous-marins¹² ayant la forme de torpille.

La grande barrière de Larsen

[Kelly Brunt](#), spécialiste en vêlage à la NASA, aime bien utiliser les ongles comme analogie. Si vous abîmez la partie blanche de l'ongle, ce n'est pas grave. Si votre blessure va au-delà, ça

¹⁰ https://fr.sputniknews.com/sci_tech/201812161039323224-antarctique-fonte-glaces-nasa-video/

¹¹ <https://www.franceinter.fr/environnement/la-fonte-des-glaces-en-antarctique-s-accelere>

¹² <https://www.csmonitor.com/Science/2014/1111/Underwater-robot-dolphins-offer-clues-to-Antarctic-melt>

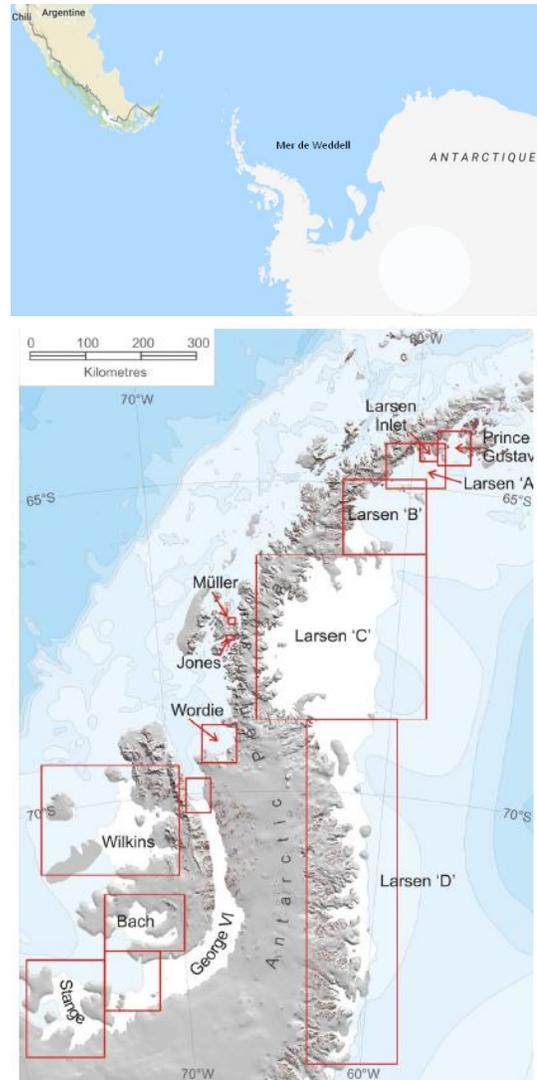
devient plus sérieux. Mais quand vous perdez tout l'angle, là vous avez un problème. C'est ce qui arrive de plus en plus avec les barrières de glace. Aussi, à cause de la topographie des lieux, les barrières de l'Antarctique sont beaucoup plus grandes et épaisses que celles de l'Arctique et mesurent plusieurs milliers de km² plutôt que quelques dizaines ou centaines de km².

Examinons ce qui se passe avec la grande barrière de glace Larsen¹³, divisée en quatre sous-barrières identifiées A - B - C - D (image ci-dessous), du côté de la mer de Weddell.

Source : Google Maps

En janvier 1995, Larsen - A, la plus petite de toutes, se désintègre pendant l'été austral. C'est 1500 km² de glace qui disparaît laissant le glacier associé sans barrière. Larsen - B¹⁴ commence également à se désagréger en 1995 mais il faudra attendre 2002 pour qu'elle se détache complètement, et de [manière fulgurante](#)... en à peine 35 jours, un bloc de 3850 km² faisant 200 m d'épaisseur et représentant 720 milliards de tonnes de glace partira à la dérive. Puisque cette glace était flottante, cela n'a pas affecté le niveau de la mer mais, une fois fondue, elle contribuera à réduire la salinité de l'océan.

Puis ce fut ensuite au tour de Larsen - C¹⁵. En 2010, on note la présence d'une fissure dans la barrière qui s'agrandira jusqu'en juillet 2017. On assistera alors au vêlage d'un iceberg dont l'épaisseur est de 180 m d'épaisseur et la surface de 5 800 km². Larsen-C vient de perdre plus de 12 % de sa barrière. On avait noté que Larsen-C avait été grugée dès les années 1980 et des mesures satellitaires effectuées par radar suggéraient également qu'elle devenait plus mince. Autre observation, celle de mares d'eau à la surface de la barrière, eau qui finit par s'infiltrer dans la glace et affaiblir cette barrière. Larsen-B a probablement subi le même sort.



Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Barri%C3%A8re_de_Larsen

¹³ https://nsidc.org/news/newsroom/larsen_B/1995.html

¹⁴ <https://earthobservatory.nasa.gov/world-of-change/LarsenB>

¹⁵ <https://www.clubic.com/mag/sciences/actualite-833526-antarctique-iceberg-larsen-detache.html> et <https://www.pri.org/stories/2017-07-12/delaware-sized-iceberg-has-broken-west-antarctic-ice-shelf>

Autre barrière... du début des années 1990 à 2009, celle du glacier Wilkins qui faisait initialement 17 400 km² a vu sa taille réduite à 10 300 km² au fil des années. L'année 2008 fut l'occasion d'une perte de 3 600 km².¹⁶ L'île Charcot n'est plus rattachée à la barrière de glace. Et on pourrait continuer...

Ce genre d'événement est de plus en plus fréquent dans l'Antarctique Ouest. Auparavant, il n'y avait pas de consensus parmi les scientifiques sur l'impact de la disparition des barrières de glace sur les glaciers. La question était de savoir jusqu'à quel point elles jouaient un rôle de retenue. La réponse? Les glaciers qui ont perdu leur barrière de glace ont connu une accélération abrupte de perte de glace de 300 %. Alors qu'ils ont perdu entre 2 et 4 gigatonnes entre 1996 et 2000, ce fut entre 22 et 40 gigatonnes en 2006.

Ces importantes pertes de glace en Antarctique de l'Ouest reflètent-elles une nouvelle réalité? Laissons parler Éric Rignot, une sommité dans l'étude de ce continent, et des collaborateurs qui résument bien la situation suite à la publication des résultats de cette recherche publiée récemment (janvier 2019) et dont il est l'un des co-auteurs principaux. Voici une traduction libre d'une partie de ses [commentaires](#) :

« L'Antarctique a connu une perte annuelle de masse de glace six fois plus importante entre 1979 et 2017... C'est juste la pointe de l'iceberg pour ainsi dire... Le rythme de la fonte a considérablement augmenté au cours des quatre dernières décennies. De 1979 à 2001, la moyenne était de 48 gigatonnes (48 milliards de tonnes) par an. Le taux a grimpé de 280 % à 134 gigatonnes pour la période allant de 2001 à 2017. »

Il ajoute :

«... l'une des principales conclusions du projet est la contribution de l'Antarctique de l'Est à la perte totale de masse de glace au cours des dernières décennies.

La région de Wilkes en Antarctique de l'Est a, dans l'ensemble, toujours joué un rôle important dans la perte de masse, dès les années 1980, comme l'ont montré nos recherches. Cette région est probablement plus sensible au changement climatique qu'on ne l'a traditionnellement supposé, et il est important de le savoir, car elle contient encore plus de glace que l'Antarctique occidental et la péninsule antarctique réunis. Les secteurs qui perdent le plus de masse de glace sont ceux adjacents à l'eau chaude de l'océan. Alors que le réchauffement climatique et l'appauvrissement de la couche d'ozone envoient plus de chaleur des océans vers ces secteurs, ceux-ci continueront de contribuer à l'élévation du niveau de la mer depuis l'Antarctique au cours des décennies à venir »

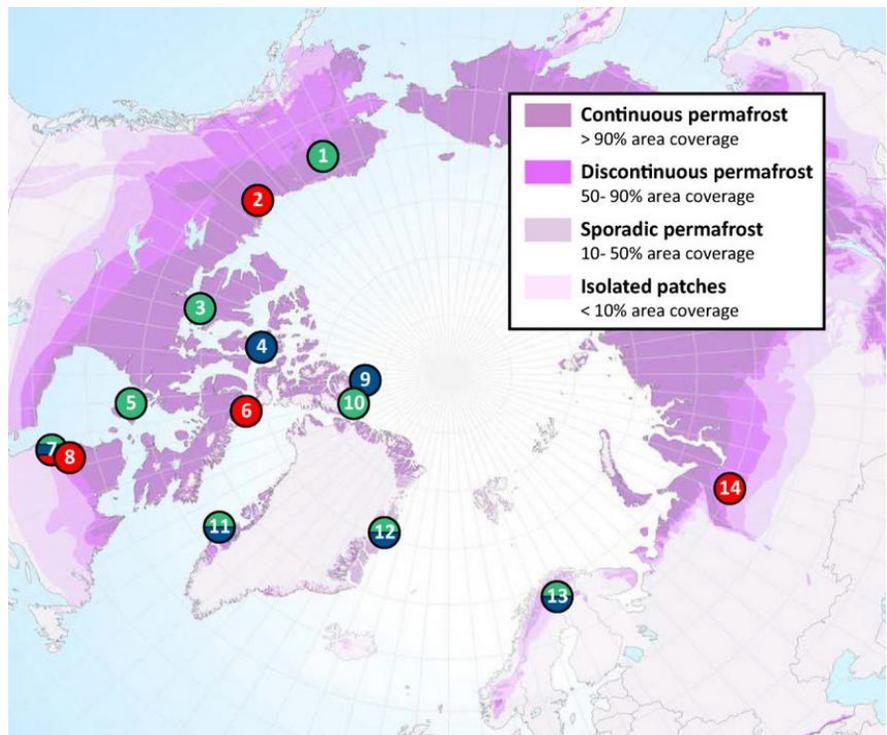
¹⁶ https://nsidc.org/news/newsroom/20090408_Wilkins.html et <https://www.pnas.org/content/116/4/1095>

Terminons avec le glacier Thwaites et l'avenir qui attend l'Antarctique Ouest si rien ne change. Écoutons l'entrevue vidéo d'Éric Rignot dans cet [hyperlien](#) et certains de ses collaborateurs.

L'Antarctique est aussi froid que vaste et il y a encore beaucoup à apprendre sur ce continent. On constate, cependant, qu'il subit déjà les coups de boutoir du réchauffement de notre climat. Mais il n'est pas le seul, le pergélisol nous montre depuis un bon moment sa grande fragilité et c'est ce que nous allons constater dans les prochaines pages.

Le pergélisol^{17,18,19}

Le [pergélisol](#) désigne les sols sous la surface qui restent gelés pendant un minimum d'une année et que l'on retrouve essentiellement dans l'hémisphère Nord. Formé pendant la dernière période glaciaire, il est composé de roches, de gravier, de vase, de matière organique et de glace dont l'épaisseur peut atteindre 700 m. La surface qui dégèle pendant l'été est appelée *couche active*. Il peut y avoir, bien sûr, des différences dans le contenu du pergélisol d'une région à l'autre et son caractère continu décroît lorsqu'on se déplace du nord vers le sud (image ci-dessous).



Source : <https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/lo2.10063>

Environ 20 % de la surface terrestre est recouverte de pergélisol, soit quelque 25 millions de km². On en distingue deux types. Le premier est celui des grands plateaux continentaux comprenant ceux d'Alaska, du Québec, du Canada, du Groenland et du nord de la Russie. Le second est présent dans les chaînes de montagnes à des altitudes supérieures à environ

¹⁷ https://www.encyclopedie-environnement.org/sol/le-permafrost/#_ftnref1

¹⁸ <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8533/->

[Policy%20implications%20of%20warming%20permafrost-2012permafrost.pdf?sequence=3&%3BisAllowed=](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8533/-/Policy%20implications%20of%20warming%20permafrost-2012permafrost.pdf?sequence=3&%3BisAllowed=)

¹⁹ <http://www.wikiwand.com/fr/Perg%C3%A9lisol>

2 500 m. Nous nous intéresserons surtout au premier type compte tenu de son importance relative. En effet, à titre de comparaison, la surface couverte de pergélisol dans les Alpes françaises fait à peine 1 300 km².

Le pergélisol est sous la surveillance de deux réseaux d'observations. Le premier est le *Thermal State of Permafrost (TSP)* qui mesure la température dans le sol à diverses profondeurs dans 860 trous de forage. Le second est le *Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM)* qui mesure l'épaisseur de la couche active à 260 endroits.²⁰

Notre préoccupation concerne la *couche* active, soit celle qui dégèle en saison estivale, et qui rend le sol meuble (pire encore s'il est riche en glace). Son épaisseur varie de quelques dizaines de cm dans l'Arctique plus de trois m en Yakoutie (Sibérie). Historiquement, la couche active gelait complètement pendant la saison hivernale mais c'est de moins en moins le cas. En effet, la hausse des températures due au réchauffement climatique prolonge la saison de fonte, favorise l'évaporation de l'eau, la formation de nuages et des chutes de neige plus abondantes pendant la saison hivernale. Cette neige agit alors comme isolant, ce qui nuit au regel du sol l'automne venu. Qui plus est, la couche active s'épaissit avec les années. Cet épaissement a comme conséquence de réveiller micro-organismes et bactéries congelés depuis des milliers d'années qui se délectent alors de toute la matière organique présente. Cette activité microbienne réchauffe alors cette couche et libère dioxyde de carbone et méthane (CH₄). Or, ce dernier gaz a une capacité, comme gaz à effet de serre, d'être 84 fois plus importante que le CO₂ sur une période de 20 ans et 28 fois plus importante sur 100 ans²¹.

La végétation

Le réchauffement modifie la végétation. Dans l'Arctique québécois et canadien, la toundra herbacée fait place à une toundra arbustive. Une étude toute récente montre que ces arbustes retiennent davantage la neige en hiver limitant le refroidissement de la couche active et favorisant l'activité des micro-organismes qui libèrent CO₂ et CH₄. En même temps, ces arbustes absorbent du CO₂. Quel sera l'impact net? On ne le sait pas encore. On se demande également si le fond de la baie d'Hudson n'est pas recouvert de pergélisol. Puisqu'une image vaut 1 000 mots, je vous invite à visionner cette [vidéo](#) d'une quinzaine de minutes, fort bien faite, qui vous donnera une excellente idée de la réalité du pergélisol dans le nord québécois et canadien. Vous constaterez que cette réalité est fort complexe et qu'il y a amplement matière à préoccuper les scientifiques pour l'avenir.

²⁰ C'est l'IPA (International Permafrost Association) qui coordonne les efforts de ces deux réseaux.

²¹ Rapport du GIEC_WG1AR5, page 730, tableau 8.7; <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>

La libération de CO₂ et de CH₄^{22,23}

La végétation absorbe du CO₂ pendant sa vie active et en libère lors de sa décomposition une fois morte. Dans les régions polaires, la saison estivale est très courte de sorte que tant les végétaux que les animaux qui meurent ne sont souvent pas décomposés à la fin de leur vie. Ce sont ces restes qui se sont accumulés pendant des dizaines de milliers d'années qui forment la matière organique présente dans le pergélisol. Avec le réchauffement climatique, la décomposition de cette matière par activité microbienne va libérer du dioxyde de carbone en présence d'oxygène. Par contre, en milieu anaérobique (sans oxygène), on assistera surtout à la production de méthane. Or, comme le pergélisol regorge d'eau, la matière organique baigne dans l'eau et n'entre généralement pas en contact avec l'air. On le constate très bien dans cette [vidéo](#) où l'on perce un trou dans un lac en Alaska et du méthane s'en échappe. Dans cette autre [vidéo](#), on peut observer les bulles de méthane s'échapper du fond d'un lac. Bref, le réchauffement de notre climat risque d'ajouter une très importante source de méthane au bilan des gaz à effet de serre, contribution que le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) n'a pas pris en compte dans son dernier rapport de 2014. Le GIEC est très conscient de l'importance du CH₄ et la fonte du pergélisol sera couverte dans son prochain rapport en 2022.

Le méthylmercure

Des recherches récentes, [dont celles-ci](#)^{24,25}, indiquent que le pergélisol est profondément perturbé même dans le Haut-Arctique (80° nord). S'ensuivent diverses conséquences, soient celles qui touchent la nature (surtout la végétation) et, là où y vivent des communautés, nos infrastructures. Finalement, ce n'est pas seulement dioxyde de carbone et le méthane qui sont relâchés dans la nature mais aussi du méthylmercure. Le méthylmercure est le nom générique utilisé pour désigner la forme organique la plus toxique du mercure. Naturellement présent dans les sédiments, il est libéré lors des éboulements de pergélisol et se fraie un chemin par ruissellement de l'eau. On a trouvé des concentrations record de 1 200 ng²⁶ / litre. Il reste beaucoup à apprendre sur les conséquences de cette découverte²⁷ mais l'enjeu ici est que, si la fonte du pergélisol persiste et que l'activité microbienne augmente, il y a un risque sérieux d'emballement (rétroaction positive) des émissions de dioxyde de carbone, de méthane et méthylmercure.

²² <https://www.pourlascience.fr/sd/environnement/methane-un-peril-fait-surface-2494.php>

²³ https://www.youtube.com/watch?v=8JOF_sKGzCg

²⁴ <http://www.rcinet.ca/eye-on-the-arctic/2017/03/15/climate-driven-arctic-permafrost-thaw-will-dramatically-alter-northern-landscapes-study/>

²⁵ <https://phys.org/news/2019-05-widespread-permafrost-degradation-high-arctic.html>

²⁶ nanogramme, soit un milliardième de gramme

²⁷ <https://phys.org/news/2018-12-mercury-permafrost-canadian-arctic.html> et

<https://www.nationalgeographic.fr/environnement/mesure-que-larctique-fond-des-tonnes-de-mercure-sont-liberees-dans-latmosphere>

Les infrastructures

Bâtir sur le pergélisol demande beaucoup de précautions. Ce [guide](#) produit, par le gouvernement du Nunavut, indique bien ce qu'il en est pour de simples résidences. Le spécialiste Florent Dominé décrit dans cet [article](#) ce qui se passe dans l'Arctique québécois. En voici un extrait :

« À Umiujaq, la route qui mène à l'aéroport s'est effondrée, se souvient Florent Dominé. À Iqaluit, la plus grande ville du territoire du Nunavut, la piste de l'aéroport a dû être refaite. À Salluit, à l'extrême nord du Québec, la caserne de pompier s'est effondrée. Et dans ce village construit quasiment entièrement sur une zone riche en glace et qui existe depuis des dizaines d'années, on parle de déménager tous les habitants. On en arrive à ces situations qui peuvent être dramatiques pour les populations locales.

En Alaska

L'Alaska est aussi touché. Voici un extrait²⁸ du rapport produit pour le gouvernement des États-Unis en novembre 2018.

« En Alaska, le dégel du pergélisol cause de graves dommages aux routes, aux bâtiments et aux pipelines. Ils seront coûteux à remplacer, surtout dans les régions éloignées de l'État. Les activités pétrolières et gazières de l'Alaska sont vulnérables au dégel du pergélisol, à l'élévation du niveau de la mer et à l'exposition accrue des côtes en raison du déclin de la glace de mer. Cependant, une saison sans glace plus longue peut améliorer les activités énergétiques et le transbordement en mer. On s'attend à ce que ces impacts augmentent avec la poursuite du réchauffement. ».

Voici également un exemple concret de l'impact de la fonte du pergélisol sur un autre type d'infrastructure, soit les [radars militaires](#) en Alaska. Il va en coûter cher juste pour maintenir cette simple activité. Bien plus important sont les changements majeurs à la vie des [120 000 autochtones](#) qui ont de plus en plus de difficulté à reconnaître leur environnement.

En Russie

On ne peut passer sous silence ce qui se passe en Russie (Sibérie) où près des deux-tiers du territoire repose sur le pergélisol. Développé depuis le début du XX^e siècle pour tirer profit des ressources minières, gazières et pétrolières, on y retrouve 40 millions d'habitants. Ici aussi, l'environnement change à grande vitesse. Iakoutsk, la ville la plus peuplée bâtie sur le pergélisol (près de 400 000 habitants) dans la région habitée probablement la plus froide au

²⁸ Traduction de l'auteur, tiré de [NCA4 2018 FullReport \(National Climate Assessment 4\)](#), page 59

monde, écope beaucoup. Bien des défis à relever, chose à laquelle l'État russe n'est pas vraiment prêt :

«... déformation du sol, érosion ultra-rapide des berges de l'océan Arctique, inondations d'eaux noires²⁹, marais et lacs engloutissant les pâturages, « forêts ivres » où les arbres s'inclinent de manière chaotique, réveil de microbes et bactéries centenaires capables de déclencher des épidémies... ».

Ajoutons à cela bien davantage de précipitations et d'inondations :

« Auparavant, le climat continental hyper-sec ne donnait que 40 mm de précipitations par an. « Il arrive aujourd'hui qu'on ait 80 mm en une seule journée», note Valentina Dmitrieva. Résultat: l'intensité des inondations est décuplée. Celles, habituelles, qui accompagnent la fonte des neiges fin mai, accélèrent l'érosion des bords de rivière. Une seconde vague d'inondations survient fin juillet à cause des pluies anormales. Mais le plus terrible, c'est la troisième inondation, fin août. Elle est provoquée par les lacs qui débordent [la Yakoutie en compte plus d'un million] et les eaux noires résultant de la fonte du pergélisol, juste avant le retour de l'hiver. Les habitations n'ont pas le temps de sécher que le gel survient et tout doit être abandonné. »

Depuis 2015, on note la formation de monticules de terre qui apparaissent ici et là dans le nord de la Russie, notamment dans les péninsules de Yamal et de Gydan. On en dénombre présentement environ 7 000. Ces monticules ont commencé à exploser et à libérer de fortes concentrations de CO₂ et de CH₄. Les cratères formés peuvent atteindre 70 m de profondeur. L'explication de loin la plus vraisemblable est la fonte du pergélisol³⁰ et l'accumulation de ces deux gaz sous ces tertres.

Et quel sera l'impact pour les régions plus au sud? On s'attend à ce qu'il soit plus marqué car le pergélisol y est moins froid.

Ce serait coûteux de contrôler le réchauffement de l'Arctique? Cette étude³¹ toute récente (avril 2019) fournit une estimation du coût du laissez-faire que personne ne peut se payer.

Le pergélisol en montagne

Ce qui se passe dans les montagnes est beaucoup plus localisé mais bel et bien présent. La chaleur ne menace pas seulement la persistance des glaciers mais elle fait également fondre le pergélisol, ce qui augmente la fréquence des glissements de terrain et des courants de

²⁹ Les eaux noires proviennent de la matière organique qui se mêle à l'eau.

³⁰ <https://www.novethic.fr/actualite/environnement/climat/isr-rse/le-chiffre-7-000-c-est-le-nombre-de-bulles-de-methane-qui-menacent-d-exploser-en-siberie-144538.html> et <http://siberiantimes.com/science/casestudy/news/n0905-7000-underground-gas-bubbles-poised-to-explode-in-arctic/>

³¹ Un *billion* équivaut à un milliard de milliard. Le [Lien](#) de la publication originale.

débris dans les montagnes. Cet [article](#) de juillet 2011 relate l'évolution des glaciers et les changements majeurs qu'on y constate au fil des ans dans les Alpes suisses suite au réchauffement du climat. En voici quelques extraits :

« La chaleur ne menace pas seulement la persistance des glaciers, elle fait également fondre le pergélisol. On en trouve un exemple au Ritzlihorn, au-dessus de Guttannen. « La région du sommet se trouve en zone de pergélisol, le rocher très fragmenté et mêlé d'insertions de glace devient de plus en plus instable à mesure que les températures augmentent ; un écroulement rocheux s'était déjà produit en 2009 dans le flanc nord-est du Ritzlihorn, accumulant une grande quantité de matériaux meubles », explique le géologue Hansruedi Keusen, membre de la commission des Cabanes. Le 12 août 2010, après de fortes précipitations, une masse mélangée d'éboulis, de rochers et d'eau s'est écoulée en puissante lave torrentielle du Spreitgraben vers la vallée. La galerie de protection de la route du col du Grimsel ainsi qu'une conduite de gaz ont été emportées. »

...

« Un printemps chaud ne promet rien de bon. »

...

« L'enneigement précoce fait fondre le pergélisol. En été, la fonte ne concerne que la couche superficielle (couche active) du pergélisol. Comme le bilan de masse des glaciers, l'épaisseur de la couche trahit le temps qu'il a fait l'année précédente. L'été caniculaire 2003 a laissé des traces nettes : jamais, depuis le début des mesures voici plus de 10 ans, on n'a enregistré de pareilles profondeurs de dégel. À certains endroits où il ne dépasse habituellement pas un mètre, on a mesuré un dégel jusqu'à une profondeur de 2,5 mètres. Le record a été relevé au Schilthorn avec presque 9 mètres, alors que la profondeur n'atteignait que 4,5 à 5 mètres les années précédentes. Il est facile d'en déduire que des modifications aussi massives de la couche de dégel, et donc de la teneur en glace du permafrost, auront de lourdes conséquences. Il ne s'agit pas que des dangers naturels, comme mentionné plus haut à propos du Ritzlihorn, mais aussi des impacts sur la construction et l'entretien des infrastructures de haute montagne, comme les cabanes, les stations de chemins de fer, téléphériques et remontées mécaniques, les pare-avalanches et les routes.

Les communautés situées à proximité de ces glaciers sont, malheureusement, des témoins privilégiés des changements qui surviennent suite à ces perturbations climatiques. La commune de [Guttannen](#) dans le canton de Berne, voisin du Ritzlihorn, est l'une de ces communautés.

Le prochain article

L'essentiel de mon troisième article portera sur les modifications à la circulation atmosphérique et sur les océans. Et il y a beaucoup à dire sur les océans et l'impact sur eux du réchauffement terrestre.

À bientôt... R.M.