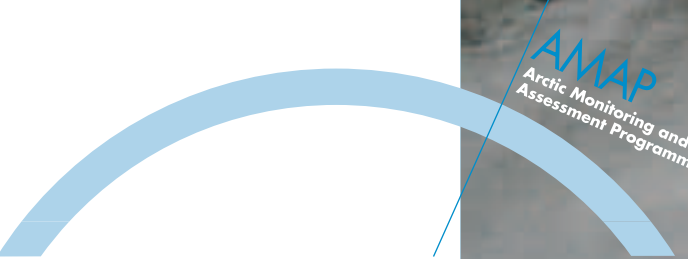
An aerial photograph of a vast glacier system in Greenland. A prominent meltwater stream flows through the center of the glacier, reflecting the sky. The surrounding ice is textured with various shades of white and grey, indicating different ice ages and melt patterns. In the background, dark, rocky mountains rise above the ice under a blue sky with light clouds.

Résumé du rapport La calotte glaciaire du Groenland dans un climat en changement: neige, eau, glace et pergélisol dans l'Arctique (SWIPA) 2009

The AMAP logo consists of a blue curved line on the left and the text 'AMAP Arctic Monitoring and Assessment Programme' on the right.

AMAP
Arctic Monitoring and
Assessment Programme

Référence: AMAP, 2009. Résumé du rapport La calotte glaciaire du Groenland dans un climat en changement: neige, eau, glace et pergélisol dans l'Arctique (SWIPA) 2009. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo. 22 pages

ISBN 13 978 82 7971 057 8

© Arctic Monitoring and Assessment Programme, 2009

Publié par

Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), P.O. Box 8100 Dep., N-0032 Oslo, Norway (www.amap.no)

Commande

AMAP Secretariat, P.O. Box 8100 Dep., N-0032 Oslo, Norway (amap@amap.no)

Ce rapport est aussi disponible sous forme de document PDF, téléchargeable gratuitement sur le site www.amap.no

L'AMAP remercie les auteurs du rapport scientifique *The Greenland Ice Sheet in a Changing Climate: Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA) 2009*:

D. Dahl-Jensen, J. Bamber, C.E. Bøggild, E. Buch, J.H. Christensen, K. Dethloff, M. Fahnestock, S. Marshall, M. Rosing, K. Steffen, R. Thomas, M. Truffer, M. van den Broeke and C.J. van der Veen.

Production: Carolyn Symon (carolyn.symon@btinternet.com), Simon Wilson (s.wilson@inter.nl.net), Henning Thing (thing@gfy.ku.dk)

Production graphique: Narayana Press

Photo de couverture: Henrik Egede Lassen/Alpha Film – Les particules de terre présentes à la surface de la calotte glaciaire accélèrent la fonte des bords de la calotte

Impression et brochage: Narayana Press, Gylling, DK-8300 Odder, Denmark (www.narayanapress.dk); a Swan-labelled printing company, 541 562.

Les sources des illustrations reproduites dans ce rapport sont citées dans le rapport scientifique général *The Greenland Ice Sheet in a Changing Climate: Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA) 2009*.

© Bryan & Cherry Alexander/ArcticPhoto (www.arcticphotos.com) – pages 6, 13, 15, 18, 21 and 22.

© Dana Caccamise, Ohio State University – page 9

© Carsten Egevang/ARC-PIC (www.ARC-PIC.com) – pages 16, 20, 21.

© Ian Joughin/Mark Fahnestock, University of Washington/APL – page 8.

© Rene Forsberg/DTU Space (National Space Institute, Denmark) – page 6.

© Henrik Egede Lassen/Alpha Film (www.alphafilm.dk) – cover photo.

© NEEM ice core drilling project (www.neem.ku.dk) – page 3.

© Ivars Silis – page 19.

© Tommy Hatting Sørensen – page 19.

© Konrad Steffen/CIRES, University of Colorado (<http://cires.colorado.edu/steffen/>) – pages 5, 6, 7, 9 and 21.

© Henning Thing/Things Unlimited (hthing@gmail.com) – pages 1 and 6.

© Carsten Egestal Thuesen/GEUS – page 2

Résumé du rapport
La calotte glaciaire du Groenland
dans un climat en changement:
neige, eau, glace et pergélisol
dans l'Arctique (SWIPA) 2009

Preface

Ce rapport résume les premiers résultats scientifiques des travaux consacrés à la calotte glaciaire du Groenland dans le cadre du projet sur la cryosphère mené par le Conseil arctique : *Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic* (SWIPA). Il fait la synthèse d'un rapport technico-scientifique exhaustif et richement documenté intitulé *The Greenland Ice Sheet in a Changing Climate: Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic* (SWIPA) 2009.

Le projet SWIPA a été mis en place par le Conseil arctique en avril 2008 pour donner suite à l'Évaluation de l'impact du changement climatique dans l'Arctique (ACIA) de 2005. Ce projet vise à évaluer les informations scientifiques actuellement disponibles concernant l'évolution de la cryosphère arctique. Il s'intéresse notamment aux effets des changements susceptibles d'avoir de sérieuses conséquences pour l'Arctique et pour la Terre dans sa globalité.

Le projet SWIPA est coordonné par le Programme de surveillance et d'évaluation de l'Arctique (Arctic Council's Arctic Monitoring and Assessment Programme, AMAP) du Conseil arctique, en collaboration avec le Comité international pour les sciences arctiques (International Arctic Science Committee, IASC), l'Association internationale pour les sciences sociales arctiques (International Arctic Social Sciences Association, AISSA), l'Année polaire internationale et le programme WCRP-CliC. Pour plus d'informations, consulter le site www.amap.no/swipa. Le volet « calotte glaciaire du Groenland » du projet SWIPA est piloté par le Danemark.

Ce rapport de synthèse a été traduit en chinois, en danois, en français, en groenlandais et en russe. Toutefois, la version officielle est le rapport en anglais. Les rapports SWIPA relatifs à la calotte glaciaire du Groenland, ainsi que les autres produits du projet SWIPA, seront présentés lors de la conférence COP15 de la CCNUCC, qui se tiendra à Copenhague en décembre 2009. Les résultats du projet SWIPA seront également transmis au groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) de la CCNUCC, qui les utilisera pour de futures évaluations.

L'AMAP remercie tous les experts scientifiques qui ont contribué à cette évaluation. La liste des auteurs et des coauteurs du rapport scientifique général figure dans le colophon du présent rapport. Nous remercions également Carolyn Symon, qui a préparé ce résumé du document scientifique, et le Danemark, qui dirige ce volet des travaux du projet SWIPA.

Le soutien des pays arctiques est tout à fait essentiel à la réussite du projet SWIPA et, plus généralement, des travaux de l'AMAP. En outre, le projet SWIPA/calotte glaciaire du Groenland n'aurait pu être mis en œuvre sans la contribution financière du Canada, du Danemark, de la Norvège et du Conseil des ministres nordiques.

Les futurs rapports SWIPA présenteront des informations actualisées sur la calotte glaciaire du Groenland, notamment en matière d'impacts potentiels sur les systèmes biologiques et les populations humaines. Pour être pleinement pris en compte, ces impacts potentiels doivent être abordés dans la perspective des effets combinés de l'évolution des diverses composantes de la cryosphère. Ils s'inscrivent donc dans l'évaluation intégrée du projet SWIPA.

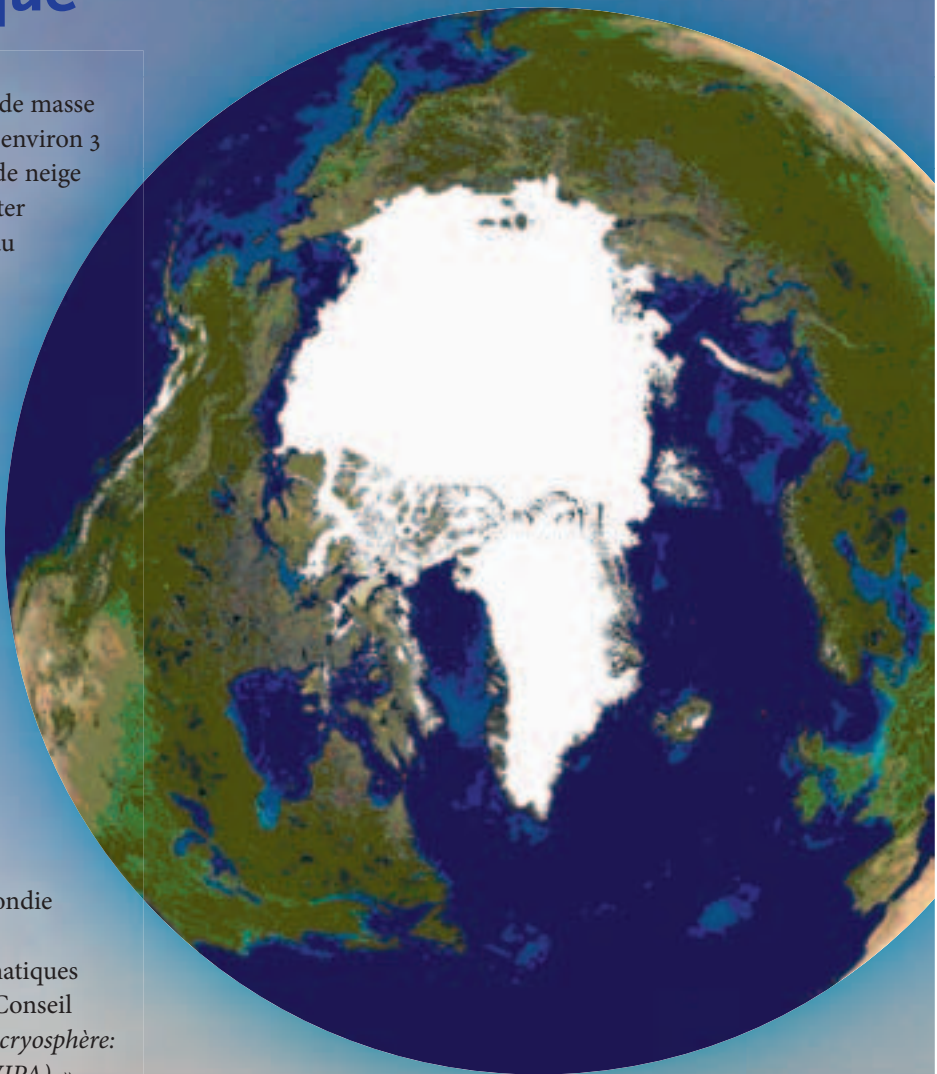
La calotte glaciaire du Groenland, symbole de l'Arctique

La calotte glaciaire du Groenland est la plus grande masse d'eau douce de l'hémisphère Nord. Elle renferme environ 3 millions de km³ de glace. Si cette énorme masse de neige et de glace fondait complètement, elle ferait monter le niveau des océans d'environ 7 mètres. Au niveau planétaire, la calotte glaciaire du Groenland vient en deuxième position après la calotte antarctique, de taille bien supérieure.

La calotte groenlandaise s'est étendue et rétractée de nombreuses fois en réponse aux changements climatiques, et elle sera particulièrement sensible au fort réchauffement climatique prévu pour les décennies et siècles à venir. Les changements récemment observés dans la calotte glaciaire semblent montrer qu'elle réagit déjà de manière extrême aux changements climatiques, mais le volume qui disparaîtra lors des prochaines décennies demeure encore inconnu. La diminution de la calotte glaciaire du Groenland aura un impact local, régional et mondial sur l'environnement ainsi que sur les écosystèmes et les sociétés humaines.

Cette évaluation est la première étude approfondie consacrée à l'évolution de la calotte glaciaire du Groenland sous l'influence des changements climatiques actuels. Elle fait partie intégrante d'un projet du Conseil arctique intitulé « *Le changement climatique et la cryosphère: neige, eau, glace et permafrost dans l'Arctique (SWIPA).* »

Le projet SWIPA (www.amap.no/swipa) évaluera les informations scientifiques actuellement disponibles concernant les changements de la cryosphère arctique, changements susceptibles d'avoir de sérieuses conséquences pour l'Arctique et la Terre dans sa globalité.



Modifications de la calotte glaciaire du Groenland au cours de l'histoire

Que représente la calotte glaciaire du Groenland et comment s'est-elle formée?

La majeure partie du Groenland se situe au nord du cercle polaire et, pendant plusieurs mois de l'année, l'île est plongée dans la nuit polaire ou dans un jour perpétuel. Sa surface de plus de 2 millions de km² en fait la plus grande île de la planète (il ne s'agit pas d'un continent à proprement parler). Plus de

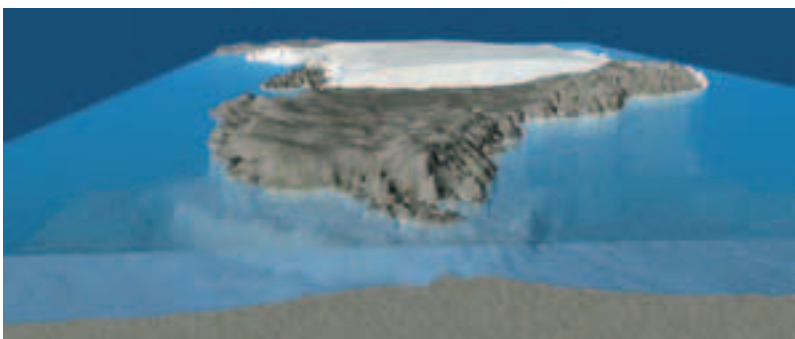
80 % du Groenland est recouvert d'un dôme de glace continentale : la calotte glaciaire.

Les calottes glaciaires se forment lorsque le climat est suffisamment froid pour que la neige s'accumule. Après des milliers d'années, les couches annuelles de neiges accumulées et comprimées sous le poids de la couche de neige les recouvrant se transforment en glace. Les calottes sont constamment en mouvement. Sous l'effet de leur propre poids, elles s'écoulent des zones où la neige s'accumule, au centre de la calotte, vers les zones de fonte situées sur les flancs. Sur les bords de la calotte glaciaire, près de la côte, la glace fond ou se déplace, transportée par des courants glaciaires relativement rapides et des glaciers qui se déversent dans la mer. Soit la glace fond, soit elle se brise (vélage) et tombe dans la mer pour former des icebergs. Si une calotte glaciaire accumule autant de neige qu'elle en perd, elle est dite « stable ».

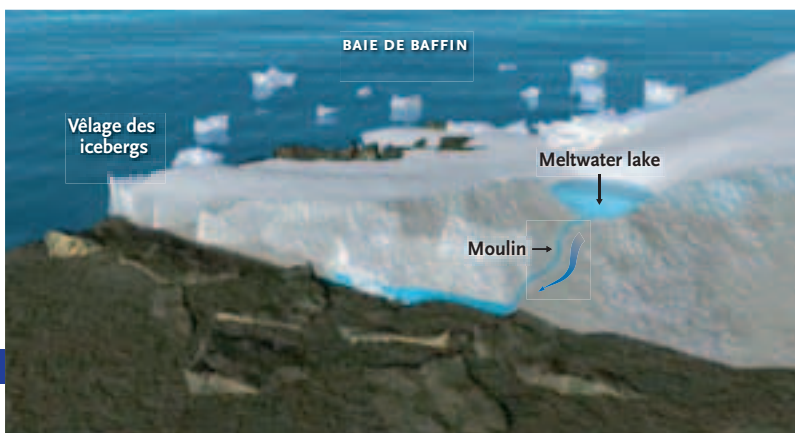
Les modifications du passé reflètent les variations naturelles du climat

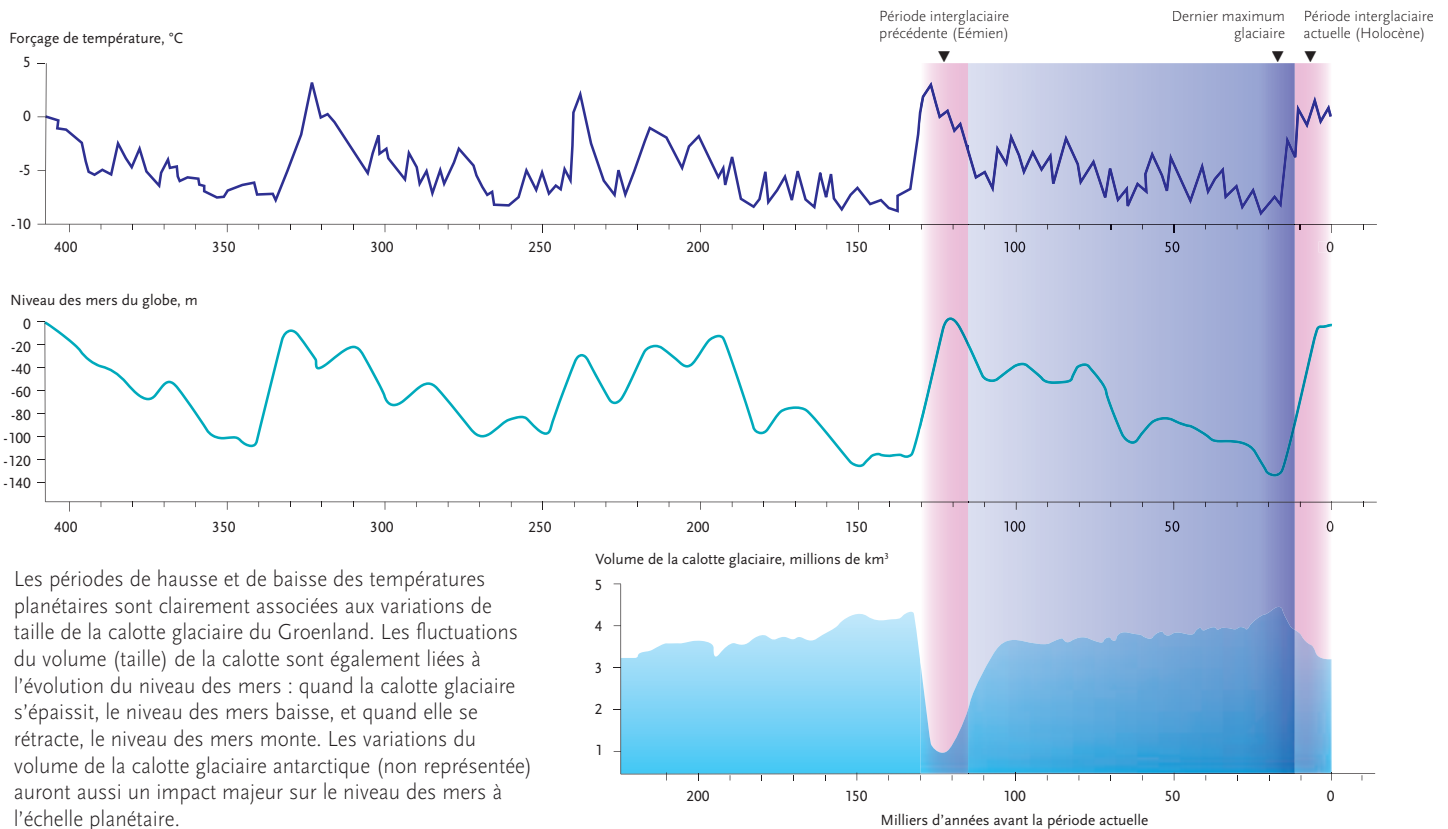
Les variations naturelles du climat mondial sont une caractéristique de l'histoire de la Terre ces derniers millions d'années. La Terre a connu des périodes de froid extrême durant lesquelles de grandes parties de sa surface étaient recouvertes de glace (périodes de glaciation) et des périodes plus chaudes avec peu ou pas de glace. Les grandes glaciations ont commencé dans l'hémisphère Nord il y a environ 3 millions d'années. Depuis lors, la calotte glaciaire du Groenland s'est étendue et s'est rétractée au gré des périodes glaciaires et interglaciaires.

Le climat groenlandais a connu de fortes variations lors des 3 millions d'années passées, et toutes n'ont pas été progressives. Les carottes de glace prélevées dans la calotte glaciaire du Groenland révèlent que celle-ci a subi 25 changements climatiques rapides lors de la dernière période de glaciation, dénommés « événements de Dansgaard-Oeschger ». Durant chacun de ces épisodes de réchauffement, les températures ont augmenté de 10 à 15 °C en quelques décennies à peine. Cette hausse des températures s'accompagnait d'une montée du niveau des mers de 5 à 20 mètres. Ces réchauffements brutaux étaient suivis de longues périodes de 1 000 à 5 000 ans, durant lesquelles les températures baissaient graduellement jusqu'à ce que survienne le réchauffement suivant. Nul ne sait néanmoins dans quelle mesure la calotte glaciaire du Groenland a contribué à la montée du niveau des mers durant ces épisodes de réchauffement rapide de la dernière glaciation.



CARSTEN EGESTAL THUISEN/GEUS





Les périodes de hausse et de baisse des températures planétaires sont clairement associées aux variations de taille de la calotte glaciaire du Groenland. Les fluctuations du volume (taille) de la calotte sont également liées à l'évolution du niveau des mers : quand la calotte glaciaire s'épaissit, le niveau des mers baisse, et quand elle se rétracte, le niveau des mers monte. Les variations du volume de la calotte glaciaire antarctique (non représentée) auront aussi un impact majeur sur le niveau des mers à l'échelle planétaire.

Peut-on prévoir l'avenir d'après le passé?

A la fin de la dernière période glaciaire, qui s'est achevée il y a 12 000 ans, le climat s'est réchauffé en entrant dans l'actuelle période interglaciaire, appelée « Holocène ». Cette période est restée chaude, avec de très faibles variations de température.

L'Eémien, nom donné à la période interglaciaire précédente, est une période particulièrement intéressante car elle présente de nombreuses similitudes avec la situation actuelle et pourrait présager de l'avenir de la calotte glaciaire du Groenland si les températures continuent d'augmenter. Durant l'Eémien, la température de l'air du Groenland est restée relativement stable pendant plusieurs milliers d'années, mais supérieure de 5 °C environ à la température actuelle. Le niveau des mers était supérieur de 4 à 6 mètres environ au niveau actuel et les reconstitutions fondées sur les données des carottes glaciaires semblent montrer qu'une fonte partielle de la calotte glaciaire du Groenland a pu provoquer une montée du niveau des mers de 1 à 3 mètres. D'où notre interrogation: le réchauffement planétaire prévu pour les décennies et siècles à venir pourrait-il provoquer une montée du niveau des mers aussi importante que celle de la période interglaciaire précédente?



Carottage glaciaire au Groenland. Les carottes de glace, bâtons de glace obtenus par forage vertical de la calotte glaciaire, sont utilisées pour reconstituer les conditions atmosphériques de ces 125 000 dernières années. Les carottes sont découpées en cylindres et chaque cylindre est analysé, révélant les conditions atmosphériques d'une période particulière de l'histoire. Une grande partie des informations utilisées pour reconstituer la réponse de la calotte glaciaire du Groenland aux changements climatiques passés provient des carottes de glace.



La calotte glaciaire du Groenland aujourd'hui

L'Arctique se réchauffe

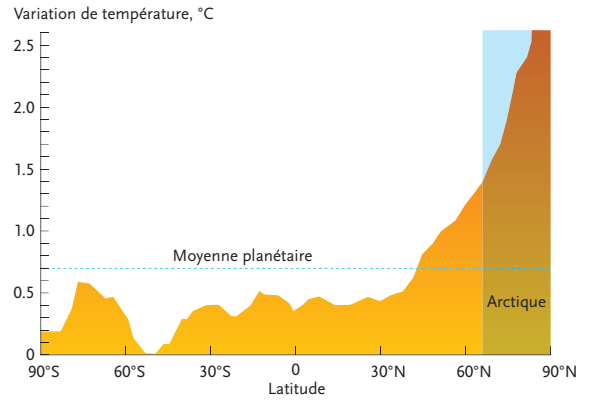
Ces 50 dernières années, l'Arctique s'est considérablement réchauffé. Alors que la température moyenne de notre planète augmentait d'environ 0,7 °C, celle du Groenland a enregistré une hausse plus de deux fois supérieure. Les températures arctiques ont donc augmenté bien plus vite que celles de l'Antarctique.

Le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat des Nations Unies (GIEC) prévoit que, d'ici 2100, les températures annuelles de l'Arctique augmenteront de 3 à 8 °C par rapport aux températures observées durant la période de référence de 1951 à 1980, les hivers se réchauffant plus rapidement que les étés. Une telle hausse des températures serait la plus importante qu'ait connue la calotte glaciaire du Groenland depuis plus de 100 000 ans (c'est-à-dire depuis la fin de la dernière période interglaciaire).

L'évolution du réchauffement autour du Groenland

Pour prévoir de façon fiable la manière dont la calotte glaciaire du Groenland pourrait réagir aux changements climatiques futurs, les scientifiques

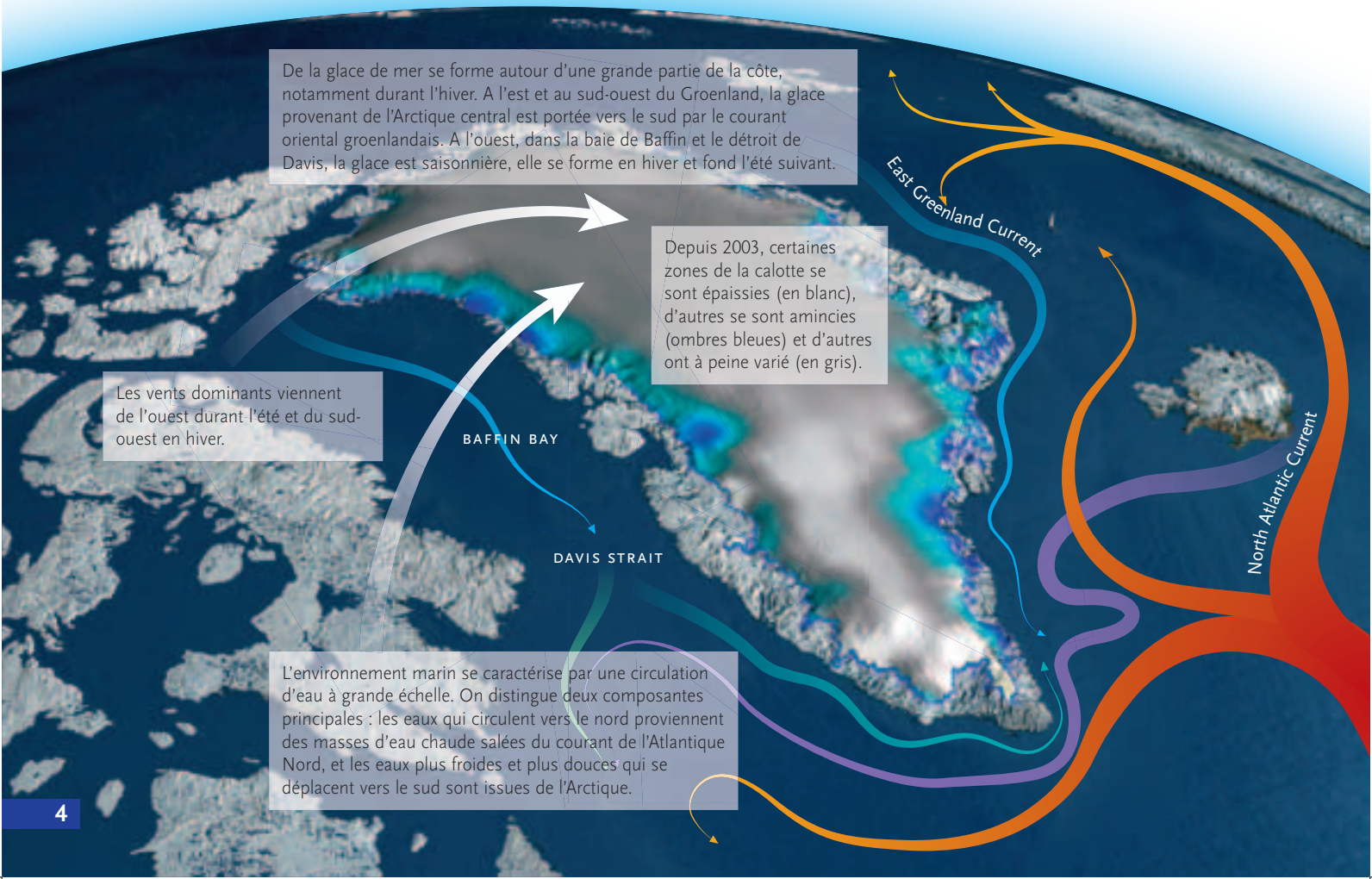
Les principaux facteurs qui influent sur le climat du Groenland sont sa localisation à l'extrême nord du globe, la hauteur de sa calotte glaciaire et l'eau de mer qui l'entoure, formant de la glace de mer saisonnière.



L'augmentation moyenne de la température de surface observée depuis la période de référence de 1951 à 1980 est plus importante en Arctique.

ont besoin d'informations plus précises sur la façon dont elle se comporte face aux changements climatiques actuels.

La taille et l'isolement de la calotte groenlandaise rendent difficiles les mesures climatiques de terrain. Des ensembles de données sur le long terme relevés en différents points de la calotte sont néanmoins disponibles. Les plus longues séries de mesures météorologiques ont été recueillies par l'Institut Danois de Météorologie sur huit sites côtiers du sud du Groenland. Certaines de ces séries couvrent une centaine d'années voire davantage. Des données ont également été collectées par un réseau de stations météorologiques automatiques installées sur l'ensemble de la calotte glaciaire depuis les années 1990.



De la glace de mer se forme autour d'une grande partie de la côte, notamment durant l'hiver. A l'est et au sud-ouest du Groenland, la glace provenant de l'Arctique central est portée vers le sud par le courant oriental groenlandais. A l'ouest, dans la baie de Baffin et le détroit de Davis, la glace est saisonnière, elle se forme en hiver et fond l'été suivant.

Depuis 2003, certaines zones de la calotte se sont épaissies (en blanc), d'autres se sont amincies (ombres bleues) et d'autres ont à peine varié (en gris).

Les vents dominants viennent de l'ouest durant l'été et du sud-ouest en hiver.

L'environnement marin se caractérise par une circulation d'eau à grande échelle. On distingue deux composantes principales : les eaux qui circulent vers le nord proviennent des masses d'eau chaude salées du courant de l'Atlantique Nord, et les eaux plus froides et plus douces qui se déplacent vers le sud sont issues de l'Arctique.

Les relevés réalisés sur la côte depuis 1840 montrent que les plus hautes températures ont été enregistrées dans les années 1930 et 1940. Ils mettent également en évidence un réchauffement global de 2 à 4 °C environ depuis la fin des années 1980, en particulier durant l'hiver. Les données des stations climatiques automatiques font aussi apparaître un réchauffement récent sur la bordure occidentale de la calotte glaciaire. Ces ensembles de données sont néanmoins trop peu nombreux et trop limités dans le temps pour que l'on puisse dégager des tendances de température à l'intérieur de la calotte.

Le réchauffement des côtes observé depuis le début des années 1990 est particulièrement intéressant car il perdure malgré l'effet de refroidissement planétaire déclenché par les énormes volumes de cendres projetés dans la haute atmosphère lors de l'éruption du Mont Pinatubo (Philippines), en 1991. Il diffère du réchauffement qui s'est produit lors des années 1930 et 1940, dans une période d'activité volcanique exceptionnellement faible.

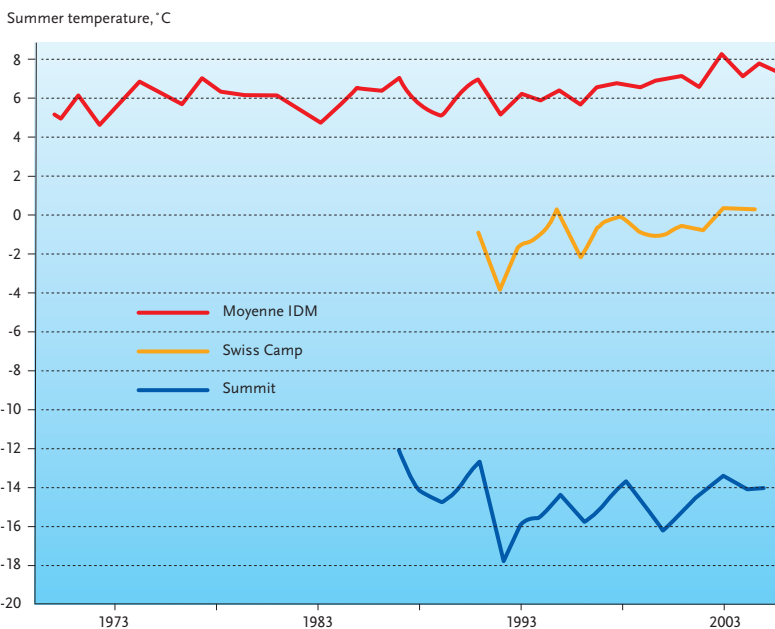
Les données météorologiques confirment que le climat à l'intérieur, autour et au-dessus de la calotte glaciaire varie considérablement du nord au sud et de l'est à l'ouest, les changements relevés centre de la calotte glaciaire étant très différents de ceux observés sur la côte. Les tentatives des scientifiques pour modéliser ces variations locales des températures n'ont pas apporté les résultats escomptés. Les différences entre les prévisions des modèles et les mesures de température montrent qu'une meilleure répartition géographique des mesures climatiques est nécessaire au bon fonctionnement des modèles. Il est également important d'obtenir des ensembles de données plus étendus, tout comme il est essentiel de poursuivre les séries chronologiques existantes et, si possible, de les étendre en remontant dans le temps, à l'aide des données provenant des carottes de glace par exemple.



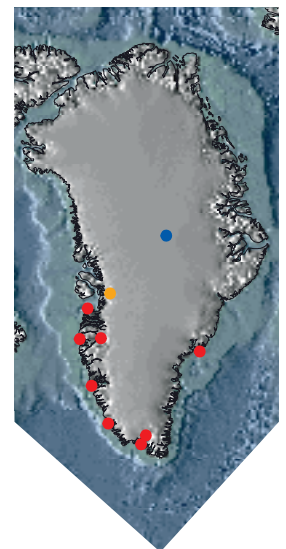
Bâtiment principal de la station de recherche Summit, au sommet de la calotte glaciaire.



Depuis 2000, on constate que la fonte de surface augmente au niveau du Swiss Camp, ce qui a fait baisser la surface gelée de 3,5 mètres.



On observe un léger refroidissement général des températures près de la surface au sommet de la calotte glaciaire (● Summit), par opposition au réchauffement observé à plus faible altitude (● Swiss Camp) et autour de la bordure de la calotte glaciaire (● stations de l'Institut Danois de Météorologie).



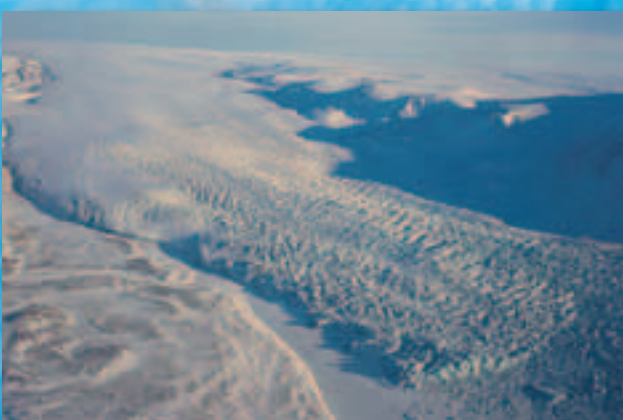
La stabilité de la calotte glaciaire du Groenland

La progression ou la diminution de la calotte glaciaire dépendent de l'équilibre entre les processus d'apport et de perte de glace. Le rapport global entre le gain de masse par accumulation de neige et les pertes dues au vêlage des icebergs et au ruissellement de la fonte qui se produisent chaque année est appelé « bilan massique total ». Cette valeur permet de mesurer la « santé » de la calotte glaciaire. Si la calotte perd davantage de masse qu'elle n'en gagne sur une période prolongée, sa masse totale diminuera progressivement.

Processus d'ablation de la glace.



HENNING THING



BRYAN & CHERRY ALEXANDER/ARCTICPHOTO



RENE FORSBERG/DTU SPACE



Processus d'accumulation de la glace

Les précipitations augmentent la masse à la surface de la calotte glaciaire. La plus grande partie des précipitations (environ 96 %) qui tombent sur la calotte sont sous forme de neige, le reste étant de la pluie. Les chutes de neige sur la calotte glaciaire du Groenland ont augmenté de manière significative ces 50 dernières années car la température de la couche d'air en surface s'est réchauffée, accroissant l'humidité de l'air et par voie de conséquence le volume des précipitations. Depuis 2000, la partie intérieure haute de la calotte (supérieure à 2 000 mètres) s'est épaissie, gagnant environ 5 cm de hauteur chaque année suite à l'augmentation des chutes de neige. Des chutes de neige particulièrement importantes ont été enregistrées en 2002/2003

(sud-est du Groenland) et en 2004/2005 (ouest du Groenland). Certains scientifiques ont suggéré que les années à fortes chutes de neige pourraient devenir plus fréquentes dans un climat aux hivers plus chauds.

Processus d'ablation de la glace

La calotte glaciaire du Groenland perd de sa masse par fonte de surface et, sur les bords, par le vêlage d'icebergs et la fonte des surfaces de glace en contact avec les eaux plus chaudes de l'océan.

Fonte de surface

La température de l'air et les vents qui soufflent à la surface de la calotte glaciaire sont les facteurs qui influent le plus sur la fonte de surface. Un autre facteur important est la réflexion des rayons solaires par la surface de la glace, un phénomène connu sous le nom d'albédo de surface. Les particules de poussière et de suie (carbone noir) présentes dans l'atmosphère peuvent se déposer directement sur la surface de la calotte et réduire l'albédo dans la zone de fonte.

La fonte observée dans la zone d'ablation a été mesurée sur quelques sites autour des bords de la calotte glaciaire. Il est difficile de dire à quel point ces quelques sites sont représentatifs, et dans quelle mesure les processus de surface sont compris. Une partie de l'eau de fonte ruisselle directement, une autre partie est captée par des fissures dans la glace et une dernière partie gèle à nouveau.

Les données satellitaires montrent que les zones exposées à la fonte d'été ont nettement augmenté depuis 1979, avec une zone de surface de fonte record mesurée en 2007.

Perte de glace sur les bords de la calotte glaciaire

La vitesse à laquelle la glace s'écoule de la zone d'accumulation située sur la partie supérieure de la calotte glaciaire devient extrêmement variable lorsqu'on s'approche de ses bords, où des zones d'écoulement lent se distinguent des glaciers émissaires de grande vélocité et des courants glaciaires. D'importants volumes de glace sont déversés dans la mer depuis l'extrémité des glaciers. Ces glaciers émissaires (indiqués en rouge sur la figure de la page 8) s'écoulent généralement par des fjords profonds et étroits avant de déverser leur glace sous forme d'icebergs et d'eau de fonte provenant des surfaces gelées en contact avec l'eau de mer. Les icebergs sont la principale cause de perte de glace au niveau des bords de la calotte glaciaire. Le plus grand glacier émissaire sur la calotte glaciaire du Groenland est le Jakobshavn Isbræ.

Des études scientifiques récentes ont abouti à un résultat particulièrement préoccupant: les chercheurs ont découvert que l'ablation annuelle

de glace de la calotte glaciaire du Groenland prise dans son ensemble avait augmenté de 30 % lors de la dernière décennie, passant de 330 Gt en 1995 à 430 Gt en 2005. Cette augmentation est due à l'accélération de l'écoulement des glaciers émissaires et des courants glaciaires.

La quantité de glace rejetée chaque année par de nombreux glaciers émissaires, dont celui d'Ilulissat

La transition entre l'inlandsis à faible vitesse d'écoulement lent et les glaciers émissaires aux vitesses d'écoulement importantes est particulièrement visible sur la côte ouest du Groenland.

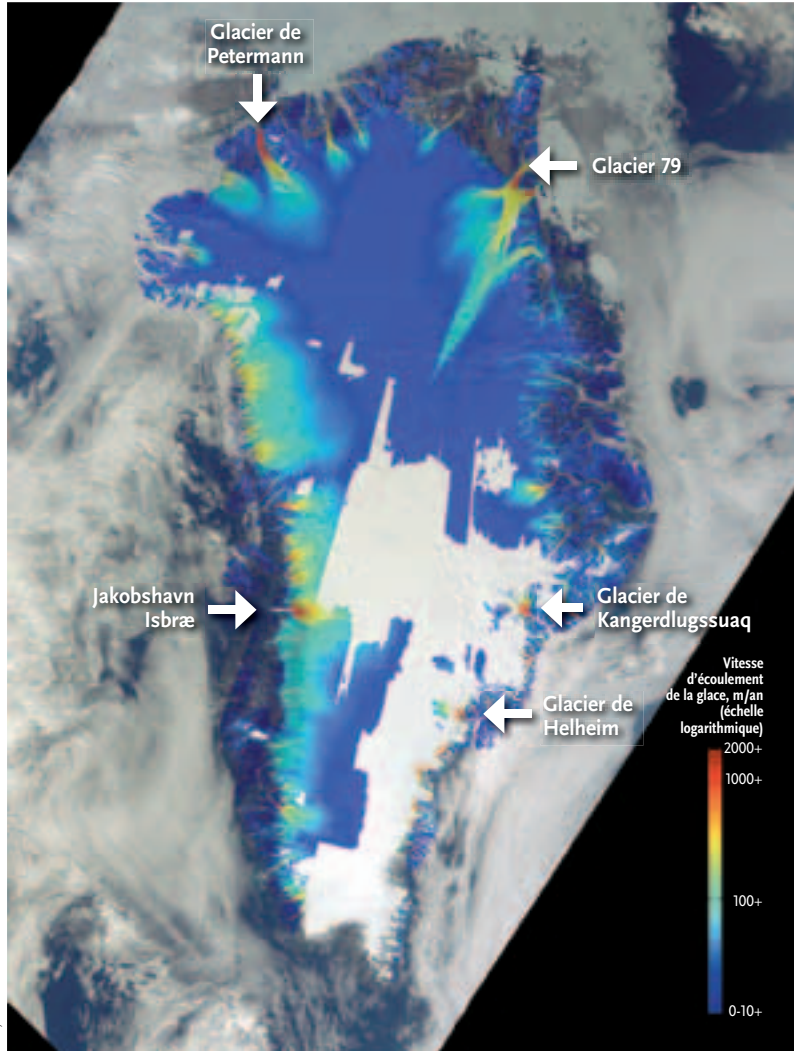


Le Jakobshavn Isbræ (Sermeq Kujalleq en groenlandais) est un grand glacier émissaire situé sur la côte ouest du Groenland. La glace s'écoule au travers d'une profonde dépression sous-glaciaire qui débute à 50 km environ du front de glace actuel à l'intérieur des terres et s'étend jusqu'à 1 500 mètres sous le niveau de la mer. La dépression est relativement étroite (environ 5 km) mais canalise la glace à partir d'une zone qui draine environ 7 % de la calotte glaciaire du Groenland. De récentes évaluations de l'ablation glaciaire du Jakobshavn Isbræ montrent que la perte de glace a fortement augmenté ces dernières années. Environ 10 % des icebergs du Groenland naissent du Jakobshavn Isbræ. On pense que l'iceberg responsable de la catastrophe du Titanic, en 1912, provenait de ce glacier. Le Jakobshavn Isbræa reculé de 15 km ces huit dernières années.

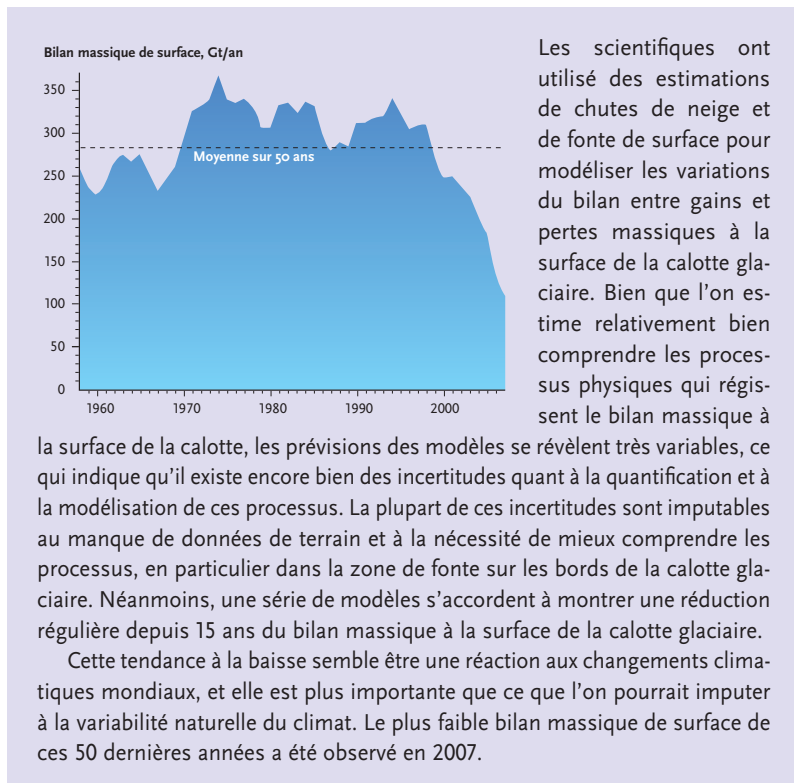


KONRAD STEFFEN/RUSSELL HUFF/CIRES

KONRAD STEFFEN



La transition entre l'inlandsis à faible vitesse d'écoulement lent et les glaciers émissaires aux vitesses d'écoulement importantes est particulièrement visible sur la côte ouest du Groenland.



(Sermeq Kujalleq) sur la côte ouest et les glaciers de Kangerdlugssuaq et de Helheim sur la côte est, a récemment augmenté de façon spectaculaire. Le débit de glace des nombreux glaciers émissaires situés dans le sud de l'île a augmenté rapidement entre 1995 et 2000, doublant dans de nombreux cas et, dès 2005, cette évolution s'est étendue aux glaciers émissaires du nord. Des variations régionales ont toutefois été constatées. Ainsi, le débit de glace des glaciers de Helheim et de Kangerdlugssuaq a retrouvé son niveau antérieur en 2006, alors que l'importante perte de glace du Jakobshavn Isbræ se poursuivait.

Dans les glaciers émissaires, l'écoulement plus rapide de la glace provoque un recul général des glaciers alors que l'ablation demeure supérieure à l'accumulation. Cette perte de glace hors-équilibre dans la mer constatée pour de nombreux glaciers du sud crée de vastes zones d'amincissement (dites d'abaissement) près du bord de la calotte glaciaire.

Plusieurs raisons ont été avancées pour expliquer l'augmentation de la vitesse d'écoulement des glaciers émissaires. Il semble que certains types d'interactions glace-océan entrent en jeu car tous les changements majeurs surviennent d'abord à proximité de l'océan, avant de se propager vers l'intérieur des terres dans la calotte glaciaire. Les glaciers qui aboutissent dans l'océan étant en grande partie flottants, on pense que les courants océaniques relativement chauds jouent un rôle particulièrement important.

Evaluation de l'équilibre glaciaire – l'avenir de la calotte glaciaire du Groenland

Jusqu'en 1990, avant la récente accélération de l'écoulement de glace dans les glaciers émissaires et la tendance à l'augmentation de la perte massique par fonte de surface, la calotte glaciaire du Groenland semblait globalement équilibrée. Le volume total de glace apporté et perdu chaque année avoisinait les 500 Gt. Sur ces 500 Gt ajoutées sous forme de chutes de neige, environ 50 % disparaissaient par fonte de surface et les 50 % restants étaient rejetés sous forme d'icebergs.

Des mesures récentes montrent que cet équilibre est aujourd'hui modifié et que des changements rapides et importants sont survenus au niveau de la fonte de surface et de l'ablation de glace. L'ensemble des estimations du bilan massique (voir l'encadré de la page 9) indiquent que la calotte glaciaire du Groenland subit une perte globale de glace depuis le début des années 1990. Entre 1995

Bilan massique total = APPORT – (PERTE) = Accumulation – (ruissellement de surface + production d'icebergs + fonte de la base)

Dans la mesure où les variations passées du bilan massique influent sur l'actuel écoulement de glace dans la calotte glaciaire, les calculs de prévision des variations futures du bilan massique de la calotte doivent prendre en compte les fluctuations antérieures de l'équilibre massique.

1 Gt = 1 000 000 000 tonnes. 1 Gt de glace correspond approximativement à un bloc de glace de 1,1 km³.

Un iceberg de 430 Gt en 2005 (voir texte) représente un volume d'eau douce suffisant pour fournir à chaque habitant de la Terre 174 litres d'eau potable propre chaque jour pendant un an.

et 2000, la perte annuelle de glace estimée était en moyenne de 50 Gt. Mais entre 2003 et 2006, le niveau de perte a augmenté de manière spectaculaire pour atteindre une moyenne d'environ 160 Gt par an. Cette valeur équivaut à une montée annuelle du niveau des mers de 0,44 mm.

La perte massive observée depuis 1990 est une conséquence directe du réchauffement climatique au-dessus de la calotte glaciaire du Groenland. Le fort réchauffement prévu sous les latitudes septentrionales à l'avenir accentuera la perte massive de la calotte glaciaire du Groenland, avec des impacts locaux, régionaux et planétaires.

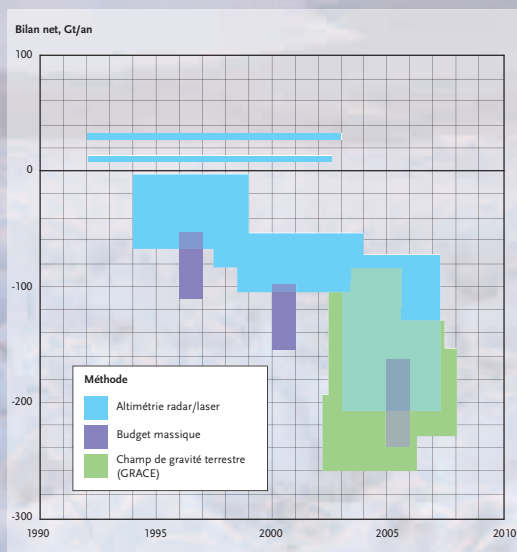


DANA CACCIAMISE

Evaluation du bilan massique total

Trois techniques sont utilisées pour évaluer et observer les variations du bilan massique total : la méthode du budget massique, l'altimétrie répétée et les changements de gravité. Seules les mesures de gravité mesurent directement les changements de la masse glaciaire. Les deux premières méthodes mesurent d'autres quantités (par exemple la fonte, la hauteur de la surface, etc.) puis les convertissent en variations de la masse glaciaire.

- La méthode du budget massique calcule le bilan massique total à partir d'évaluations individuelles des apports de glace (précipitations neigeuses) et des pertes de glace (fonte et icebergs).
- L'altimétrie satellitaire radar et l'altimétrie laser aéroportée sont largement utilisées pour mesurer les changements de hauteur de la calotte glaciaire. Ces variations de hauteur reflètent l'évolution du volume total de glace contenu dans la calotte.
- Les variations du champ de gravité terrestre sont directement liées aux changements de masse. Depuis 2002, la mission GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*) mesure les variations du champ de gravité terrestre.



De nombreuses méthodes différentes mettent en évidence une diminution du bilan massique total de la calotte glaciaire. Les encadrés de la figure indiquent la plage d'évaluation de la perte massique (axe vertical) et la durée des évaluations (axe horizontal). L'écart important entre les données illustre le degré d'incertitude de ces évaluations.

Prédire l'évolution de la calotte glaciaire du Groenland

La réaction de la calotte glaciaire du Groenland aux changements climatiques est complexe. Elle dépend des interactions entre la calotte glaciaire, l'atmosphère et l'océan. Ce n'est que récemment que des modèles mathématiques complexes décrivant ce système dans sa globalité ont vu le jour, nous permettant d'améliorer notre capacité à modéliser le système naturel dans son ensemble.

Pour évaluer plus efficacement l'équilibre glaciaire à la surface de la calotte aujourd'hui et à l'avenir, nous devons parvenir à réduire l'échelle des modèles atmosphériques régionaux et à comprendre les processus qui régissent l'écoulement rapide des courants glaciaires. D'autres incertitudes portent sur notre compréhension de l'influence de l'eau de fonte sous certaines zones importantes de la calotte glaciaire du Groenland.

Il est important de rappeler que tous les modèles reposent sur des hypothèses ; de ce fait, toutes les projections des modèles comportent un certain niveau d'incertitude. Ces incertitudes tendent à augmenter à mesure que les projections sont éloignées dans le temps. Cependant, tant que les incertitudes sont correctement cernées, les modèles restent peut-être le seul outil actuellement disponible pour prédire ce que l'avenir nous apportera.

Malgré leurs limites, les modèles mathématiques montrent clairement que la calotte glaciaire du Groenland est très sensible au réchauffement climatique.

Existe-t-il un seuil de température au-delà duquel les changements seraient « irréversibles » ?

La calotte glaciaire du Groenland perd de sa masse en raison du récent réchauffement climatique. Même si les températures se stabilisent, la calotte glaciaire continuera de fondre pendant quelque temps. Au-delà d'un certain point, elle pourrait même atteindre un état de « déstabilisation irréversible » entraînant la fonte totale de la calotte glaciaire, comme cela s'est produit pour les calottes glaciaires qui recouvraient une grande partie de l'Europe du Nord et de l'Amérique du Nord à la fin de la dernière période glaciaire. Selon ce scénario, le Groenland perdrait sa calotte glaciaire jusqu'à ce qu'une nouvelle glaciation survienne. Le niveau de réchauffement de la surface à partir duquel la fonte de la calotte deviendrait « irréversible » est appelé « seuil ».

Certains scientifiques pensent que si le réchauffement planétaire moyen devait augmenter de 3,1 °C (correspondant à un réchauffement du Groenland de 4,5 °C), l'amincissement de la calotte glaciaire accélérerait sa disparition. L'abaissement de la calotte glaciaire suite à une ablation glaciaire rapide rendrait impossible tout renversement de la tendance, même si les températures se stabilisaient.

Bien que l'on ne connaisse pas la hausse précise de température à laquelle corres-

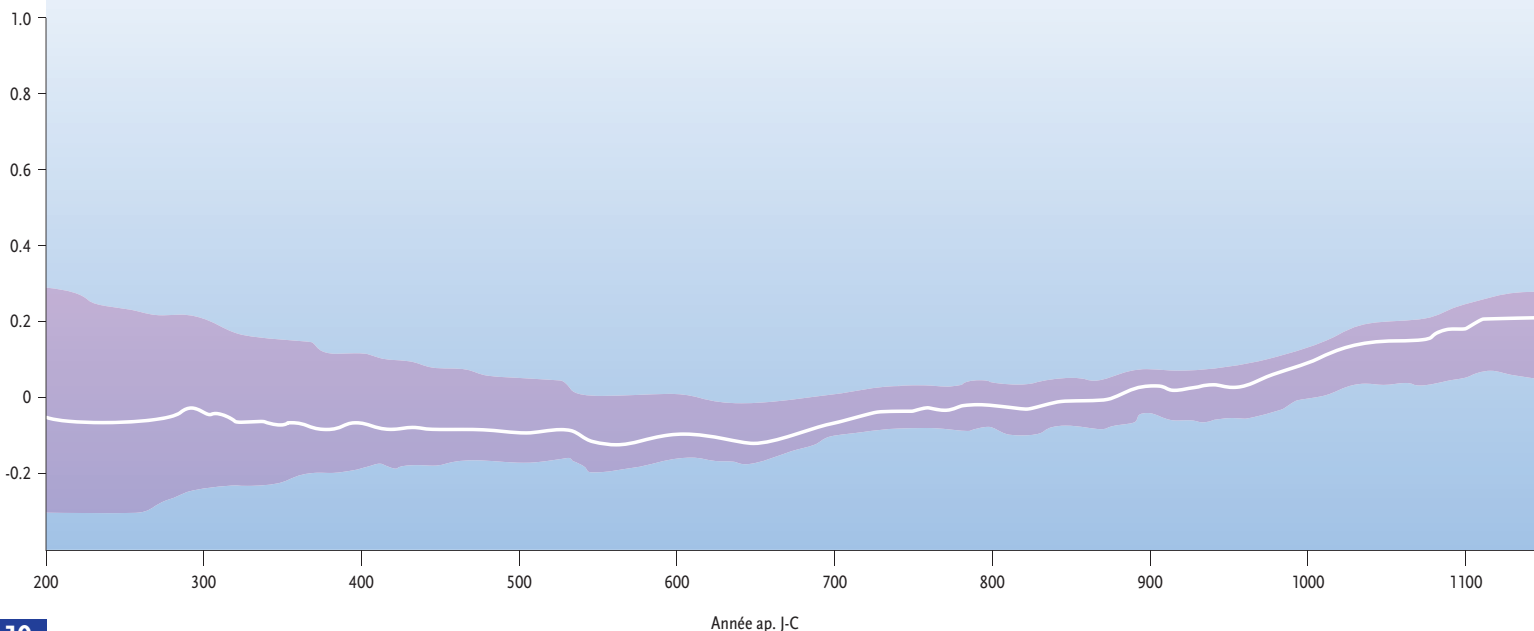
pondrait à un tel seuil, il est admis que le bilan massique de la calotte glaciaire dans son ensemble aurait commencé à diminuer bien avant que ce seuil ne soit atteint, un processus déjà en train depuis les années 1990 et 2000.

Certains des meilleurs modèles actuellement disponibles, dont plusieurs sont utilisés par le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), donnent foi à l'hypothèse du « seuil ». Sur la base des résultats des modèles, les scientifiques ont suggéré que des émissions cumulées de gaz à effet de serre équivalent à 3 000 Gt de CO₂ pourraient amener les températures au-delà du seuil de fonte irréversible de la calotte glaciaire du Groenland. Les actuelles émissions de CO₂ provenant des activités humaines pourraient donc être responsables d'une augmentation du niveau des mers pendant plusieurs siècles.

Toutefois, alors que la température de l'air du Groenland était supérieure de 5 °C durant la dernière période interglaciaire (l'Éémien, voir page 3), il faut noter que la calotte glaciaire du Groenland n'avait alors pas complètement fondu.

Niveau des mers du globe, m

Estimations passées



Le rôle de la calotte glaciaire du Groenland dans l'évolution du climat mondial

Les variations de la calotte glaciaire décrites ci-dessus sont induites par l'évolution des systèmes météorologiques régionaux au-dessus et autour de la calotte glaciaire, par les conditions océaniques et par les processus propres à la calotte glaciaire. Par ailleurs, les caractéristiques de la calotte glaciaire jouent un rôle majeur dans la formation du climat local et régional. Les variations de la calotte glaciaire peuvent aussi influencer sur le climat mondial et la circulation océanique.

Les mécanismes de rétroaction liant la calotte glaciaire du Groenland aux systèmes climatiques arctique et planétaire sont au cœur des préoccupations relatives aux incidences des changements futurs de la calotte glaciaire. Les risques encourus et les probables modifications futures de la calotte glaciaire sont très étroitement liés à la vitesse à laquelle ces changements (et donc la montée du niveau des mers) se produiront. Ceux-ci demeurent très incertains car ils dépendent des processus qui accélèrent l'écoulement des courants glaciaires et le mouvement des glaciers, processus qui sont encore mal compris. Ces facteurs doivent être étudiés de façon beaucoup plus approfondie.

La montée du niveau des mers

La montée du niveau des mers est un thème prioritaire dans toute discussion sur l'évolution climatique de notre planète. L'estimation de l'amplitude d'élévation du niveau des mers induit par les modifications de la calotte glaciaire du Groenland lors du siècle en cours et au-delà est donc une question clé et une source majeure d'incertitude dans les projections relatives à la future montée du niveau des mers.

Il est clair que la fonte de la calotte glaciaire contribue déjà à la montée du niveau des mers à

l'échelle planétaire, même si la fonte de la calotte glaciaire du Groenland n'est qu'un facteur parmi d'autres (voir encadré). Actuellement, la perte de glace annuelle de la calotte glaciaire du Groenland (160 ± 50 Gt) correspond à une élévation du niveau des mers d'environ d'un demi-millimètre par an, soit 10 à 20 % de la montée annuelle de 3 mm observée au niveau planétaire.

Projections des modèles jusqu'en 2100

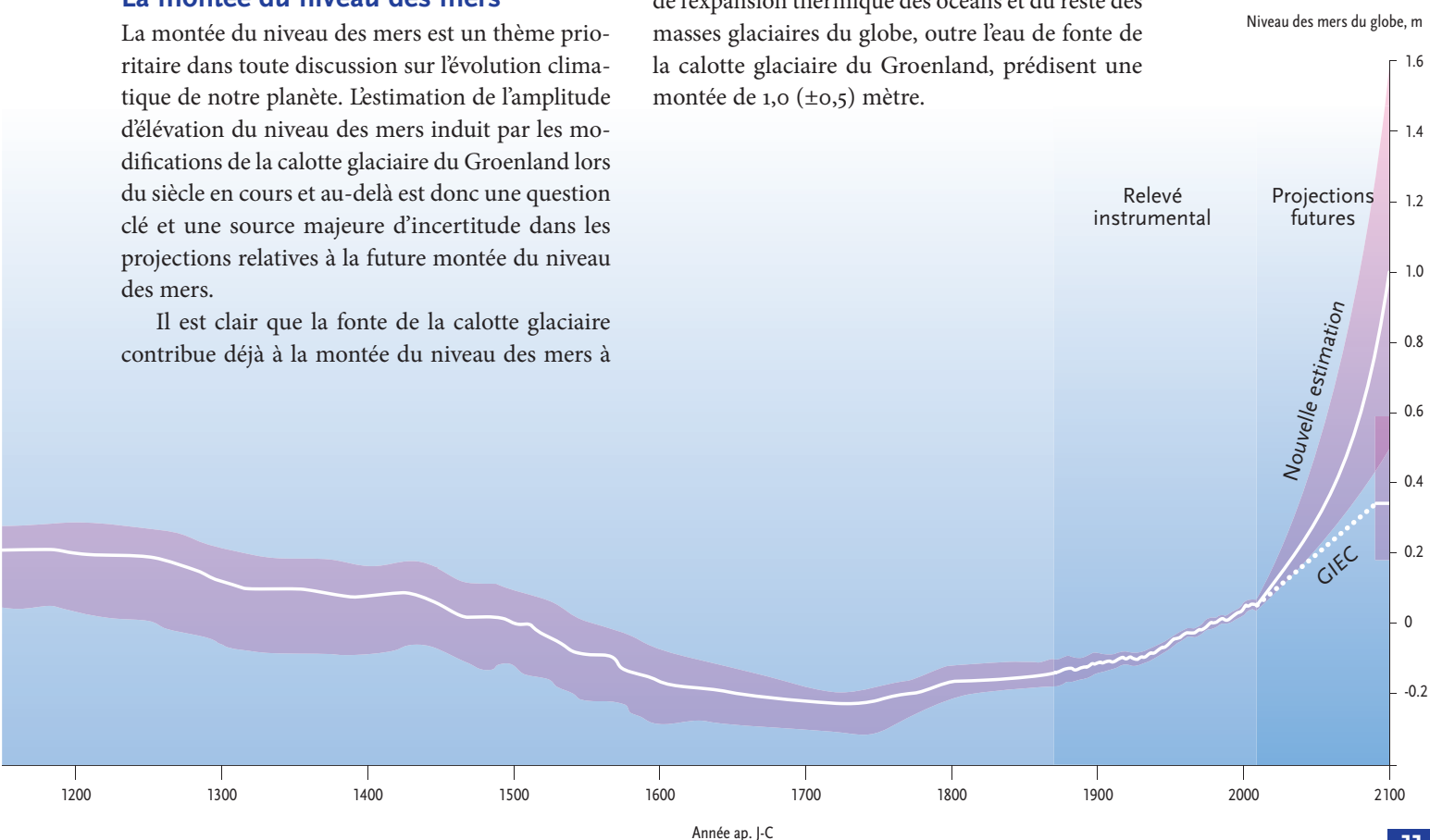
La plupart des modèles actuels suggèrent que la perte de glace de la calotte glaciaire du Groenland contribuera pour 5 à 10 cm à la montée du niveau des mers d'ici 2100. Mais d'autres estimations annoncent des chiffres plus élevés.

Si le réchauffement climatique devait causer une accélération générale de l'ablation glaciaire des glaciers émissaires, comme le laissent penser de récentes observations, la contribution de la calotte glaciaire du Groenland à l'élévation globale du niveau des mers pourrait atteindre 20 cm d'ici 2010, et peut-être même plus selon certains scénarios de réchauffement extrêmes.

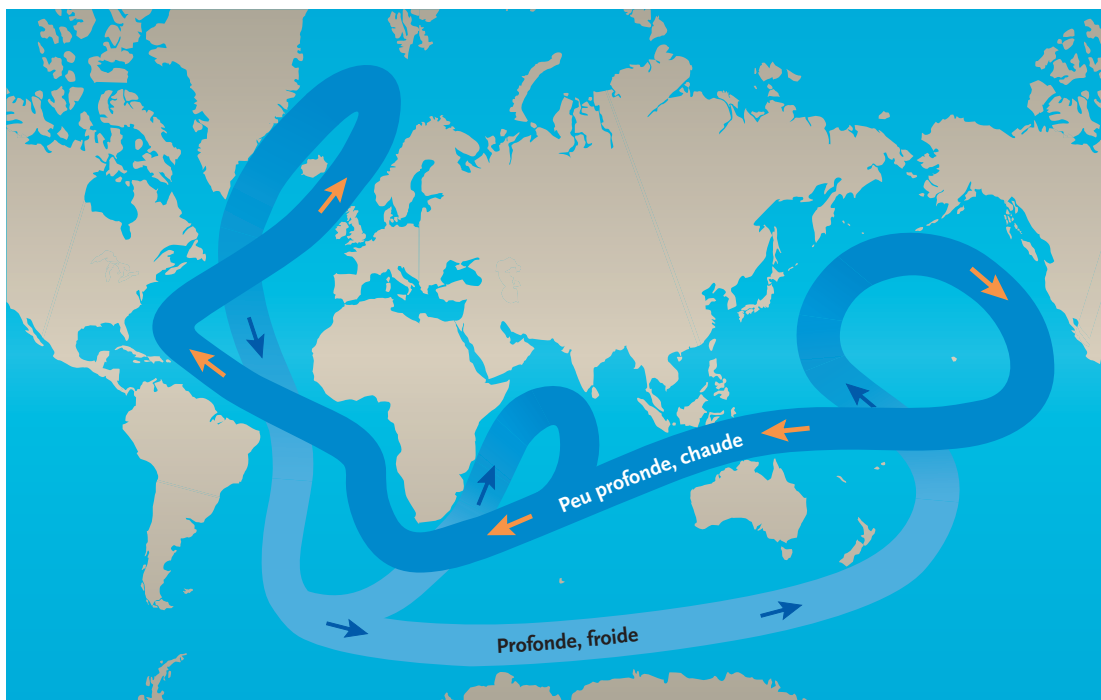
De récentes projections relatives à l'élévation du niveau des mers d'ici 2100 intégrant la contribution de l'expansion thermique des océans et du reste des masses glaciaires du globe, outre l'eau de fonte de la calotte glaciaire du Groenland, prédisent une montée de $1,0 (\pm 0,5)$ mètre.

Le réchauffement planétaire provoque une expansion des océans et une fonte des masses glaciaires terrestres. Ces deux processus contribuent à faire monter le niveau des mers à l'échelle planétaire. A l'heure actuelle, le principal processus responsable de l'élévation du niveau des mers est l'expansion thermique des océans

La future montée du niveau des mers a été calculée pour un réchauffement planétaire de 3 °C au XXI^e siècle. La ligne pointillée indique la prévision du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat des Nations Unies. L'ombre pourpre représente le degré d'incertitude de ces calculs.



La « circulation thermohaline » planétaire est la circulation océanique à grande échelle, également appelée *tapis roulant des océans*, *grand tapis roulant océanique*, ou *tapis roulant planétaire*. Les masses d'eau responsables de la circulation thermohaline transportent de la chaleur lorsqu'elles traversent le globe, si bien que toute modification de la puissance ou du mécanisme de cette circulation peut avoir des impacts importants sur le climat planétaire.



Projections des modèles au-delà de 2100

Dans une perspective plus éloignée, de l'ordre du millier d'années, les modèles actuels suggèrent que pour un réchauffement régional de 3 à 4 °C, la fonte de la calotte glaciaire du Groenland pourrait à elle seule accroître de plus d'un mètre la montée du niveau des mers du globe à l'aube de l'an 3000, alors qu'un réchauffement de 5 à 6 °C pourrait ajouter jusqu'à 2 mètres de hauteur. Cependant, plus les perspectives sont éloignées dans le temps, plus les projections des modèles sont incertaines.

Une fonte totale de la calotte glaciaire du Groenland pourrait faire monter le niveau des mers jusqu'à 7 mètres, une perspective terrible pour les populations côtières de la planète. Alors que la plupart des modèles de changement climatique laissent penser que la fonte complète de la calotte pourrait prendre 3 000 ans voire davantage, il est possible que des « seuils » de déstabilisation apparaissent dans un délai beaucoup plus court. Des mesures doivent être prises pour éviter l'apparition de changements dus au réchauffement planétaire auxquels nous ne pourrions plus nous adapter, et l'un de ces changements pourrait bien être lié à une fonte irréversible de la calotte glaciaire du Groenland.

Circulation océanique – le spectre d'un changement climatique « brutal »

L'impact que pourrait avoir la fonte des glaces arctiques sur les mécanismes de circulation océanique – et en particulier l'hypothèse selon laquelle une modification de la circulation océanique pourrait aller de pair avec une évolution « brutale » du climat – est une question qui a également fait l'objet d'une grande attention lors des débats climatiques de ces dernières années.

En particulier, le climat du nord-ouest de l'Europe est fortement influencé par les mécanismes de circulation océanique car les courants de surface chauds provenant de latitudes beaucoup plus basses et chaudes font circuler la chaleur au travers de l'océan Atlantique jusqu'en Norvège et à la mer de Barents. Sans apport de chaleur, les conditions hivernales du nord-ouest de l'Europe seraient similaires à celles du Labrador, dans l'est du Canada.

Quand les eaux de surface refroidissent dans les mers arctiques, elles s'alourdissent, s'enfoncent et refluent vers les océans du sud sous forme de courants océaniques froids et profonds. Ce processus est le moteur de la circulation thermohaline du globe, également appelée « tapis roulant océanique » (voir ci-dessus). Cet élément essentiel du système climatique terrestre établit un lien étroit entre l'Arctique au reste du monde et illustre l'importance planétaire du climat arctique. Certains signes indiquent que dans une région arctique plus chaude, l'effet de refroidissement qui fait que les eaux de surface s'enfoncent, combiné à un apport supplémentaire d'eau de surface douce provenant de la glace fondue et à une augmentation du débit des fleuves arctiques, pourrait ralentir la circulation océanique ou même, selon certains scientifiques, l'arrêter définitivement. Paradoxalement, alors que le climat mondial se réchauffe, la diminution du transport de chaleur par les courants océaniques dans le nord pourrait provoquer un refroidissement régional important dans les mers du Nord et de Barents, ainsi qu'une baisse de température de quelques degrés dans tout l'hémisphère Nord. Tout laisse penser que de tels changements de la circulation océanique se sont produits pendant de très courtes périodes (des décennies) par le passé,

conduisant à des modifications du climat régional considérées comme « brutales ».

Dans son 4^e rapport d'évaluation, le GIEC conclut que le principal courant qui transporte l'eau chaude jusqu'en Arctique (la circulation océanique méridienne Atlantique) devrait « très probablement » décroître au cours du XXI^e siècle mais que cela ne devrait pas provoquer de refroidissement en Europe, et qu'il est « très improbable » que ces changements se fassent brutalement. Toutefois, aucun des modèles utilisés pour étayer ces déclarations ne prend en compte l'impact de la fonte des calottes glaciaires. La circulation thermohaline planétaire étant alimentée par des différences de densité, il est tout à fait possible que l'augmentation d'eau de fonte provenant du Groenland ait un certain impact sur la circulation océanique, et par extension sur le climat mondial.

Dans les quelques études où les modèles de circulation océanique sont associés à des modèles de calottes glaciaires, la plupart des résultats suggèrent que l'eau de fonte provenant de la calotte glaciaire du Groenland a peu d'effet sur la circulation océanique méridienne Atlantique. Cela s'explique principalement par le fait que le volume d'eau douce apporté par l'ablation de la calotte glaciaire du Groenland est environ dix fois moins important que celui des grands fleuves qui s'écoulent vers le nord pour se déverser dans l'océan Arctique, comme le Mackenzie en Amérique du Nord et l'Ob, l'énisseï et la Lena dans le nord de la Russie. Cependant, il est important de mieux comprendre l'impact de l'eau douce issue de la calotte glaciaire du Groenland afin de pouvoir évaluer la stabilité

de la circulation dans l'Atlantique nord selon les scénarios d'évolution climatique futurs mais aussi pour comprendre ses effets plus locaux sur la circulation océanique autour du Groenland.

La glace de mer

L'eau de fonte qui se déverse dans les mers autour du Groenland accroît la stabilité des couches de surface de la mer et favorise le gel. Ceci laisse penser qu'une augmentation des volumes d'eau de fonte issus de la calotte glaciaire du Groenland pourrait « préconditionner » des étendues encore plus vastes d'eaux de surface pour qu'elles produisent de la glace durant l'hiver. Les observations montrent cependant que la couverture de glace de mer autour du Groenland a diminué ces dernières années. Cela montre à quel point il est difficile de prédire l'impact global combiné d'une augmentation de la température de l'air et des apports d'eau douce.

La présence de glace de mer reliée à la terre au niveau de la côte (banquise côtière) semble également avoir un impact sur l'avancée et le recul des glaciers qui s'écoulent dans la mer. Bien que la glace de mer ne puisse stopper l'écoulement de ces énormes glaciers, il semble qu'elle soit capable d'empêcher temporairement le vèlage des icebergs. Ainsi, au nord-est du Groenland, le glacier 79 a connu une période où la banquise côtière permanente ne permettait qu'une faible formation d'icebergs, suivie d'une période très riche en formation d'icebergs lorsque les glaces accumulées pendant plusieurs années ont soudainement cédé quand la banquise a disparu.

L'intégration est la clé de la compréhension des impacts sur l'écosystème marin

Nous savons peu de choses sur la façon dont la fonte de la calotte glaciaire du Groenland influe sur l'écosystème marin autour du Groenland, et cette question fait actuellement l'objet de différentes études scientifiques. Il sera toutefois difficile d'attribuer des changements spécifiques de l'écosystème aux variations de la calotte glaciaire dans la mesure où l'écosystème reflète les impacts combinés de nombreux facteurs différents. La calotte glaciaire du Groenland n'est que l'une des composantes de la cryosphère arctique susceptibles d'affecter l'écosystème marin en cas de changement climatique. Les variations de la glace de mer joueront un rôle particulièrement important. Cette section donne des exemples illustrant la manière dont les variations de la calotte glaciaire du Groenland sont à même d'affecter les systèmes biologiques marins. Pour répondre correctement à ces questions, il faudra utiliser une évaluation intégrée prenant aussi en compte des composantes autres que la calotte glaciaire du Groenland. De ce fait, les éléments présentés ci-après sont très différents des données relatives à l'environnement physique exposées précédemment.

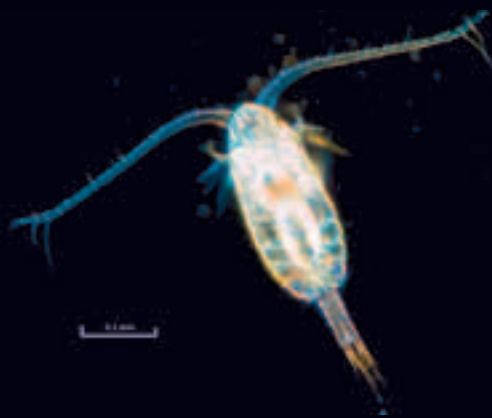
Des effets en cascade sur la chaîne alimentaire

L'évolution climatique a des effets prononcés sur les systèmes marins à travers le monde. Dans le cas du Groenland, l'important débit d'eau douce généré par la fonte de la calotte glaciaire est un facteur supplémentaire contribuant à de vastes changements de l'environnement physique. Ces changements pourraient avoir des conséquences majeures sur la chaîne alimentaire et un impact extrême sur l'économie groenlandaise, qui est très dépendante de la pêche. L'influence des changements induits par le climat sur les producteurs primaires dont dépend le reste de la chaîne alimentaire fait l'objet d'une attention particulière.

Lorsque la chaleur et la lumière reviennent en Arctique à la fin du long hiver polaire, les algues se multiplient rapidement (on parle alors de « bloom printanier ») dans l'eau de surface, qui sont éclairées par le soleil et riches en nutriments. Le volume de production primaire annuel dépend d'un certain nombre de facteurs dont le volume de glace de mer et le moment où elle se rompt, la profondeur de pénétration dans l'eau des rayons du soleil et la quantité de nutriments disponible. Tous ces fac-

La chaîne alimentaire arctique.

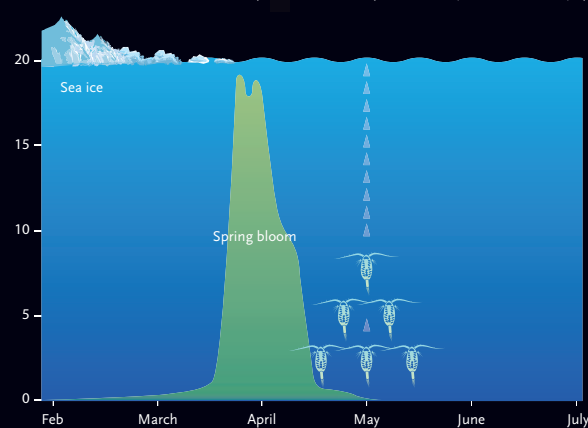
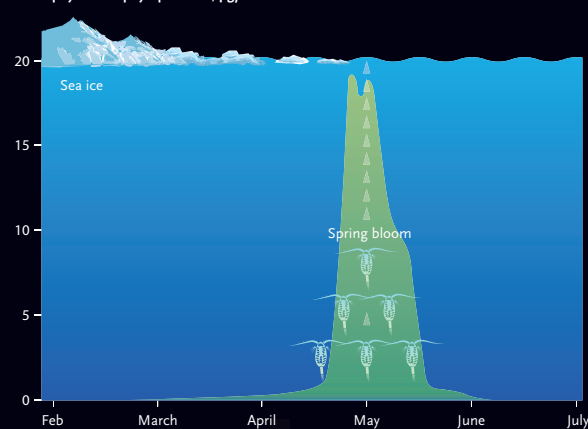




Le copépode *Calanus* est une espèce clé de l'écosystème marin arctique car il assure un transfert d'énergie vers le haut de la chaîne alimentaire à partir des producteurs primaires qui constituent le premier maillon. Ce transfert d'énergie par les graisses est l'une des principales raisons expliquant la présence de stocks énormes de poissons, d'oiseaux et de mammifères marins dans les eaux arctiques.

Pour que le transfert d'énergie puisse se faire le long de la chaîne alimentaire, il faut que le *Calanus* migre vers la surface des mers lorsque le phytoplancton prolifère au moment de la fonte des glaces (tracé supérieur). Les années où la fonte se fait plus tôt ou lorsqu'il ne s'est pas formé de glace de mer, le bloom printanier se fait plus tôt et le copépode peut alors arriver dans les eaux superficielles après le pic de prolifération (tracé inférieur). En cas de décalage, le transfert d'énergie le long de la chaîne alimentaire sera limité.

Chlorophylle a du phytoplancton, µg/l



teurs sont affectés directement ou indirectement par l'évolution climatique et par l'eau douce provenant de la calotte glaciaire du Groenland.

L'augmentation des volumes d'eau de fonte et du nombre d'icebergs de la calotte réduit la salinité et la densité de l'eau de surface, en particulier dans les fjords et les eaux côtières. Ce phénomène a un impact important sur la production primaire. La circulation à l'intérieur des fjords peut également s'en trouver modifiée. Lorsque l'eau de fonte douce provenant de la calotte glaciaire s'écoule hors des fjords, elle crée une entrée d'eau de mer importante provenant de l'océan environnant, qui apporte des nutriments dans les fjords.

Les modifications de la quantité et du calendrier de la production primaire influenceront fortement sur le transfert d'énergie le long de la chaîne alimentaire arctique, affectant en dernier lieu les populations de poissons, d'oiseaux et de mammifères autour du Groenland, avec les conséquences majeures que cela implique pour la structure, la productivité et le potentiel d'exploitation de l'écosystème marin du Groenland.

L'économie groenlandaise repose principalement sur la pêche

Les mers qui entourent le Groenland sont d'importantes zones de pêche, en particulier pour la cre-



BRYAN & CHERRY ALEXANDER/ARCTICPHOTO



CARSTEN EGEVANG/ARC-PIC

La crevette nordique (*Pandalus borealis*), qui est actuellement la principale ressource marine du Groenland, compte pour plus de 70 % dans les recettes totales de la pêche. Les prises ont augmenté progressivement et représentent aujourd'hui quelque 150 000 tonnes par an, dont 90 à 95 % sont réalisées à l'ouest du Groenland.

Le flétan du Groenland (*Reinhardtius hippoglossoides*) est pêché dans les eaux du Groenland depuis la fin du XIXe siècle, alors qu'une petite industrie de la pêche côtière se développait autour d'Ilulissat. La pêche en pleine mer au large du Groenland oriental et occidental s'est développée beaucoup plus tard, au début des années 1970. Les prises récentes (66 000 tonnes en 2007) se répartissent à égalité entre la pêche côtière à l'ouest, et la pêche de pleine mer à l'ouest et à l'est.



CARSTEN EGEVANG/ARC-PIC

vette nordique et le flétan du Groenland qui jouent un rôle majeur dans l'économie groenlandaise.

La présence de glace de mer est un facteur déterminant pour cette industrie de la pêche. Certaines grandes zones de pêche à la crevette sont périodiquement inaccessibles du fait de la couverture de glace. De même, la pêche au flétan du Groenland en haute mer est tributaire de la présence de glace de mer à l'est et à l'ouest du Groenland. La glace de mer a aussi une influence sur les modes de subsistance traditionnels que sont la chasse et la pêche dans les zones côtières, en particulier lorsque la glace est trop mince pour supporter le poids des pêcheurs et de leurs chiens mais trop épaisse pour permettre aux petites embarcations de la traverser. La manière dont la fonte de la calotte glaciaire de Groenland peut influencer sur l'épaisseur et l'étendue de la glace de mer est encore assez mal connue (voir page 13).

Dans l'ensemble, les effets directs de l'augmentation des volumes d'eau de fonte provenant de la calotte glaciaire du Groenland sur les stocks de poissons locaux seraient relativement peu importants comparés à ceux dus à l'augmentation de la température de la mer, en particulier dans les zones de pêche de pleine mer. Mais un certain nombre d'effets indirects pourraient apparaître. Les modifications de l'environnement responsables d'un décalage entre l'éclosion des larves de crevette et le bloom printanier des algues (nourriture de la crevette) pourraient affecter la pêche de la crevette nordique. Pour le flétan du Groenland, qui fraie dans les eaux profondes puis dont les larves se laissent dériver dans des eaux plus tièdes et favorables, des modifications des courants océaniques pourraient avoir un impact important.



CARSTEN EGEVANG/ARC-PIC

Bateaux de pêche dans le port d'Ilulissat.

Impacts sur la société humaine

La calotte glaciaire est une composante fondamentale du Groenland, à tel point que depuis l'apparition des premiers habitants, les effets des variations climatiques sur la calotte glaciaire ont eu un impact énorme sur les populations humaines qui vivaient autour. L'histoire des cultures paléoesquimaudes primitives du Groenland puis de la culture de Thulé qui leur a succédé, évoluant peu à peu pour donner naissance à l'actuelle société inuit du Groenland, a été marquée par une série d'adaptations aux changements climatiques et aux interactions croissantes avec la culture européenne (voir pages 20/21).

Bien que les preuves archéologiques montrent que la plupart des évolutions majeures de la société groenlandaise ont coïncidé avec des changements fondamentaux de l'environnement, ces interactions sont complexes et les évolutions socio-économiques et culturelles dues aux modifications de l'environnement physique affectent elles-mêmes la manière dont la société réagit aux changements futurs de la calotte glaciaire. Ces interactions passées ne peuvent en aucun cas être utilisées pour prévoir les impacts directs ou indirects des futurs changements de la calotte glaciaire sur la société groenlandaise moderne.

Une longue tradition d'adaptation au changement

Les sociétés arctiques, notamment celles du Groenland, ont toujours évolué et montré une grande résilience dans leur capacité à s'adapter au changement. C'est encore le cas aujourd'hui, avec une économie qui a connu durant le XIX^e et le XX^e siècle des transformations fondamentales liées, au

moins en partie, aux changements de l'environnement physique.

L'aptitude d'une société à réagir aux modifications de l'environnement physique est le reflet des interactions entre les modifications environnementales et les changements des structures socio-économiques. Ainsi, une société dont l'économie est basée sur un large éventail de ressources est moins vulnérable à l'impact des changements climatiques qu'une société dont l'économie repose sur une ressource unique (par exemple une seule espèce de poisson). A Kangaatsiaq, dans le Groenland de l'Ouest, l'économie locale a toujours été suffisamment diversifiée pour que la communauté puisse réagir rapidement aux modifications environnementales en alternant entre différentes activités ces 70 dernières années: chasse au phoque et au caribou, pêche au cabillaud, pêche au saumon, capture de phoques au filet, pêche au poisson-chat, pêche à la crevette au chalut, chasse au caribou utilisant d'anciens bateaux de pêche pour le transport sur les zones de chasse, capture du crabe des neiges ou encore capture du lump. A Uummannaq et à Upernavik, toujours dans le Groenland de l'Ouest, où les modifications de l'état de la glace de mer avaient rendu difficiles la chasse et la pêche sur et depuis la glace, les communautés ont réagi en se tournant vers des activités de pleine mer utilisant des bateaux.

Grâce à l'amélioration des transports et des communications, de nouvelles activités comme le tourisme ont apporté de nouvelles sources de revenus, remplaçant jusqu'à un certain point la chasse et la pêche de subsistance.

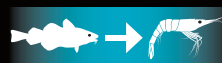
L'économie du Groenland a connu trois transitions majeures au cours du XIX^e et du XX^e siècles.

Transformations récentes de l'économie de la pêche au Groenland

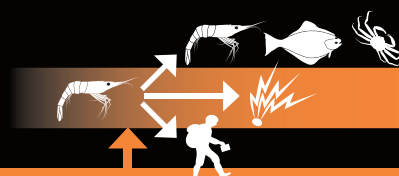
1890 1900 1910 1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010



L'économie du Groenland, qui repose sur les ressources de la mer, a opéré une **transition majeure** lorsqu'elle a abandonné l'exploitation des mammifères marins pour la pêche. Cette transition a coïncidé avec une nette augmentation de la température des mers et une diminution des stocks de mammifères marins (ainsi qu'un déclin du marché mondial de la graisse et de la fourrure de phoque). Le cabillaud de l'Atlantique est devenu la principale espèce exploitée.



L'économie de la pêche a connu une **deuxième transition** majeure avec le passage d'une pêche axée sur le cabillaud de l'Atlantique à une pêche centrée sur la crevette nordique. Cette transition a essentiellement été motivée par l'effondrement des stocks de cabillaud de l'Atlantique au Groenland. Plusieurs facteurs ont contribué à cet effondrement, dont probablement la chute observée de la température des mers qui a réduit le frai du cabillaud de l'Atlantique dans les mers du Groenland.



La **troisième transition** majeure subie par l'économie de la pêche au Groenland est la tendance actuelle à une plus grande diversification de l'industrie de la pêche. Cette transition s'explique sans conteste par les variations actuelles de la température des mers. Bien que la pêche à la crevette occupe toujours une place prépondérante dans l'économie, des espèces comme le flétan du Groenland et le crabe des neiges prennent de plus en plus d'importance. Des activités sans rapport avec les ressources renouvelables apportent une contribution croissante à l'économie groenlandaise.

Le tourisme constitue une source de revenus de plus en plus importante.



BRYAN & CHERRY ALEXANDER/ARCTICPHOTO

Les conséquences des changements à venir pour la calotte glaciaire

Les changements de l'environnement terrestre et marin affectent le quotidien de la plupart des communautés groenlandaises, en particulier celles qui dépendent en grande partie d'une économie de subsistance. La possibilité de se déplacer sur la mer et le transport maritime depuis et vers le Groenland sont essentiels pour la chasse, la pêche et le tourisme. Les villages abandonnés témoignent de l'incapacité de certaines communautés à s'adapter au

changement. Les habitants des communautés rurales isolées semblent particulièrement vulnérables. La chasse aux mammifères terrestres comme le caribou et le bœuf musqué est importante pour certaines communautés et les modifications de la calotte glaciaire qui altèrent les mécanismes de drainage de l'eau de fonte peuvent à leur tour influencer sur les migrations animales. La chasse de subsistance de mammifères et d'oiseaux marins est également importante, en particulier dans les petits villages isolés. Les modifications de la glace de mer et de la température des mers entraîneront probablement une modification des structures de la chaîne alimentaire, diminuant la disponibilité de certaines espèces et augmentant celle d'autres espèces.

La société moderne évolue rapidement au Groenland avec près de 80 % de la population impliquée dans le secteur des services, notamment dans l'administration, la formation et autres activités similaires. Ces schémas sont particulièrement nets dans les grands centres de population comme Nuuk, la capitale du Groenland. Bien que la pêche demeure la première source de revenus du pays, le potentiel considérable du Groenland en termes de matières premières, notamment le pétrole et le gaz, les minéraux et l'exploitation de l'énergie hydroélectrique (eau de fonte provenant de la calotte glaciaire), suscite un intérêt croissant. Les ressources renouvelables comme le poisson seront touchées par les changements climatiques qui, entre autres effets, influent directement sur l'environnement dans lequel vit le poisson. Les répercussions de cette évolution climatique sur les ressources non renouvelables se traduiront principalement par des



BRYAN & CHERRY ALEXANDER/ARCTICPHOTO

Un chasseur inuit capture des mergules nains à l'aide d'un filet muni d'une longue tige.



Entre 1973 et 1990, plus de 11 millions de tonnes de minerai ont été extraites de la mine de plomb et de zinc Black Angel de Maarmorilik, dans l'ouest du Groenland. Cette mine située au bord de la calotte glaciaire a fortement contribué à l'économie locale jusqu'à ce que le minerai accessible soit épuisé. Bien que du minerai de haute qualité ait été localisé à proximité, la glace qui le recouvre rendait son accès difficile. Une fonte importante du bord de la couverture de glace a récemment amélioré les conditions d'accès, rendant possible l'exploitation du minerai auparavant recouvert par la glace.

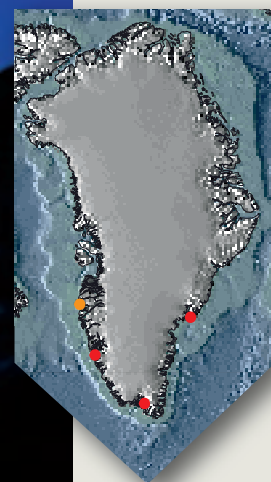


TOMMY HATTING SØRENSEN

effets indirects sur l'accessibilité et les transports.

Les volumes croissants d'eau de fonte provenant de la calotte glaciaire sont utilisés pour produire de l'hydroélectricité. Il existe trois centrales hydroélectriques en exploitation au Groenland, d'autres sont prévues. La fonte de la glace étant susceptible d'accroître considérablement les ressources en eau disponibles pour la production d'hydroélectricité, la stabilité de l'approvisionnement en eau des centrales alors que les bords de la calotte glaciaire reculent doit aussi être prise en considération.

La société groenlandaise change à une vitesse sans précédent, sous l'influence première de la mondialisation. Dans ce contexte, les impacts directs des modifications de la calotte glaciaire du Groenland devraient être relativement faibles, du moins dans un avenir proche. Reste à savoir ce qui se produira à plus long terme, en particulier si l'évolution climatique globale induit des changements majeurs, notamment au niveau de la dépendance économique du Groenland vis-à-vis de la pêche par opposition aux ressources non renouvelables.



- Opérationnelle
- En construction

IVARS SILLIS

L'énergie hydroélectrique est une ressource de plus en plus utilisée au Groenland. Cette énergie provient exclusivement des bassins hydrologiques alimentés par l'eau de fonte de la calotte glaciaire du Groenland. Les trois centrales hydroélectriques exploitées au Groenland

produisent actuellement suffisamment d'électricité pour couvrir 43 % de la consommation d'énergie nationale. Une quatrième usine sera prochainement mise en service près de Sisimiut et une cinquième est en projet près d'Ilulissat.

Modifications de la calotte glaciaire du Groenland et activités humaines dans la région d'Ilulissat

Le glacier d'Ilulissat (*Sermeq Kujalleq*) et le fjord de glace d'Ilulissat (*Kangia*) ont toujours eu un impact considérable sur le développement des activités humaines dans la région. Grâce à une eau de fonte riche en nutriments qui se déverse dans le fjord de glace, la région de la Baie de Disko bénéficie d'excellentes conditions de chasse et de pêche autour desquelles s'articule la vie des communautés humaines locales. Les zones de chasse et habitats préhistoriques ont été établis et abandonnés au gré des avancées et des reculs du glacier.



Cairn sur une arête montagneuse, témoignage de plusieurs millénaires d'activité humaine dans la région d'Ilulissat.

Habitations inuits, changements culturels et rôle du fjord de glace d'Ilulissat

Différents groupes sont arrivés dans la région, s'y sont établis pendant des périodes allant de quelques années à plusieurs siècles puis ont disparu. Ainsi, la région s'est trouvée inhabitée à plusieurs reprises. Elle est peuplée de manière permanente depuis l'arrivée des hommes de la culture de Thulé, vers 1200 après J.-C., avec la création de deux communautés florissantes, *Sermermiut* et *Qajaa*. Ces sites de peuplement inuit préhistorique sont parmi les plus importants découverts au Groenland, et ils indiquent la présence de ressources riches, stables et abondantes pendant de très longues périodes.

Le fjord de glace d'Ilulissat et les répercussions socio-économiques actuelles

La ville de Jakobshavn (aujourd'hui Ilulissat) fut fondée 1741, conduisant à la dépopulation de *Sermermiut* autour de 1850. Aujourd'hui, Ilulissat est la troisième ville du Groenland avec une population de 4 000 âmes. La moitié des pêcheries côtières du Groenland y sont installées.

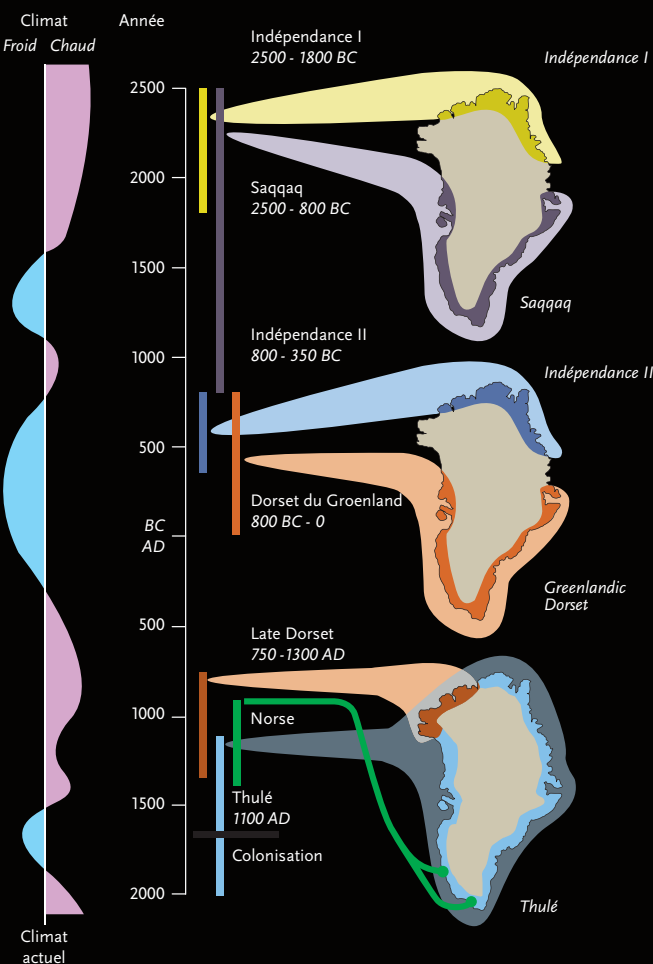
L'abondance des ressources et l'aptitude de la culture traditionnelle à s'adapter aux changements environnementaux sont vitales pour la prospérité de la région. Cependant, il semble que les évolutions environnementales actuellement observées soient moins prévisibles qu'auparavant, et porteuses de plus grands défis. Elles pourraient profondément modifier la disponibilité des nutriments, influant à terme sur les stocks de flétan du Groenland et de crevette nordique. Ces espèces sont extrêmement importantes pour les hommes mais aussi pour les phoques et les baleines, qui constituent une grande partie de l'alimentation quotidienne des Inuits de la région et de leurs chiens de traîneau. Les oiseaux marins représentent également une part importante du régime alimentaire traditionnel. La reproduction et la répartition de certaines espèces d'oiseaux marins sont très sensibles à l'évolution climatique. Quand les chaînes alimentaires se modifient, d'autres espèces s'installent dans la région, ouvrant la voie à de nouvelles activités économiques potentiellement lucratives mais également à des conséquences inconnues pour les espèces existantes. Il est plus compliqué de s'adapter à de tels changements dans la société actuelle car les pêcheries sont fortement industrialisées et la mise en place de nouveaux types de production est coûteuse, demande une implication internationale et exige une réglementation régissant la gestion, l'accessibilité et les droits. Les modifications de la glace de mer, en particulier la diminution de cette glace en hiver, influenceront inévitablement sur la chasse et la pêche de subsistance. Elles auront aussi probablement des effets sur le transport maritime, et l'accès aux stocks de poissons commerciaux pourrait s'en trouver facilité, ce qui provoquera des changements dans l'industrie de la pêche. En cela, les modifications de la calotte glaciaire du Groenland suite à l'évolution climatique ne peuvent être dissociées des changements qui touchent d'autres composantes de la cryosphère.

Du fait de la nature imprévisible des changements de la calotte glaciaire du Groenland, il est difficile de planifier et de gérer leurs impacts. En outre, une mauvaise gestion peut conduire à des erreurs graves voire irrémédiables.

Le fjord de glace et son impact sur la science, la politique et le tourisme

Le fjord de glace d'Ilulissat abrite l'un des glaciers les plus étudiés au monde. Le fjord a d'abord été étudié par H. J. Rink au milieu du XIX^e siècle, travaux sur lesquels s'est fondée la théorie des glaciations du Quaternaire. Ce fjord fait encore l'objet de recherches internationales en raison des changements exceptionnels qu'il subit alors que le climat se réchauffe.

Le fjord de glace d'Ilulissat a été inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO en 2004 en raison du caractère exceptionnel du site et des interactions considérables entre nature et culture dans cette région. Le fjord est ainsi devenu l'une des principales destinations touristiques du Groenland et plus de la moitié des touristes qui visitent le Groenland séjournent dans la région.



Chronologie des différentes cultures qui ont colonisé le Groenland et courbe de l'évolution climatique générale des dernières 4 500 années.

KONRAD STEFFEN



CARSTEN EGEVANG/ARCTIC-PIC



BRYAN & CHERRY ALEXANDER/ARCTICPHOTO



CARSTEN EGEVANG/ARCTIC-PIC



CARSTEN EGEVANG/ARCTIC-PIC



BRYAN & CHERRY ALEXANDER/ARCTICPHOTO



Conclusion

La calotte glaciaire du Groenland est l'une des nombreuses composantes de la cryosphère arctique qui présentent des changements liés au réchauffement climatique. Les implications de ces changements sur les composantes de la cryosphère arctique, potentiellement lourdes de conséquences pour l'Arctique comme pour toute la planète, sont abordées dans le cadre du projet SWIPA (www.amap.no/swipa).

Les travaux du projet SWIPA s'articulent autour de trois pôles principaux: la glace de mer

arctique, la calotte glaciaire du Groenland et la cryosphère terrestre. La composante terrestre est elle-même subdivisée en quatre modules: neige, permafrost, glaciers et calottes, hydrologie. Des rapports évaluant individuellement chaque composante/module seront élaborés durant l'année 2010 et présentés au Conseil arctique au printemps 2011. Un rapport d'évaluation intégré reprenant les principales conclusions des rapports individuels sera rédigé en 2010 pour être présenté au Conseil arctique au printemps 2011.

