

## Aux millions de [Greta Thunberg](#) du monde

### La Terre, si belle et si fragile

par Robert Mailhot

Si belle et si fragile? Je ne peux penser qu'à la Terre, notre demeure, la seule que nous ayons. Un joyau dans un écrin de la taille de l'Univers... Mais notre Terre est malade et les scientifiques, tels des médecins au chevet d'un malade, l'observent et l'auscultent depuis des décennies. Le diagnostic est posé et le traitement à suivre connu mais nous tardons à l'appliquer. Le temps presse toutefois, il ne suffit pas d'écouter les messages qu'Elle nous envoie, il nous faut agir. Heureusement, je sens depuis un an un vent rafraîchissant en poupe. Mais tout n'est pas nécessairement joué.

Est-il trop tard pour contrer les dérèglements climatiques dont nous sommes témoins car, pour peu qu'on laisse parler la Science, leur origine anthropique ne fait aucun doute. Avant de répondre à cette question, brosons un tour d'horizon pour mieux comprendre ce qui est arrivé à notre Terre et comment, en tant qu'espèce, nous avons laissé les choses se dégrader aussi rapidement.

#### La découverte du réchauffement climatique<sup>1</sup>

Le mathématicien et physicien français Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768 - 1830), dont le nom est connu de tous les physiciens, mathématiciens et ingénieurs, s'est [interrogé](#) sur les mécanismes qui expliquent la stabilité de la température terrestre. Puisque le soleil réchauffe la terre, la température devrait augmenter à moins que la chaleur absorbée ne retourne dans l'atmosphère et dans l'espace. Mais si toute cette chaleur était ainsi perdue, l'apport d'énergie du soleil serait nul et la serait terre glaciale et inhabitable. L'atmosphère doit donc bloquer partiellement l'énergie du soleil absorbée par la terre et réémise ensuite sous forme de chaleur maintenant la température terrestre en équilibre. Il s'est inspiré de l'expérience du Suisse Horace-Benedict de Saussure<sup>2</sup> (1740 - 1799) des caisses de verre emboîtées qui ont permis à ce dernier de mettre en évidence ce qu'on appellera l'effet de serre.

Mais l'approche de Fourier ne sera que qualitative. On doit au physicien français Claude Servais Matthias Pouillet<sup>3</sup> (1790 - 1868) une contribution majeure consistant à mesurer en 1838, la constante solaire et à obtenir la valeur de  $1228 \text{ W / m}^2$ , soit une valeur inférieure de 10 % à la valeur mesurée aujourd'hui ( $1361 \text{ W / m}^2$ ), remarquable accomplissement pour l'époque. Pouillet a également déterminé l'absorption du rayonnement solaire par l'atmosphère.

---

<sup>1</sup> L'Humanité et le Temps [qu'il fait], Le réchauffement climatique, Richard Verret, édition privée, tirage limité.

<sup>2</sup> <http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/histoire-effet-de-serre.xml>

<sup>3</sup> Jean-Louis Dufresne. La détermination de la constante solaire par Claude Pouillet. La Météorologie, Météo et Climat, 2008, pp.36-43. (<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00423480/document>)

Nous sommes redevables à [Eunice Foote](#), d'avoir fait la démonstration de l'effet de serre sur différents gaz (hydrogène, oxygène, air et CO<sub>2</sub>). Dans un article de deux pages lu par Joseph Henry<sup>4</sup> le 23 août 1856, on apprendra que le dioxyde de carbone s'avérera le plus puissant gaz à effet de serre du groupe.

Quelques années plus tard, en 1859, l'Irlandais [John Tyndall](#) identifiera la vapeur d'eau comme étant le principal gaz à effet de serre dans l'atmosphère compte tenu de son abondance par rapport au CO<sub>2</sub>.

Les pièces du casse-tête se mettaient en place et le physicien français André Monchot résumera bien la situation en écrivant en 1869 : « *La Terre n'est, à vrai dire, qu'une vaste serre chaude relativement aux espaces célestes* »<sup>5</sup>.

Le chimiste suédois [Svante Arrhenius](#) (1859 - 1927), prix Nobel de chimie 1903, apportera une contribution importante en faisant le lien entre le CO<sub>2</sub> et le réchauffement climatique. Il établit une relation directe entre l'augmentation de dioxyde de carbone et la combustion de charbon, très utilisé de son temps, et éventuellement de pétrole. Sa conclusion? doubler la concentration de CO<sub>2</sub> augmenterait la température à la surface de la terre d'environ 5° C.

## **La conscience environnementale**

On ne peut pas vraiment parler de conscience environnementale au XIX<sup>e</sup> siècle ni dans la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle. C'était l'époque de l'industrialisation accélérée, de la puissance des États et du prestige qu'ils tiraient de leurs réalisations. Un bel exemple jusqu'aux années 1920 est celui des paquebots. On mesurait le prestige qu'ils apportaient au nombre de cheminées, jusqu'à quatre sauf exception, qui crachaient la noire fumée de la combustion du charbon. Au besoin, on installait des cheminées factices pour donner le change. Sans le savoir, on faisait de la pollution un indicateur de puissance. Bref, on avait l'impression que les ressources de la Terre étaient illimitées et on n'y voyait pas de problème.

## **Un survol de 1960 à nos jours**

### **La pollution chimique**

On doit à la biologiste états-unienne [Rachel Carson](#) une fière chandelle pour la publication de son livre « *Silent Spring* » (« Printemps silencieux », en version française) en 1962. Dans cet ouvrage, elle s'en prend aux effets des pesticides dans l'environnement, notamment au DDT. Si ce dernier est très efficace pour éradiquer les insectes vecteurs de maladies dévastatrices (ex. : paludisme et typhus), il tue bien d'autres espèces d'insectes et amincit la coquille des œufs d'oiseaux provoquant une réduction marquée des populations d'oiseaux là où il est épandu. Elle a critiqué la désinformation de l'industrie chimique et la complaisance des

---

<sup>4</sup> Le sexisme de l'époque a empêché Eunice Foote de faire la présentation elle-même. Henry lui en donnera tout de même le crédit.

<sup>5</sup> *La Chaleur solaire et ses applications*, en 1869 (2<sup>ème</sup> édition en 1879, réédition Albert Blanchard, 1980), cité dans <http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/histoire-effet-de-serre.xml>

gouvernements envers celle-ci. Il n'a pas fallu longtemps avant que cette puissante industrie cherche à la discréditer. Son livre a connu un franc succès et a provoqué une prise de conscience dans la population comme auprès du gouvernement fédéral des États-Unis sur les dommages que nous causons à l'environnement. On n'hésite pas à affirmer que la publication de son livre a marqué le début du mouvement écologique.

### **La destruction de la couche d'ozone**

Les chimistes Paul J. Crutzen, Mario J. Molina et Frank Sherwood Rowland lancent un autre signal d'alarme au début des années 1970. Leurs travaux les amènent à conclure que les CFC (chlorofluorocarbones) que nous utilisons, notamment dans les climatiseurs, détruisent la couche d'ozone. L'industrie chimique états-unienne réagit féroce pour discréditer leurs travaux mais la science finit par l'emporter. L'Académie nationale des Sciences des États-Unis reconnaît leurs travaux en 1976 et les CFC seront bannis en 1978. Le [protocole de Montréal](#), ratifié en septembre 1987, deviendra la première entente internationale à portée environnementale. Dans cette entente qui sera amendée à plusieurs reprises dans les années à venir, on s'entend pour bannir les CFC et d'autres substances nocives pour la couche d'ozone.

Bonne nouvelle, même si on estime qu'il faudra quelques décennies pour y arriver, on assiste au rétablissement de celle-ci. On décernera le prix Nobel de chimie à Crutzen, Molina et Sherwood Rowland en 1995. L'humanité n'avait pas le choix de réagir ici car, sans couche d'ozone protectrice contre les rayons UV, on aurait assisté à de graves problèmes de santé publique (glaucome, cancer de la peau, etc.) sans compter les impacts totalement dévastateurs sur les espèces végétales et autres espèces animales. Bref, tout l'écosystème terrestre aurait écopé. Ici, tout les pays étaient aux premières loges pour en subir les effets néfastes, ce qui a facilité la coopération et la mise en place d'une solution efficace. De plus, la solution passait par le bannissement d'un nombre limité de produits pour lesquels on a rapidement trouvé des produits de remplacements.

### **Les précipitations acides**

À la même époque, on prend conscience des [précipitations acides](#), un autre problème majeur répandu dans le monde entier à des degrés divers et provenant essentiellement de la combustion des carburants fossiles. Dans le nord-est de l'Amérique du Nord, elles sont dévastatrices pour les lacs et leur faune ichtyologique de même que pour les arbres. L'érable à sucre et, directement, la production du sirop d'érable est particulièrement touché au Québec et ailleurs dans les États producteurs voisins. Cette acidification des précipitations prend son origine dans l'industrie sidérurgique très polluante en provenance des régions industrialisées du sud de l'Ontario et, surtout, des États aux sud des Grands Lacs et des carburants fossiles brûlés par les véhicules. Les vents dominants font en sorte que l'Ontario, le Québec et les États fédérés de l'Atlantique (Nouveau-Brunswick, Nouvelle-Écosse, Île-du-Prince-Édouard et Terre-Neuve) sont touchés par toute cette pollution. [La Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière signée en 1979](#) et entrée en vigueur en 1983 fut la première d'une suite d'ententes qui ont contribué à gérer ce problème au fil des décennies. Mais ce

problème que l'on croyait résolu revient nous hanter en 2006 et, cette fois-ci, c'est le nord du Québec dont la Baie James, qui est touché, « *gracieuseté* » [des sables bitumineux](#) et de l'activité gazière et pétrolière accrue des États fédérés des Maritimes. Or, ces écosystèmes à des latitudes plus élevées et dans des régions plus froides sont fragiles. Notons que les États fédérés de l'ouest, Alberta et Saskatchewan notamment, subissent également les contrecoups de la pollution qu'ils génèrent.

## **Le réchauffement climatique**

### **La mesure du CO<sub>2</sub>**

La Science met au premier plan l'augmentation du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère comme source principale du dérèglement climatique. Heureusement, nous mesurons la concentration de ce gaz depuis 1957 au pôle sud et depuis 1958 au sommet du Mauna Loa (Hawaï) à 3 400 mètres d'altitude; nous disposons donc de données fiables. À ces stations, bien d'autres se sont ajoutées depuis ce temps de sorte que nous disposons d'un réseau d'observations de grande qualité. Les satellites sont aussi mis à contribution. En juillet 2014, la NASA a lancé son premier satellite dédié à l'observation et à la mesure du CO<sub>2</sub> atmosphérique à partir de l'espace, le OCO-2 ([Orbiting Carbon Observatory 2](#)) et, en 2021, le C.N.E.S. (Centre national des études spatiales) assurera la relève avec le microsatellite [Microcarb](#) dont le « *spectromètre à réseau, sera capable de mesurer la concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub> sur l'ensemble du globe avec une grande précision (de l'ordre de 1 ppm) et sur un pixel de base rectangulaire de 4,5 km sur 9 km.* »

Pour mieux comprendre la complexité du déplacement du dioxyde de carbone dans l'atmosphère, visionnez cette [vidéo](#) de la NASA qui montre une simulation du déplacement du dioxyde de carbone dans l'atmosphère pendant une période d'un an, soit de septembre 2014 à septembre 2015, à partir d'un modèle sophistiqué alimenté par les observations de CO<sub>2</sub>. En bleu sont les zones où la concentration de CO<sub>2</sub> est plus faible (légèrement) et, en rouge, là où elle est la plus élevée. Sans surprise, le rouge est surtout dans l'hémisphère nord où les sources anthropiques de dioxyde de carbone sont essentiellement situées.

Des études ont été menées par bien des chercheurs dans la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle pour prévoir l'impact du réchauffement climatique sur la Terre. On ne peut passer sous silence la contribution du Biélorussien [Mikhaïl Ivanovich Boudyko](#) (1920 - 2001), certainement l'un des plus réputés climatologues du XX<sup>e</sup> siècle. On lui doit d'avoir quantifié le [bilan radiatif](#)<sup>6</sup> de la terre en 1956 et d'avoir dirigé les travaux d'un collectif qui a produit un atlas de toutes les composantes du bilan radiatif de la terre en 1963. Ce faisant, il a donné ses lettres de noblesse à la climatologie. En 1972, alors que de nombreux scientifiques anticipaient que la terre entraînait dans un cycle de refroidissement du climat, Boudyko est allé à contre-courant en affirmant que, au contraire, la hausse de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère liée à la consommation d'hydrocarbures, entraînerait une hausse des températures. Il nous a aussi mis en garde

---

<sup>6</sup> Ce document a été partiellement déclassifié en 2013.

contre une guerre nucléaire, c'était l'époque de la guerre froide, qui entraînerait un *hiver nucléaire* qui pourrait mener à l'extinction de l'espèce humaine. Il s'est aussi intéressé de près à la contribution anthropique du réchauffement climatique et à diverses conséquences du réchauffement comme le déplacement vers le nord d'espèces végétales normalement présentes à de plus faibles latitudes et l'impact sur l'agriculture.

Vint parallèlement la mobilisation publique. Un avertissement très clair du danger qui nous guette est venu du climatologue [James Hansen](#) qui, en juin 1988, a tiré la sonnette d'alarme lors d'une présentation devant le Sénat des États-Unis. Il y est allé d'un signal très fort sur l'origine anthropique du réchauffement climatique. Il deviendra un activiste environnemental fort dérangeant par la suite et sera même arrêté plus d'une fois lors de manifestations. L'une, particulièrement mémorable, eut lieu en [février 2013](#) alors qu'il dirigeait le principal laboratoire de science climatique de [l'Institut Goddard des études spatiales](#) (Goddard Institute for Space Studies). Il démissionnera de l'Institut deux mois plus tard pour avoir les coudées franches. De nombreux scientifiques lui reprochaient, en tant que scientifique lui-même, de transformer l'enjeu en débat politique.

Mais il faudra du temps avant que le message ne passe. Un énorme travail de sensibilisation nous attendait. Et ce ne sera que le début car on se rendra rapidement compte que le réchauffement n'est que le premier bouleversement qui nous attend.

Au fil des décennies, géophysiciens et climatologues seront plus que jamais en mesure d'établir des corrélations entre les ères glaciaires et la concentration du dioxyde de carbone, les instruments de mesure deviendront plus précis et nombreux que jamais, les satellites nous fourniront des mesures qui couvriront toute la terre, les scientifiques n'auront jamais été aussi nombreux et les moyens de communications jamais aussi puissants. Et la Terre sera en voie de devenir un *village global* pour reprendre l'expression utilisée par Marshall McLuhan. Il ne nous reste qu'à agir.

Dans les années 1980 - 1990, nous utilisons l'expression « réchauffement climatique ». Les gens à qui j'en parlais me disaient alors que, avec nos hivers longs et froids, personne ne se plaindrait d'un léger réchauffement. C'était sans tenir compte qu'une telle hausse modifierait aussi le régime de précipitations un peu partout sur notre planète provoquant, par exemple, sécheresses et inondations. On s'est alors mis à parler de « changements climatiques » plutôt que de réchauffement. Mais, ici aussi, nous n'étions pas parfaitement conscients que l'on serait témoins de davantage d'extrêmes : records de froid, de chaleur, de pluie, de neige, etc. particulièrement observables depuis le début du XXI<sup>e</sup> siècle. On utilise de plus en plus l'expression « dérèglements climatiques », que je ferai mienne ici car nous ne sommes pas passés d'un climat A à un climat B. Nous vivons dans le même climat mais il se *dérègle* de plus en plus.

## La Terre est fiévreuse

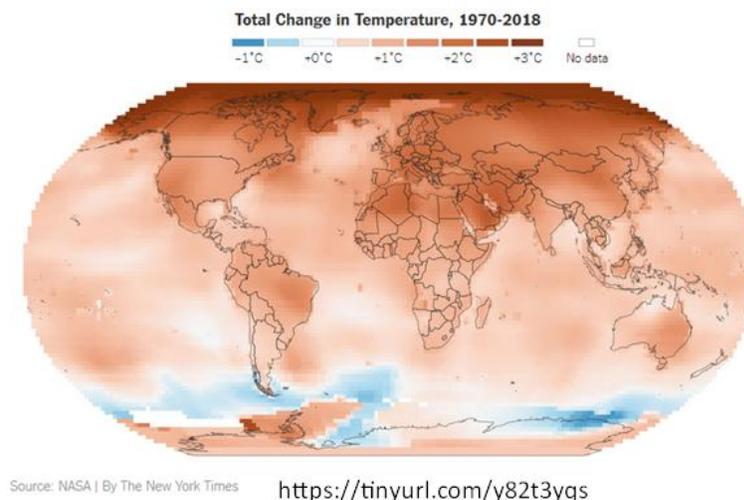
La COP 21 de Paris de décembre 2015 visait un réchauffement climatique à ne pas dépasser pour le XXI<sup>e</sup> siècle de 2° C, voire 1,5° C dans un monde idéal par rapport à l'ère préindustrielle. Ce serait difficile de faire mieux puisque la température moyenne de la surface de la Terre a déjà [augmenté de 1,1° C](#) depuis l'époque préindustrielle et que nous sommes collectivement toujours inconscients. Dans l'Arctique, il approche les 3° C par endroits. À l'aéroport international de Montréal (YUL) situé à mi-chemin entre le pôle Nord et l'équateur, la température moyenne annuelle des vingt-et-une dernières années (1998 - 2018) a augmenté de 1,34° C<sup>7</sup> comparativement à la normale de 1961 - 1990 passant à 7,4° C. Or, la hausse moyenne planétaire de 1,1° C, quoique minime, est déjà à l'origine de bien des bouleversements. Qu'en sera-t-il lorsque nous aurons atteint, voire dépasser 2° C, 3° C ou davantage à l'échelle planétaire? Soyons préoccupés car, ne l'oublions jamais, notre écosystème terrestre n'est pas un système linéaire mais bien un système complexe, ce qui signifie que d'infimes perturbations pourront provoquer de grands changements.

Comment est-ce possible? C'est ce que je vous propose de découvrir ci-dessous en examinant les principales interactions dans notre écosystème physique atmosphère - terre - océans. Nous allons mettre l'accent sur l'hémisphère Nord car c'est là que le réchauffement climatique se fait le plus sentir même si nos observations s'appliquent à toute la terre.

## Les régions polaires

### L'Arctique

Cette [carte de la NASA](#) ci-dessous illustre bien que le réchauffement est le plus marqué dans les régions polaires de l'hémisphère Nord. Examinons d'abord ce qui s'est passé dans l'Arctique depuis 1979, année à partir de laquelle, grâce aux satellites artificiels, nous disposons d'abondantes données.



<sup>7</sup> Statistique compilée par l'auteur

## L'étendue de la banquise

Le site du [NSIDC](#) (National Sea & Ice Data Center) est un incontournable pour quiconque s'intéresse aux régions polaires et autres régions froides (glaciers, pergélisol, etc.). La page d'accueil, mise à jour mensuellement vers le 5 du mois, et parfois plus fréquemment, présente les données du mois qui vient de prendre fin. Elles enrichissent celles recueillies lors des mois et années précédentes jusqu'en 1979. Grâce aux observations satellitaires, on peut suivre l'évolution de la taille de la banquise Arctique.

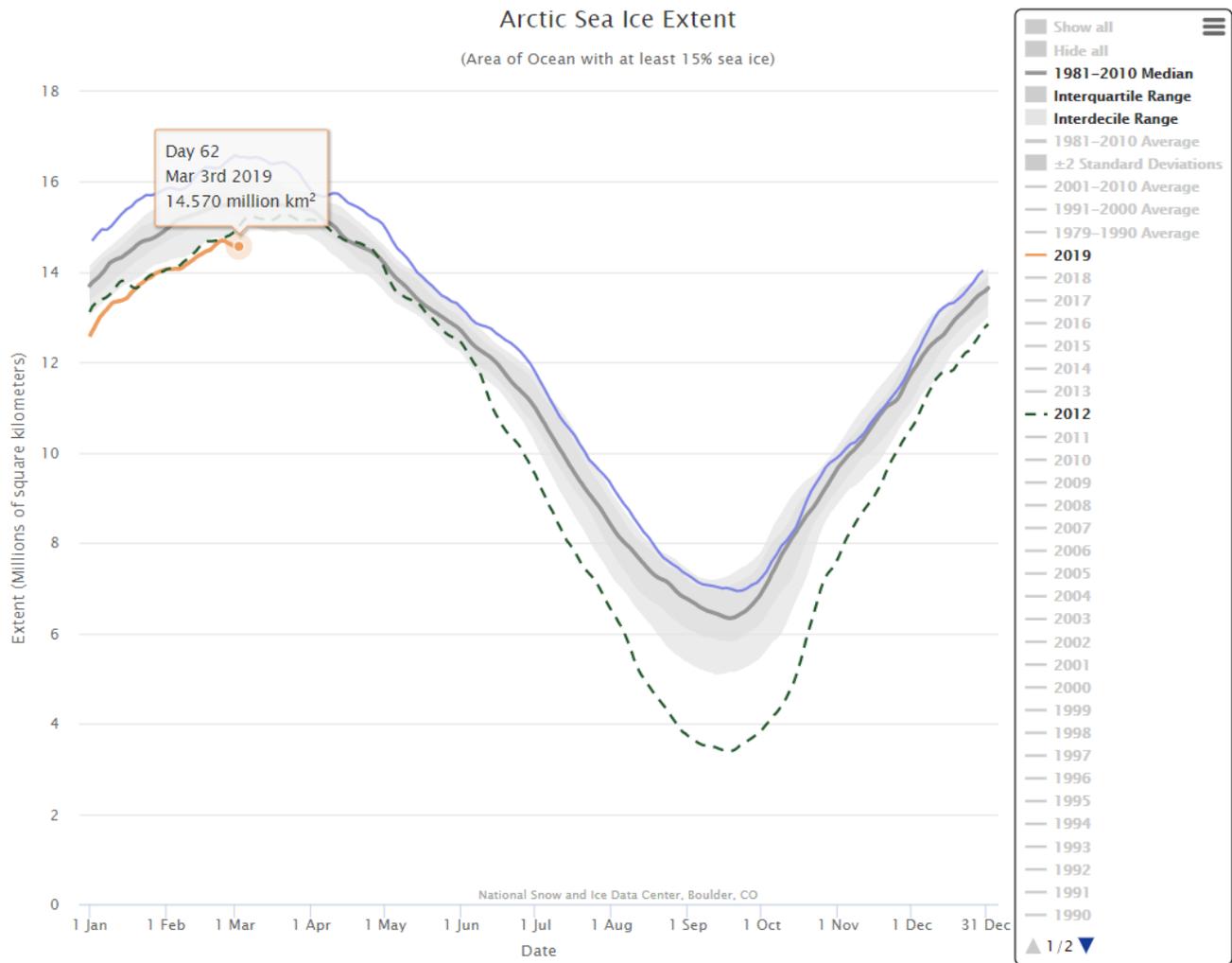
La figure ci-dessous illustre la variation de cette taille. Après avoir atteint une superficie maximale vers la mi-mars, la fonte printanière et estivale fera fondre la banquise jusqu'à la mi-septembre. La ligne gris foncé au centre est la médiane pour la période 1981- 2010, ce qui signifie que la moitié des 40 années se retrouve en haut de cette ligne et l'autre moitié en dessous de cette même ligne. La bande foncée délimite la zone interquartile<sup>8</sup> et la bande plus pâle délimite la zone interdécile<sup>9</sup>. La ligne mauve correspond à l'étendue pour 1979 et la verte tiretée à celle de 2012, année où l'étendue de la banquise Arctique a atteint un minimum. Le 4 mars 2019, la superficie de la banquise était inférieure de 4 millions de km carrés qu'en 1979.

Cliquez [ici](#) pour accéder à l'image interactive où vous pourrez ajouter ou enlever à volonté la courbe de chacune des années de 1979 à aujourd'hui et afficher au jour le jour la taille de la banquise. Comparez l'évolution de ces courbes au fil des ans.

---

<sup>8</sup> La zone interquartile comprend la moitié des 40 cas, soit 10 de chaque côté de la médiane, les plus proches de la médiane.

<sup>9</sup> La zone interdécile comprend 90% des 40 cas, soit 18 de chaque côté de la médiane. On exclut ainsi les cas extrêmes de chaque côté de la médiane.



Source : <https://nsidc.org/arcticseaicenews/charctic-interactive-sea-ice-graph/>

Dans cette même page, on retrouve une autre courbe fort intéressante qui montre la baisse de la couverture de glace pour le mois de février depuis 40 ans; voir aussi le graphique ci-dessous. Il y a, bien sûr, des variations d'une année à l'autre mais la droite tracée<sup>10</sup> indique une décroissance de la taille de la banquise Arctique de 3,0 % par décennie pour ce mois. De plus, l'étendue de « vieille glace » (quatre ans et plus) ne représente plus que 5 % de l'étendue des années 1980.

<sup>10</sup> Droite obtenue par régression linéaire par la méthode des moindres carrés

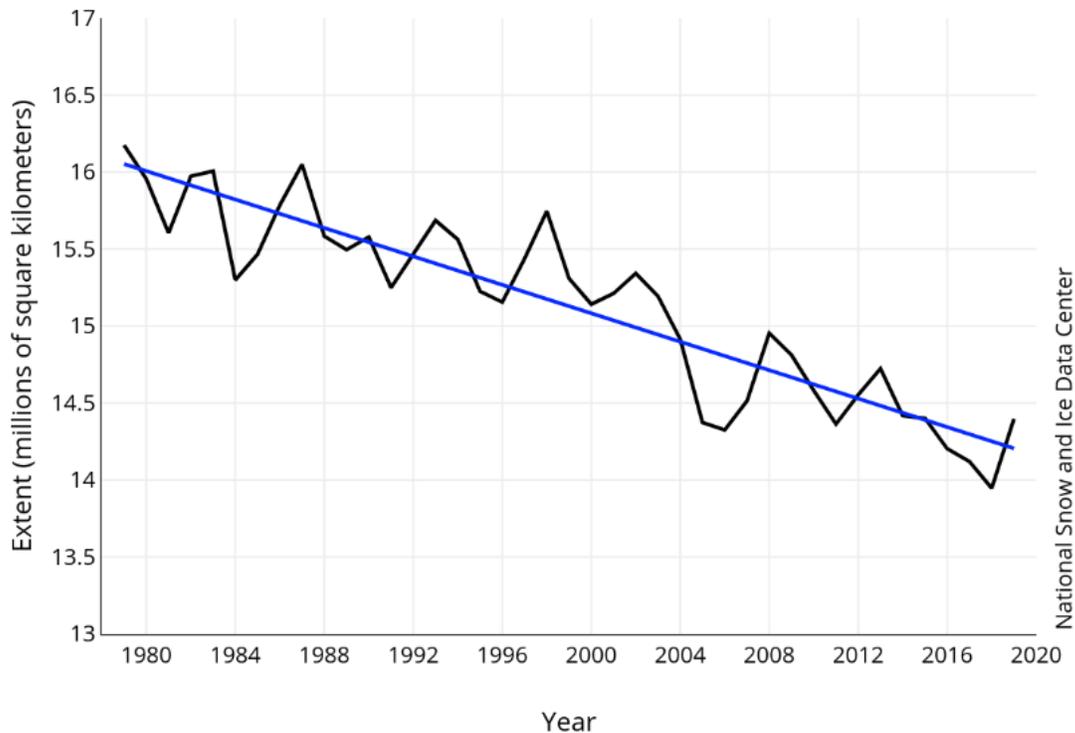
Figure 3. Monthly February ice extent for 1979 to 2019 shows a decline of 3.0 percent per decade.

Credit: National Snow and Ice Data Center

[High-resolution image](#)

[Image 4 of 7 \(play slideshow\)](#) [Download](#)

### Average Monthly Arctic Sea Ice Extent February 1979 - 2019



En cliquant sur « **← Previous** » dans le haut de la page, vous pouvez reculer d'un mois à l'autre et, pour les douze derniers mois (mars 2018 à février 2019), vous obtiendrez le pourcentage de réduction de la banquise par décennie pour chacun des mois de l'année :

janvier :	- 3,3 %
février :	- 3,0 %
mars :	- 2,7 %
avril :	- 2,6 %
mai :	- 2,6 %
juin :	- 4,1 %
juillet :	- 7,2 %
août :	- 10,4 %
septembre :	- 12,8 %
octobre :	- 9,5 %
novembre :	- 5,0 %
décembre :	- 3,7 %

Au taux de décroissance observé, il ne restera que bien peu de la banquise Arctique dans une quinzaine d'années en août et en septembre (19 % et 13 % respectivement) et presque rien dans 20 ans (11 % et 6 % respectivement) peut-être même avant si rien n'est fait pour limiter l'accroissement des gaz à effet de serre.

Ce site regorge de données sur tout ce qui touche les environnements de neige et de glace et je vous encourage à le visiter régulièrement.

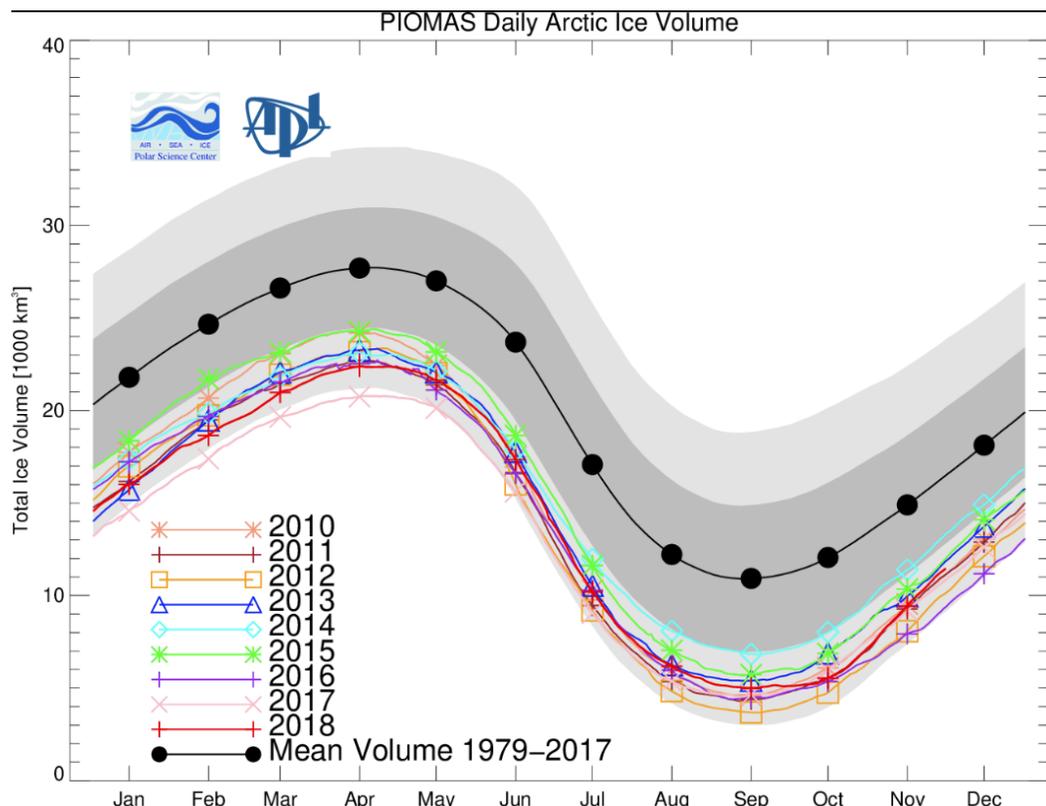
### L'épaisseur de la banquise

Selon vous, chers lectrices et lecteurs, quelle est l'ordre de grandeur de l'épaisseur de la banquise Arctique à son maximum annuel vers la mi-mars?

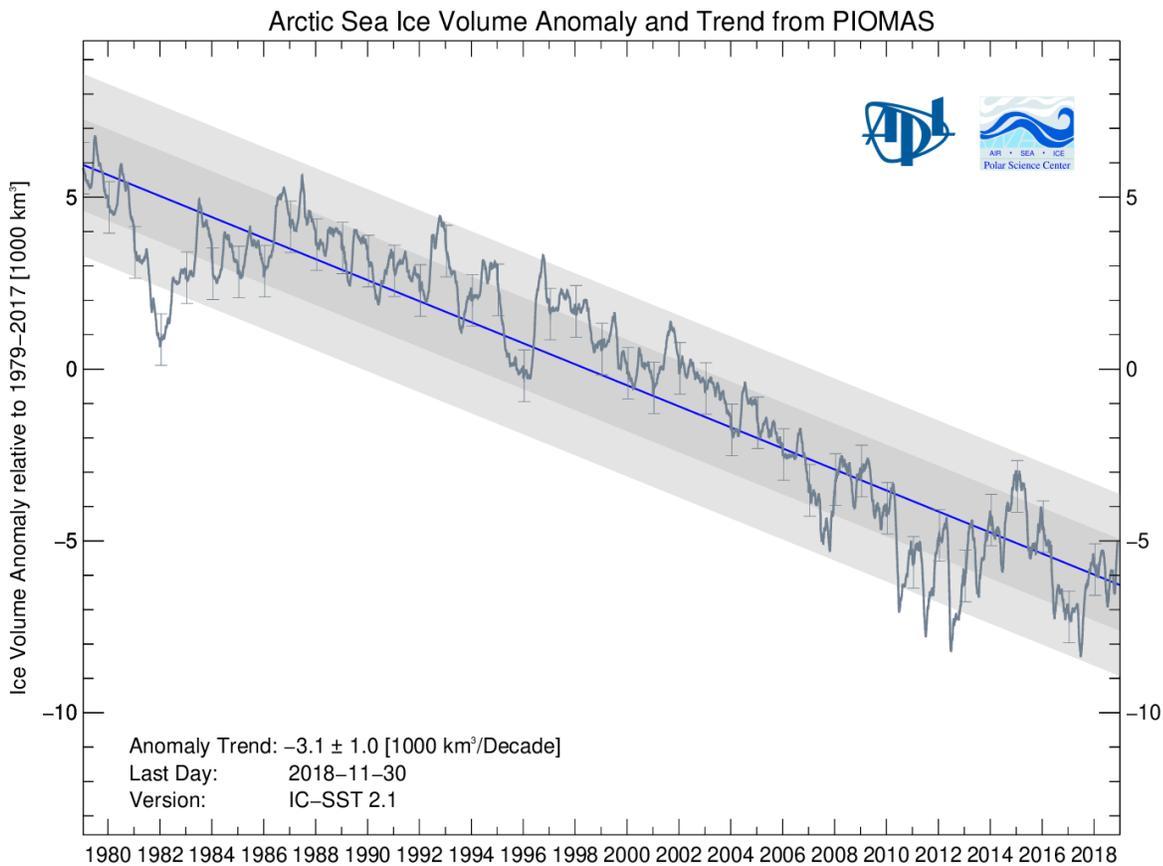
- A) moins de 5 m
- B) de 20 m à 25 m
- C) de 40 m à 50 m
- D) de 100 à 150 m?

La réponse? Dans les paragraphes ci-dessous.

La détermination de l'épaisseur de la banquise Arctique est un exercice autrement plus difficile. Le système d'assimilation et de modélisation [PIOMAS](#) (Pan-Arctic Ice Ocean Modeling and Assimilation System) nous fournit une bonne estimation de l'évolution du volume de glace perdu par la banquise. Dans la figure suivante, on constate que le volume de glace de la dernière décennie est bien inférieur au volume moyen de la période 1979 - 2017 (en noir au centre de la courbe).



Dans cet autre graphique ci-dessous, on note que la perte de glace est de 3,100 km<sup>3</sup> par décennie, ce qui représente le volume moyen d'un cylindre d'un km de diamètre et de 400 km de longueur ou d'un cube de 6,8 km de côté par année. Mais tout modèle requiert des observations pour valider ses prévisions et celles-ci ont été longtemps rares, ponctuelles ou secrètes. Heureusement, la marine des États-Unis a déclassifié les mesures d'épaisseur de la banquise prises par leurs sous-marins de 1958 à 2000. À cela s'ajoutent les données des deux satellites [ICE-Sat 1](#) (2003 - 2010), et [ICESat 2](#) (Ice, Cloud, and land Elevation Satellite) lancé le 15 septembre 2018.



Cet [article](#) du C.N.R.S. (Centre national de la recherche scientifique) de septembre 2009 résume bien nos connaissances à ce moment-là basées sur les observations des sous-marins et du satellite ICESat 1. En voici deux extraits :

« Les données fournies par le satellite ICESat depuis son lancement en 2003 mettent en évidence un amincissement important de la banquise de l'ensemble du bassin arctique dans les années 2000 et particulièrement depuis 2007. Les données sonar des sous-marins révèlent que ce processus avait déjà commencé à la fin des années cinquante avec une ampleur insoupçonnée jusqu'alors. »

...

« A l'échelle de l'océan, les chercheurs<sup>11</sup> ont calculé qu'entre 1980 et 2008, la banquise d'hiver est passée d'une épaisseur de 3,64 à 1,89 m, soit près de 50% de son épaisseur. Au cours de la même période, la banquise estivale a perdu, quant à elle, 1,65 m, soit presque 60% ! »

Nous disposons également, depuis 2010, d'observations provenant du satellite [Cryo-Sat 2](#) de l'Agence spatiale européenne desquelles on infère l'épaisseur de la banquise Arctique. Mais, à défaut d'observations directes et régulières, il est plus difficile d'estimer l'erreur de ces mesures indirectes. Une [étude](#) produite par des chercheurs de l'Université de Calgary en 2017 arrive d'ailleurs à la conclusion que l'épaisseur est surestimée d'environ 11 % et 25 % pour la glace de première année (soit celle qui se forme à l'automne) dont l'épaisseur est de 95 cm et de 70 cm respectivement. Ces mesures corrigées se rapprochent alors de celles obtenues du satellite [SMOS](#) (Soil Moisture and Ocean Salinity).

En mars 2018, le volume de glace de la banquise est estimé à 24 160 km<sup>3</sup> à partir des observations de [Cryo-Sat 2](#). Comme l'étendue est de 14 410 km<sup>2</sup> à cette date, on peut conclure que l'épaisseur moyenne de la banquise est alors de 1,7 m. Un calcul similaire pour septembre 2018, après la fonte estivale, donne une épaisseur moyenne de 0,9 m. La valeur de 1,89 m obtenue par ICESat 1 pour 2008 est très comparable quand on sait que la banquise est devenue encore plus mince dans la dernière décennie.

Bref, l'épaisseur de la banquise arctique ne fait, tout au plus, que quelques mètres d'épaisseur localement au plus fort de l'hiver. La bonne réponse à la question posée ci-haut est donc **A**).

### **Des épisodes très froids en hiver**

Nous avons tous remarqué que, dans l'hémisphère Nord, nous vivons des épisodes très froids ([1](#), [2](#), [3](#), [4](#)). On observe ces épisodes typiquement sur la moitié est de l'Amérique du Nord et sur le nord de l'Europe et de l'Asie. Janvier et février 2019 nous en ont fourni une belle illustration en Amérique du Nord. Ces épisodes sont causés par le vortex polaire qui se scinde en deux ou trois composantes et descend à des latitudes plus basses. Elles couvrent alors ces régions et aspirent l'air très froid de l'Arctique sur l'Amérique de Nord et l'Eurasie. Sont-ils reliés au réchauffement climatique? C'est un fait avéré qu'il y a une corrélation positive entre les deux. Y a-t-il un lien de causalité? Là-dessus, [les scientifiques avancent avec prudence](#) et ne sont pas encore prêts à franchir ce pas. Cet [article](#) du New York Times, avec vidéos à l'appui, illustre très bien ce qui est arrivé au vortex polaire en Amérique du Nord en janvier 2019.

---

<sup>11</sup> Il s'agit de l'étude de [Kwok and Rothrock](#). Elle tient compte des observations des sous-marins (1958 - 2008) et celles de IceSat 1 (2003 - 2007). Cette baisse si draconienne du volume de la glace a surtout touché la glace pluriannuelle.

## **Le Groenland**

Cette île, dont la superficie est quatre fois supérieure celle de la France et fait 40 % de plus que celle du Québec, est un [inlandsis](#) qui recouvre 80 % de la surface du Groenland. L'épaisseur de la couche de glace varie entre deux et trois km. Comme pour la banquise Arctique, le Groenland se réchauffe.

La perte de glace au Groenland tient essentiellement à deux facteurs. Le premier est la perte de gigantesques blocs de glace, des icebergs, provenant des glaciers lorsqu'il y a fracturation de la glace. C'est un phénomène impressionnant. Le second est la fonte de la glace et de la neige, accrue avec la hausse des températures, laquelle provoque une perte de glace par fonte, ruissellement et sublimation. L'albédo plus faible de l'eau, comparativement à celui de la neige ou de la glace, accentue cette perte.

### **Les glaciers du Groenland**

Les glaciers du Groenland s'écoulent vers l'océan par gravité dans un corridor dont la largeur peut atteindre plusieurs kilomètres et la longueur de langue excéder plusieurs dizaines de kilomètres. Cette langue, qui flotte sur l'eau, finit par se fracturer et s'écouler dans l'océan libérant une imposante quantité de glace qui fondra en dérivant dans l'océan. Le réchauffement fragilise la glace et accentue ce phénomène.

La modélisation du comportement des glaciers est très difficile. Comment sont-ils influencés par la température, l'ensoleillement, le vent, les courants océaniques, etc.? Ce sont autant de questions auxquelles nous devons répondre pour prévoir ce qui nous attend dans les prochaines décennies. Grâce aux satellites, nous savons maintenant qu'ils perdent de grandes quantités de glace et pouvons évaluer cette perte.

Voici deux exemples. Le premier est celui du glacier [Petermann](#) dans le nord du Groenland, lequel est surveillé de près. Après un vêlage qui a mené à la séparation d'un iceberg de 210 km<sup>2</sup> en 2010 et d'un second le privant de 147 km<sup>2</sup> en [2012, il s'apprête à perdre une autre quantité importante de glace](#) (janvier 2019) alors qu'on note une fracture 12 km en amont du front glaciaire. Sa langue glaciaire de 70 km de longueur qui flotte dans l'océan Arctique raccourcira d'autant. Le second montre un iceberg qui se détache du [glacier Helheim](#), ou dit autrement, comment ajouter environ 12 milliards de tonnes de glace (d'eau douce) dans l'Atlantique Nord en une demi-heure, soit environ 3 % de la contribution du Groenland à la hausse du niveau de la mer en 2018.

### **La calotte groenlandaise**

La mesure de la perte d'eau par ruissellement n'est pas chose aisée. Comme c'est souvent le cas, nous disposons de trois outils principaux pour quantifier cette perte d'eau : la modélisation, les observations satellitaires (les satellites Grace par exemple - Gravity Recovery and Climate Experiment), et les expéditions in situ effectuées en été. Les mesures effectuées

sur le terrain permettent de valider les valeurs calculées par les modèles à partir des observations satellitaires et aussi de faire des découvertes. Cet excellent [reportage du New York Times](#) décrit très bien le processus qui mènent au ruissellement de l'eau de fonte jusqu'à l'océan tout en nous faisant partager les dangers et les difficultés de telles aventures scientifiques.

Les surprises ne manquent pas au Groenland. On a découvert ces dernières années des [nappes d'eau](#) sous la surface qui restent à l'état liquide toute l'année. En 2014, on a trouvé fortuitement une autre [nappe aquifère](#) de la taille de l'Irlande sous la surface à la fin de l'hiver avant la fonte printanière. Comment de telles quantités d'eau peuvent-elles subsister tout l'hiver à l'état liquide sous la glace? Une hypothèse serait qu'une partie de l'eau de fonte se faufile sous la surface et s'y retrouverait piégée dans les cristaux de glace. La conséquence? Le Groenland perdrait moins d'eau par ruissellement que prévu. Autre possibilité évoquée, cette eau pourrait agir comme lubrifiant et accélérer le vèlage des glaciers. Des mystères auxquels nous n'avons pas encore de réponse.

Ce sont les équipes sur le terrain qui permettent de faire des découvertes comme celle de la [rétention d'eau dans la glace](#), rétention non négligeable qui a comme conséquence une réduction du ruissellement, un autre facteur à considérer. On tient aussi compte du bio albédo, soit la contribution des microorganismes qui croissent dans la glace, assombrissent sa surface et influencent la fonte. Enfin, une [étude publiée en janvier 2019](#) avance que la fonte de la glace au Groenland est quatre fois supérieure en 2012 (année record) qu'en 2003 et cela, dans une région où il y a peu de glaciers.

Au Canada, environ 90 % des icebergs qui atteignent les eaux canadiennes proviennent de la partie ouest du Groenland. On en recense de [10 000 à 40 000 par année de taille variable](#).

### *La mission [Black and Bloom](#)*

Le Groenland n'est pas partout recouvert de belle glace ou neige blanches pendant la période de fonte annuelle. À certains endroits, la surface semble noire et, ailleurs, prend une teinte rosée, ce qui change l'albédo et accélère la perte de glace. Cette couleur sombre est due aux dépôts des produits de combustion des carburants fossiles en hiver alors qu'elle semble principalement attribuable aux feux de forêts et à la combustion de biomasse en été. Le rouge origine des algues rouges et de bactéries (bio albédo) qui, de manière surprenante, prolifèrent dans l'eau de fonte et même dans la glace de surface. Il reste beaucoup de travail à faire pour évaluer la contribution de ce phénomène à la fonte de la glace du Groenland mais, pour le moment, on l'estime à 13 %. Notez que cette contribution provenant des algues n'est pas propre au Groenland. Aussi, ce phénomène n'a pas été considéré dans le rapport du GIEC de 2013.

Si bien des choses nous échappent sur ce qui se passe sur cette île, il y a des observations qui parlent clairement. Par exemple, la température y a augmenté de 1,8° C en été et 3° C en hiver de sorte qu'[il y pleut de plus en plus](#) favorisant la fonte et le ruissellement. De plus, on

observe des [épisodes de températures anormalement élevées](#) en Arctique et au Groenland qu'on n'avait jamais vu auparavant. Faut-il s'en étonner vraiment? On sait que le vortex polaire qui avait l'habitude historiquement de maintenir l'Arctique *bien au frais* pendant l'hiver fait des incursions de plus en plus fréquentes sur le nord de l'Amérique du Nord et l'Europe. Par quoi l'air glacial qui est pompé sur ces deux continents est-il remplacé en Arctique? Par de l'air plus doux provenant des latitudes plus basses. Ce qui étonne et effraie les spécialistes n'est pas que cela se produise mais qu'on l'observe si tôt au XXI<sup>e</sup> siècle.

La conclusion ? Il nous reste énormément à apprendre et à comprendre du comportement des glaciers et de l'inlandsis du Groenland. Retenons que, pour le moment, la perte d'eau est présentement estimée à quelque 280 milliards de tonnes métriques par année, ce qui représente le volume d'un cube de 65 km de côté. On évalue à 70 % la proportion provenant de l'inlandsis sous une forme ou sous une autre (fonte, ruissellement et sublimation) et 30 % des icebergs qui se détachent des glaciers. Cette perte n'est pas sans conséquences comme on le verra dans mon deuxième article.

### En résumé

La production de CO<sub>2</sub> d'origine anthropique provenant de certaines activités agricoles et, surtout, de la combustion de carburants fossiles entraîne un réchauffement de l'atmosphère qui se fait sentir de façon plus marquée dans les régions polaires de l'hémisphère Nord. Il en découle...

a) lié à la banquise arctique :

1. la fonte graduelle et, éventuellement, la disparition de la banquise;
2. une baisse de l'albédo dans la région, ce qui accentue la hausse des températures;
3. une baisse de la salinité de l'eau de mer suite à l'ajout d'eau douce;
4. une augmentation de la nébulosité et des précipitations dans les régions autour de l'Arctique augmentant le débit des fleuves se déversant dans l'océan Arctique et en réduisant davantage la salinité.
5. Une modification du régime des vents en altitude, des trajectoires des systèmes météorologiques et du type, de la durée et de l'intensité des précipitations.
6. La fonte du pergélisol et la libération de méthane, un très puissant gaz à effet de serre, que je couvrirai dans mon prochain article.

La fonte de la banquise ne causera pas une hausse du niveau de la mer puisqu'il s'agit de glace flottante. Pour s'en convaincre, il suffit de mesurer la hauteur du niveau de l'eau dans un verre dans lequel on aura versé de l'eau et ajouté un cube de glace et de reprendre la mesure une fois la glace fondue. Vous ne verrez pas de différence de hauteur.

b) lié au Groenland :

1. Une hausse du niveau de la mer suite à l'ajout d'eau provenant de l'inlandsis;
2. Une importante baisse de la salinité au large et au sud du Groenland qui ne sera pas sans conséquences importantes.
3. Une modification du régime des vents en altitude, des trajectoires des systèmes météorologiques et du type, de la durée et de l'intensité des précipitations.
4. La fonte du pergélisol et la libération de méthane, un très puissant gaz à effet de serre.

...

À très bientôt... R. M.