

LES GLACES DU GROENLAND : TEMDOINS ET ACTEURS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Comité scientifique :
V. Masson-Delmotte,
M. Kageyama,
M. Montagnat,
D. Salas

Comité pédagogique :
Françoise Ribola et Chantal Decarroz
partenariat avec l'Académie de Versailles



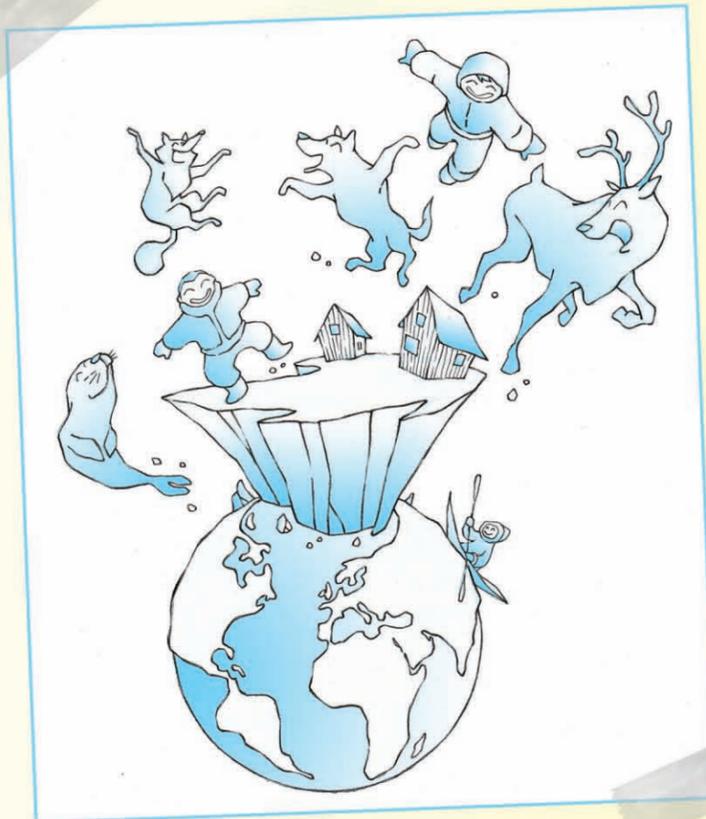
Illustrations & Conception graphique :
Fabrice Beau

La plus grande île du monde a une surface de 2.2 millions de km² (4 fois la France!).

Au centre, elle est couverte d'une épaisse couche de glace, l'inlandsis, qui s'étale sur 2400 kilomètres de longueur et 1100 kilomètres de largeur. Cette calotte groenlandaise est formée par l'accumulation de neige, année après année, pendant des dizaines de millénaires, sur une épaisseur moyenne de plus de 2 kilomètres. Atteignant plus de 3 kilomètres d'épaisseur à son centre, elle représente 10% de l'eau douce terrestre. Si toute cette glace fondait, cela ferait monter le niveau des mers de 7 mètres !

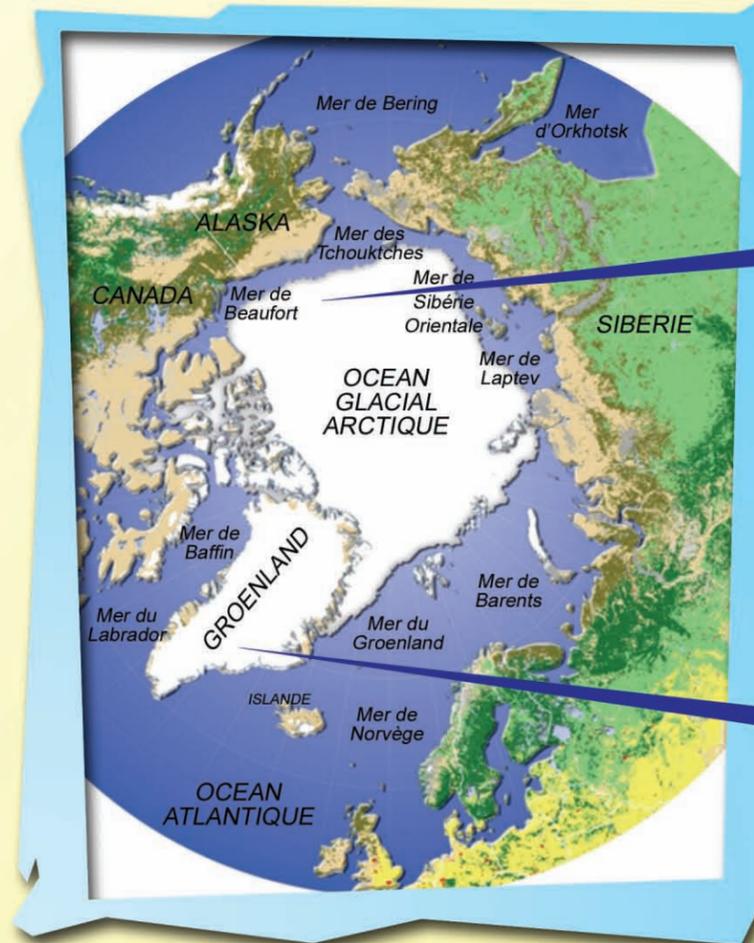
Les glaciers ne couvrent pas tout le Groenland. Près des côtes, les paysages sont variés : toundra, landes, tourbières, marécages, lacs, rocailles... On y rencontre toute une faune marine (phoques, baleines, poissons, oiseaux marins, ours polaires) mais aussi terrestre (oiseaux, lièvres, renards, rennes, bœufs musqués...).

LE GROENLAND



Le nom de Groenland a été rapporté par les sagas islandaises. Le Viking Eric le Rouge aurait appelé cette terre «Gruntland» (terre de fondation) ou «Groenland» (terre verte), pour attirer de nouveaux colons ! Aujourd'hui, «Kalaallit Nunaat» est le terme utilisé pour désigner la «Terre des Groenlandais».

Géographiquement, le Groenland est lié au continent nord américain. Historiquement, le Groenland est lié à l'Islande, à la Norvège et au Danemark. Région autonome du Danemark, territoire associé à la Communauté Européenne (mais qui ne fait pas partie de l'Union Européenne), le Groenland est un membre actif de la Conférence Circumpolaire Inuit, qui regroupe les 150 000 Inuits du grand nord (Etats-Unis, Canada, Groenland, Russie).



Océan Arctique avec son «couvercle» de banquise (quelques mètres d'épaisseur).

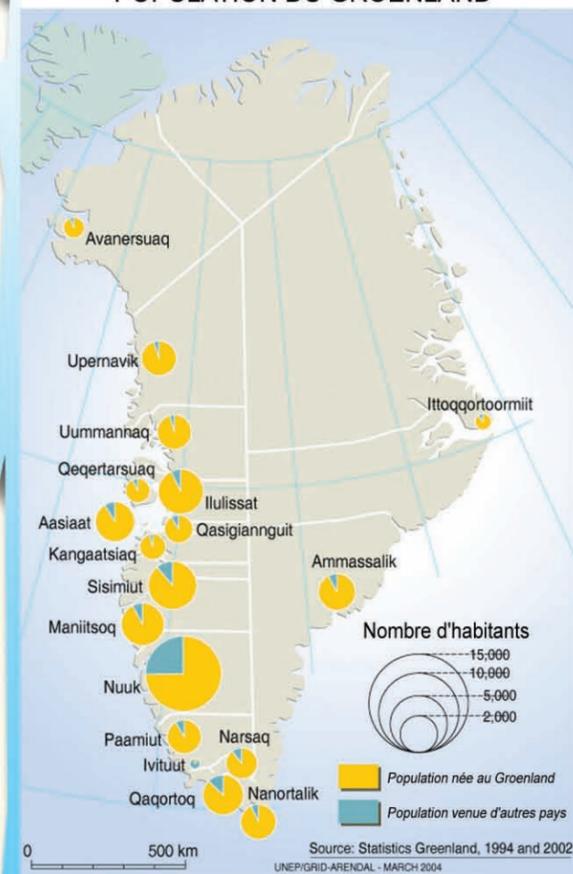
Inlandsis : Hauteur de glace moyenne : plus de 2 km !

Certaines roches du Groenland sont parmi les plus anciennes connues, âgées de plus de 3,8 milliards d'années. L'île du Groenland a été façonnée par la tectonique des plaques, avec une partie ouest commune avec le nord-ouest américain, et une partie montagneuse à l'est commune avec le nord-est de l'Europe (Irlande, Ecosse, Scandinavie). La glaciation du Groenland a démarré il y a environ 3 millions d'années.





POPULATION DU GROENLAND



LE PEUPELEMENT DU GROENLAND

La population du Groenland dépasse aujourd'hui 56 500 habitants, dont 50 000 sont nés au Groenland. Les principales ressources du pays sont la pêche industrielle (crevette nordique, flétan, morue...), dont les produits sont exportés en Europe, la chasse traditionnelle (phoques...), l'exploitation des ressources minières, le tourisme, et, dans quelques vallées fertiles du Sud, l'élevage de moutons. La majorité des Groenlandais (60%) vit dans 6 grandes villes (14 000 habitants dans la capitale, Nuuk) ; le reste de la population habite dans 120 villages isolés. L'espérance de vie est de 62 ans pour les hommes et 67 ans pour les femmes.

Le Groenland a 2 langues officielles : le Groenlandais (Kalaallisut) et le Danois. Le Groenlandais fait partie de la famille des langues inuites-aléoutes parlées au Canada, en Alaska et en Sibérie. Il existe trois autres dialectes parlés dans le nord et l'est du Groenland.

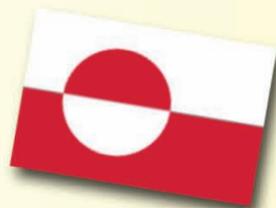
Les études archéologiques montrent plusieurs vagues de peuplement du Groenland, où différentes cultures paléo-eskimos se sont succédé depuis plus de 4000 ans. Ces peuples, originaires de Sibérie, ont migré à travers tout l'Arctique et se sont installés au Groenland depuis l'Amérique du Nord. Les Thuléens, derniers arrivants, se sont installés à partir des années 1200 au Groenland, et sont les ancêtres des Groenlandais.

Les Vikings, grands navigateurs, sont les premiers européens à avoir abordé au Groenland. Eric le Rouge installa 2 colonies au sud est et au sud ouest du Groenland, à partir de l'année 985. Les fermiers vikings réussirent à survivre jusqu'au 15ème siècle puis disparurent, parce que leur mode de vie ne leur a pas permis de faire face aux variations climatiques.

A partir du 16ème siècle, les baleiniers européens naviguèrent régulièrement près du Groenland. A partir de 1721, le Danemark colonisa le Groenland en envoyant des missionnaires et en établissant des comptoirs commerciaux. Pendant la 2ème guerre mondiale, le Groenland fut isolé du Danemark et développa ses relations avec les Etats-Unis et le Canada.

Depuis 1979, le Groenland a un gouvernement autonome, au sein du royaume du Danemark. Pour protéger ses ressources en pêche, il n'a pas voulu intégrer l'Union Européenne : le Groenland s'est prononcé par référendum en 2008 pour une **autonomie renforcée**.

Les Groenlandais sont préoccupés de l'impact du changement climatique sur leur mode de vie, leurs ressources naturelles, leur économie. Un centre de recherches sur le climat vient d'être lancé à l'Université du Groenland, à Nuuk.

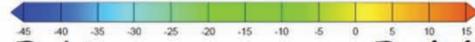


Le drapeau du Groenland représente le soleil de minuit au-dessus de la calotte polaire



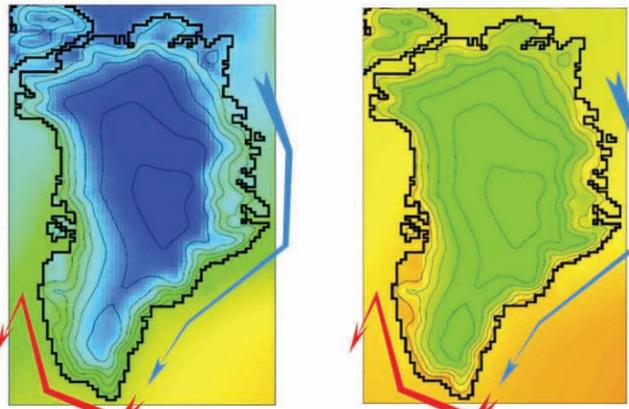
LE CLIMAT DU GROENLAND

Température du Groenland (°C)



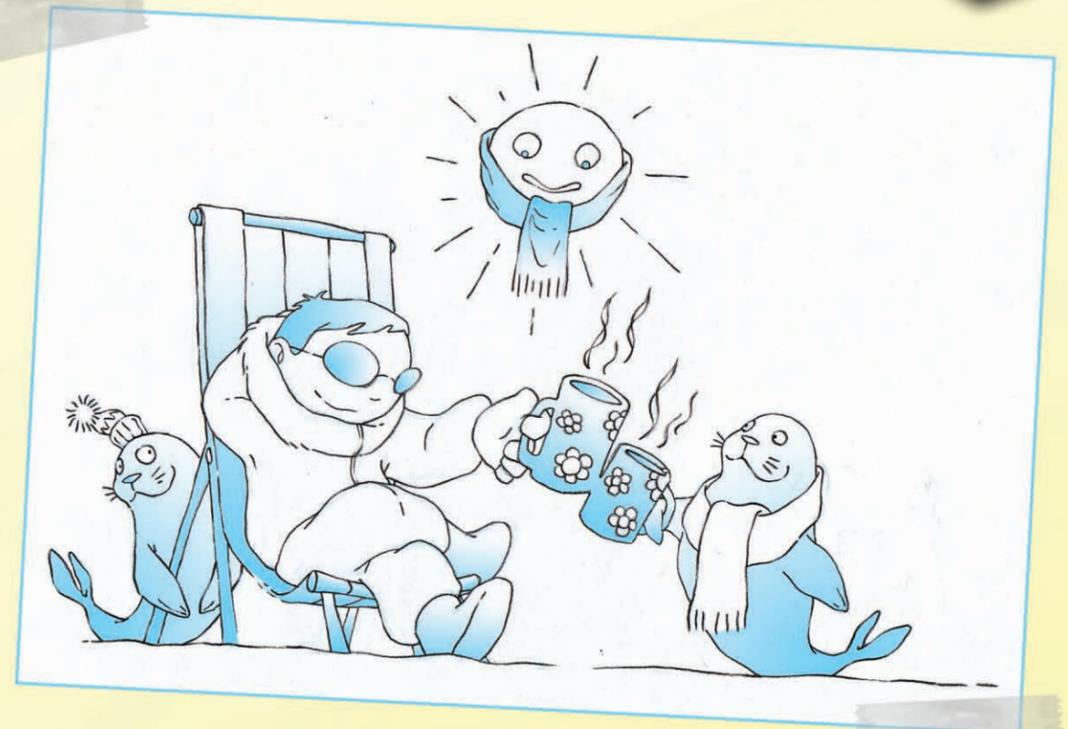
En hiver

En été



Source : MAR (X. Fettweis)

A l'Est, un courant marin froid qui descend de l'Arctique refroidit la côte du Groenland. Cette zone est couverte de banquise (eau de mer gelée) 6 mois par an.

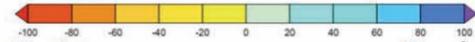


Le climat du Groenland est totalement inhospitalier sur la calotte, et reste rude dans les régions côtières où la température moyenne ne dépasse pas 10°C en été. Il existe de grands contrastes selon les régions : plus doux au sud, grâce à un ensoleillement plus important et aux courants marins chauds ; plus froid au nord, où l'hiver est marqué par une longue nuit polaire, et où les mers côtières sont couvertes de banquise. Le record de froid a été enregistré sur la base Northice à 2300 mètres d'altitude, sur la calotte, à -66.1°C. Le record de chaleur atteint péniblement 25.5°C à Kangerlussuaq (côte ouest).



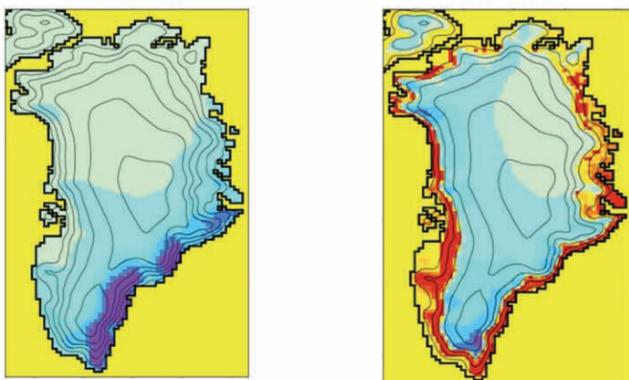
Au sud-ouest, un courant marin chaud en provenance de l'Atlantique du Nord empêche la formation de banquise et donne à ce secteur le climat le plus doux de l'île : c'est là où vivent la plupart des habitants.

Bilan de masse du Groenland (en mm d'eau par mois)



En hiver

En été

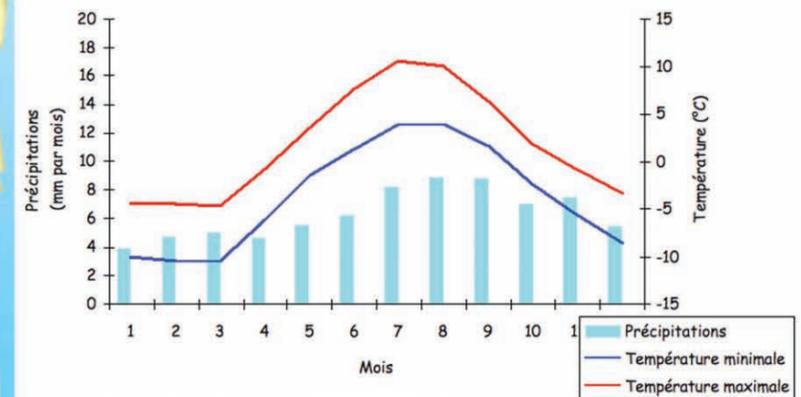


Source : MAR (X. Fettweis)

+ apport de neige (précipitations)
 - perte de neige (fonte, sublimation)
 = bilan de masse
 >0 : la calotte s'épaissit
 <0 : la calotte s'amincit

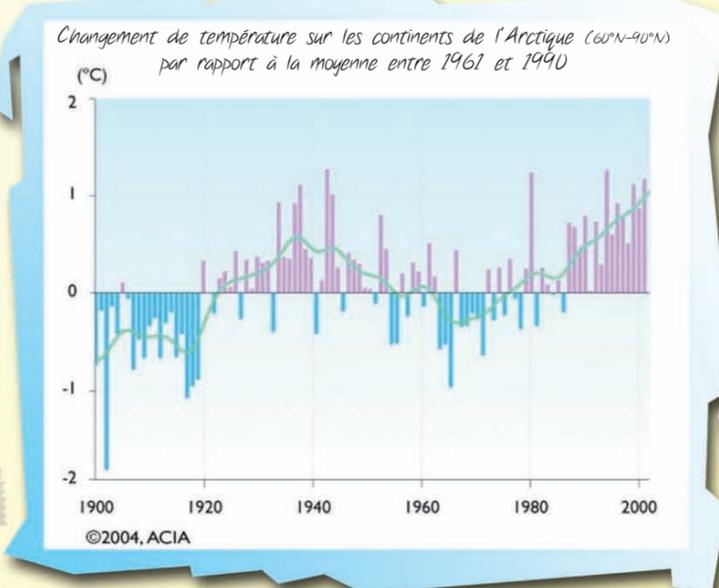
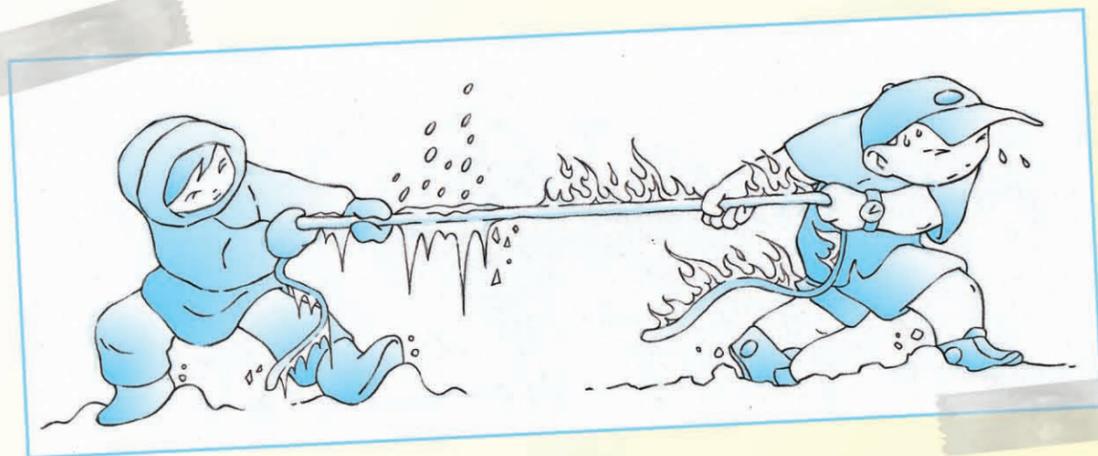


Climat de Nuuk



En hiver, c'est le dépôt de neige qui domine, et la calotte s'épaissit. Il neige très peu dans le nord-est (froid et sec). Par contre, au sud-est, la neige est abondante, représentant jusqu'à 1 mètre d'eau par an. En été, lorsque la température devient positive, les zones côtières s'amincissent à cause de la fonte. Globalement, c'est l'effet des chutes de neige qui domine au centre (zone d'accumulation) mais l'effet de fonte qui domine sur les bords (zone d'ablation).

Les données anciennes montrent que la variabilité du climat est toujours importante dans les régions polaires, d'une décennie à l'autre, en relation avec le transport de chaleur par les courants marins et par les vents. Surprise : la variabilité du climat au Groenland est reliée à la variabilité du climat européen !



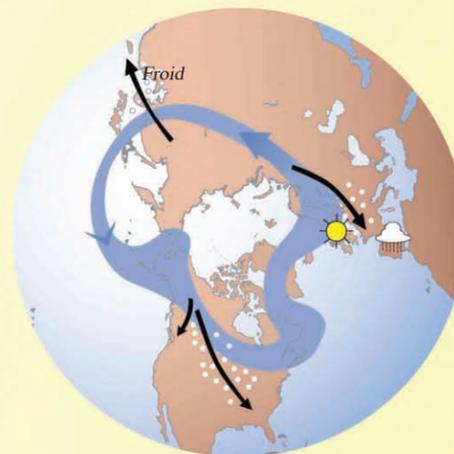
Les mesures météorologiques ont démarré vers 1780 au Groenland. Au cours des dernières décennies, des stations de mesure automatiques ont aussi été installées dans les zones inhabitées, sur la calotte. Un réchauffement de l'Arctique a été observé dans les années 1940, puis au cours des derniers 20 ans. Les forages dans les glaces du Groenland permettent de connaître l'histoire du climat avant le début des mesures météorologiques. Un réchauffement de l'Arctique a été observé dans les années 1940, puis au cours des 20 dernières années.

LA DYNAMIQUE DE L'ATMOSPHERE POLAIRE

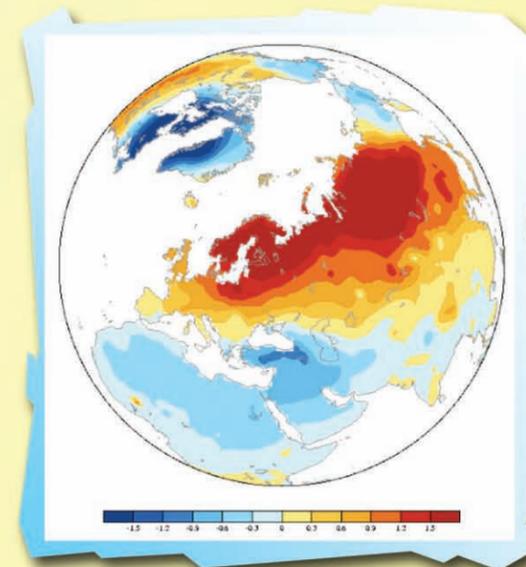
L'oscillation arctique

La circulation de l'air autour de l'Arctique subit des variations importantes d'un hiver à l'autre. Lorsque l'oscillation est dans sa phase positive, comme c'est le cas depuis une vingtaine d'années (figure de droite), la pression atmosphérique moyenne est basse au pôle et plus élevée à nos latitudes. Les passages dépressionnaires se décalent vers le nord de l'Océan Atlantique, donnant des hivers doux et humides dans le nord de l'Europe, mais secs autour du bassin méditerranéen, et particulièrement froids au Groenland. La situation s'inverse lorsque l'oscillation est dans sa phase négative (figure de gauche). Depuis une vingtaine d'années, c'est cette situation qui prédomine.

Cette circulation polaire peut changer en réponse à des facteurs naturels (éruptions volcaniques, par exemple) mais aussi lorsque l'effet de serre augmente.



Phase Négative



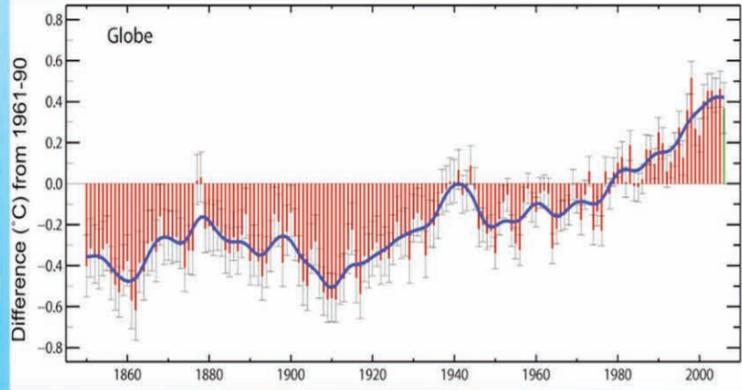
Phase Positive

Changements de température associés au changement de signe de l'oscillation arctique.



Depuis une vingtaine d'années, la température augmente dans l'Arctique, plus vite que dans le reste du monde. L'augmentation de l'effet de serre lié aux activités humaines piège la chaleur dans l'atmosphère et entraîne inéluctablement un réchauffement du climat. Plusieurs mécanismes amplifient ce réchauffement dans l'Arctique.

LE CLIMAT CHANGE AU GROENLAND



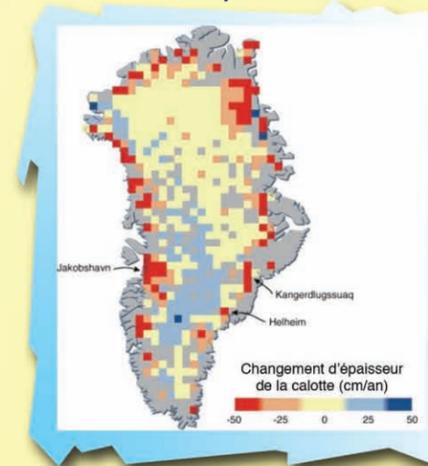
Observations

Les milliers de stations météorologiques permettent de suivre l'évolution de la température à la surface de notre planète, depuis environ 150 ans. Sur cette période, le réchauffement atteint 0.8°C, dont 0.6°C au cours des derniers 50 ans.



Evolution des températures entre 1957 (Année Géophysique Internationale) et 2007 (4ème Année Polaire Internationale) (en °C). Le réchauffement est plus marqué sur les continents que sur les océans, et particulièrement fort sur la Péninsule antarctique et dans l'Arctique.

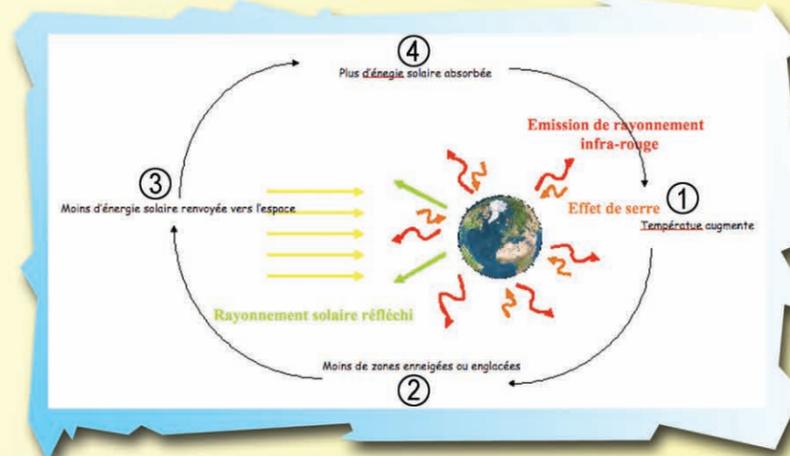
Conséquences



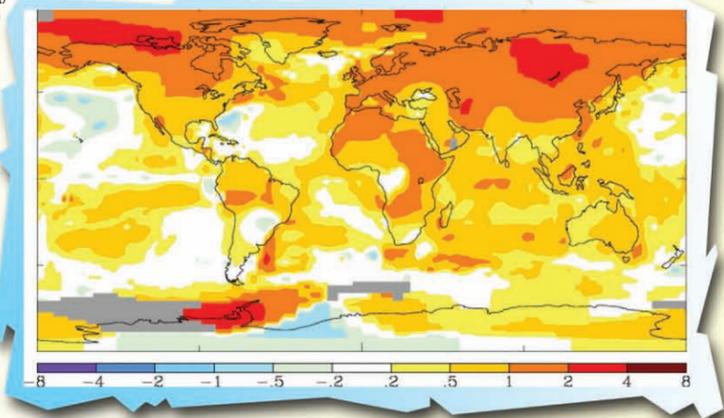
Source : PNUE

Les mesures d'altitude par satellite permettent de suivre l'évolution de la calotte du Groenland, depuis une quinzaine d'années. Le centre de la calotte s'épaissit un peu (car il neige davantage), mais les bords de la calotte fondent et s'écoulent plus rapidement vers les côtes : l'altitude de la glace y baisse vite (50 cm par an !). Au total, le volume de glace se réduit de plusieurs centaines de milliards de tonnes chaque année.

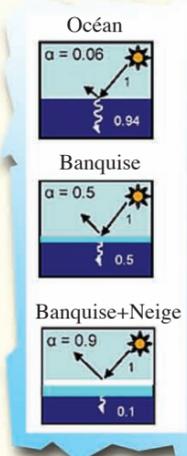
Amplification polaire...



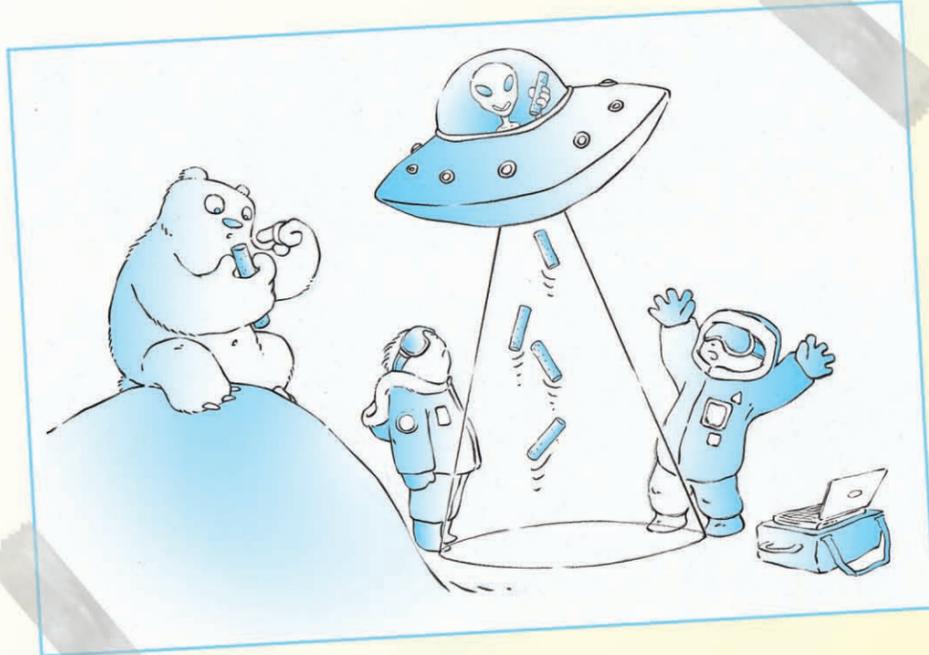
Source : NASA/GISS



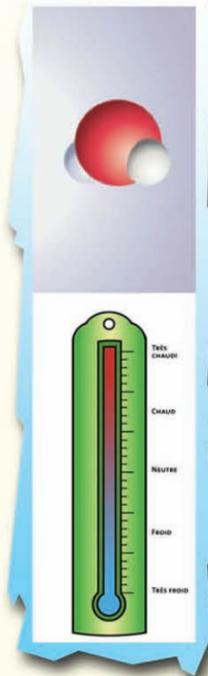
Plus les températures se réchauffent, et plus la neige ou la banquise fondent tôt et se forment tard. Or, la neige et la glace jouent un rôle de miroirs, renvoyant vers l'espace jusqu'à 90% de l'énergie solaire : lorsqu'elles disparaissent, la chaleur du soleil n'est plus renvoyée vers l'espace, mais réchauffe le sol et l'eau de mer. C'est l'un des mécanismes qui amplifient le réchauffement dans les régions polaires.



LES GLACES DU GROENLAND, ARCHIVES DU CLIMAT



Info locale à régionale



- **Cristaux de glace :**
Informations sur la structure et l'écoulement de la calotte.
- **Proportion de molécules lourdes et légères de l'eau :**
Informations sur la température locale et l'origine des précipitations.
- **Identification de couches annuelles de glace :**
Informations sur la quantité de neige accumulée chaque année ;
Datation de la glace, année par année.



Info régionale à globale

- > **Sel marin :** transporté depuis les océans voisins.
- > **Calcium :** transporté depuis les zones désertiques des continents (pour le Groenland, depuis le désert de Gobi, en Chine !).
- > **Particules volcaniques,** en provenance des volcans d'Islande (voisins) ou bien *poussières volcaniques*, émises par le volcanisme tropical explosif et transportées tout autour du globe.
- > **Composés** formés par les chocs du flux de particules (vent solaire) dans la haute atmosphère. Variables selon l'activité du soleil et selon le champ magnétique terrestre.
- > **Histoire de la pollution atmosphérique de l'hémisphère nord :** plomb (utilisé dans l'essence avant les années 2000), mercure, particules soufrées...



Info globale

Composition de l'atmosphère de notre planète : concentration en gaz à effet de serre.



La glace du Groenland, trop riche en poussières, ne permet pas de conserver proprement l'information sur le CO₂ (ce sont les glaces de l'Antarctique qui préservent bien cette mémoire). Par contre, les glaces du Groenland révèlent très précisément le détail des variations du méthane. Ce gaz à effet de serre provient de sources naturelles (fermentation dans les zones humides) et aujourd'hui des activités humaines (riziculture, élevage, fuites de gaz naturel, fermentation des décharges).

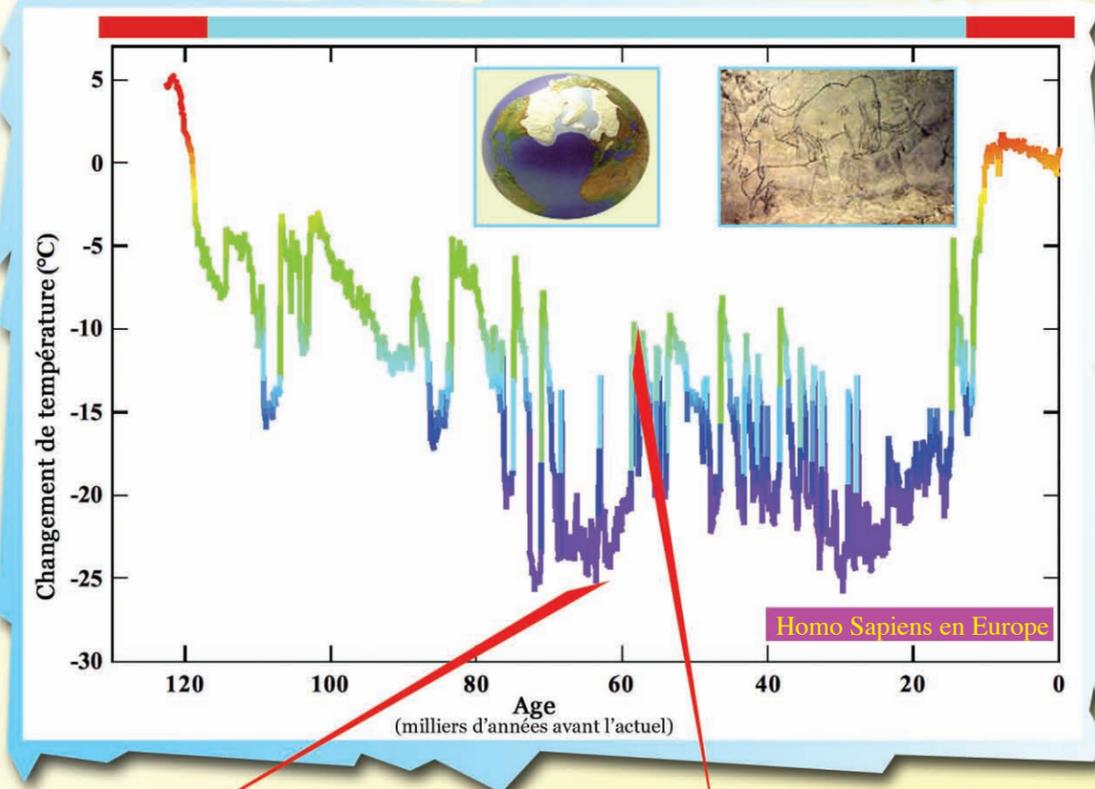
L'HISTOIRE DU CLIMAT DU GROENLAND

Les forages conduits dans la glace du Groenland permettent pour le moment de remonter jusqu'à 123 000 ans dans le passé du climat et de la composition de l'atmosphère (poussières, méthane) pendant toute la dernière période glaciaire.



Les instabilités rapides du climat ont eu des répercussions en Europe. Les pollens fossiles montrent que les phases froides du Groenland correspondent à un paysage de steppe (en bas), et les phases chaudes à un paysage de forêt (en haut).

Période interglaciaire « Eemien » Glaciation Période interglaciaire actuelle « Holocène »

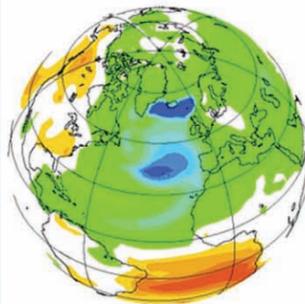


25 instabilités abruptes du climat

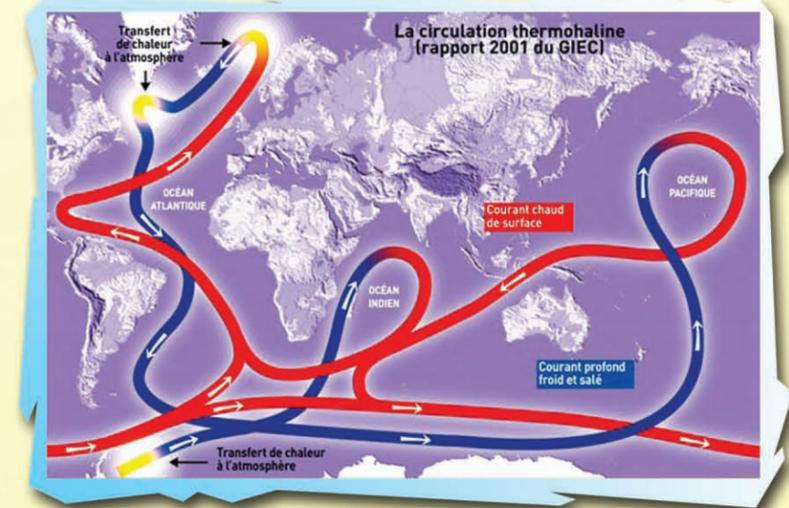
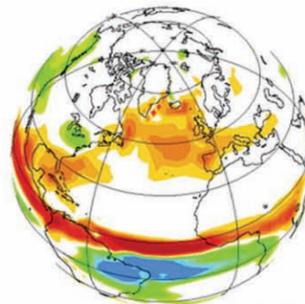
Réchauffement abrupt atteignant jusqu'à 16°C en quelques décennies. Reprise du transport de chaleur par les courants marins de l'Océan Atlantique.
- Plus doux et plus humide dans l'Atlantique Nord.
- Refroidissement en Antarctique.

Simulation d'un arrêt de la circulation océanique profonde dans l'Atlantique du nord : conséquences pour les températures (à gauche) et les précipitations (à droite)

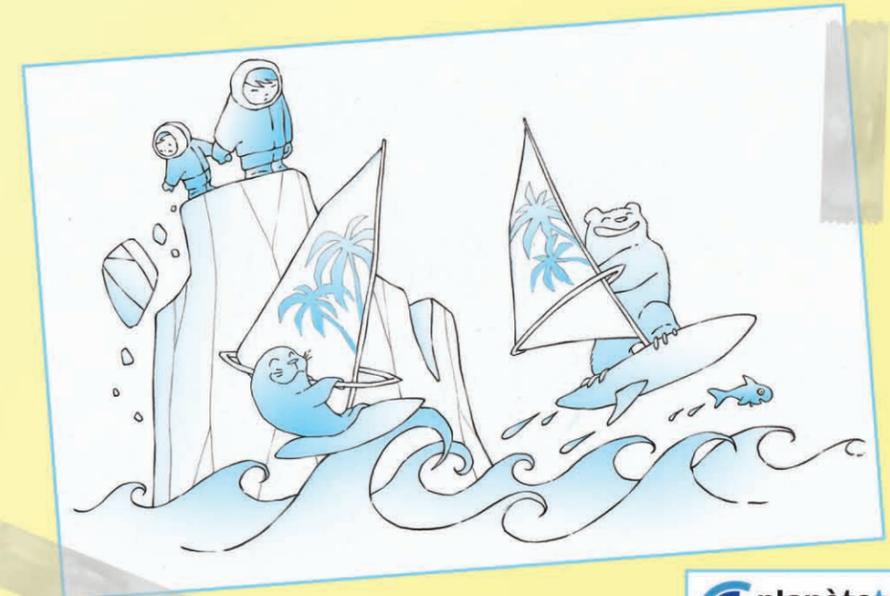
Changeement de températures



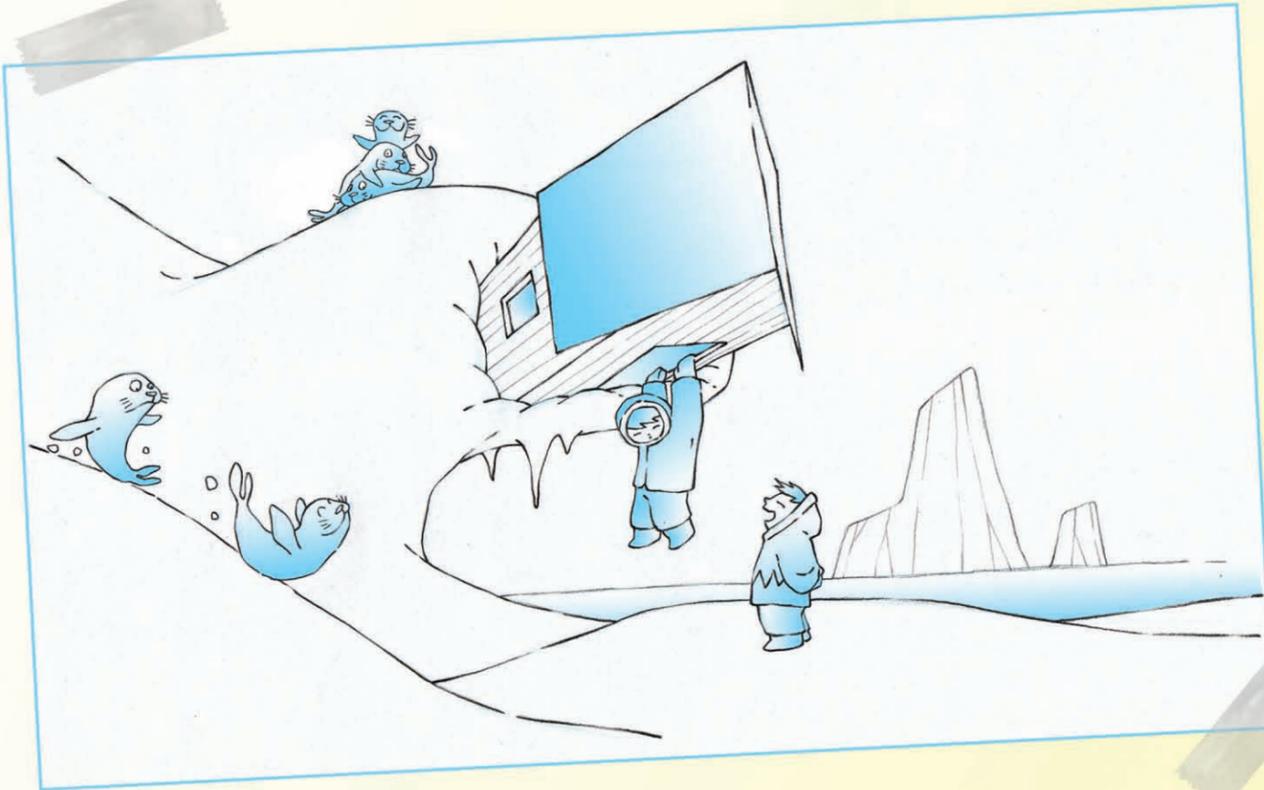
Changeement de précipitations



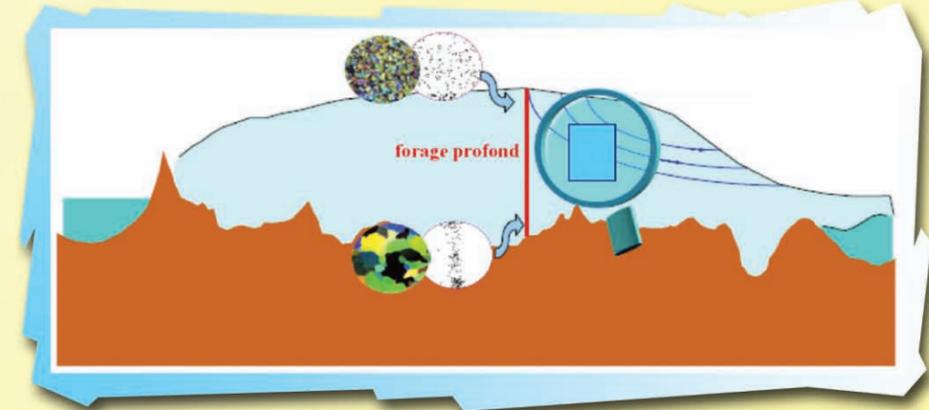
En surface, les courants marins transportent de la chaleur vers l'Atlantique du nord. Dans le nord de l'Atlantique, les eaux de mer deviennent froides, salées donc très denses, et elles plongent au fond de l'océan, formant un gigantesque tapis roulant océanique. Si les calottes de glace déversent brutalement de grandes quantités d'eau douce (fonte, débâcle d'icebergs), alors cela « dilue » le sel, allège l'eau de mer, empêche cette plongée et arrête le grand tapis roulant océanique. Les vents se réorganisent : le secteur Atlantique Nord, Groenland, Europe devient plus froid et plus sec. Les océans tropicaux se réchauffent, et les zones de mousson tropicale sont déplacées vers le sud.



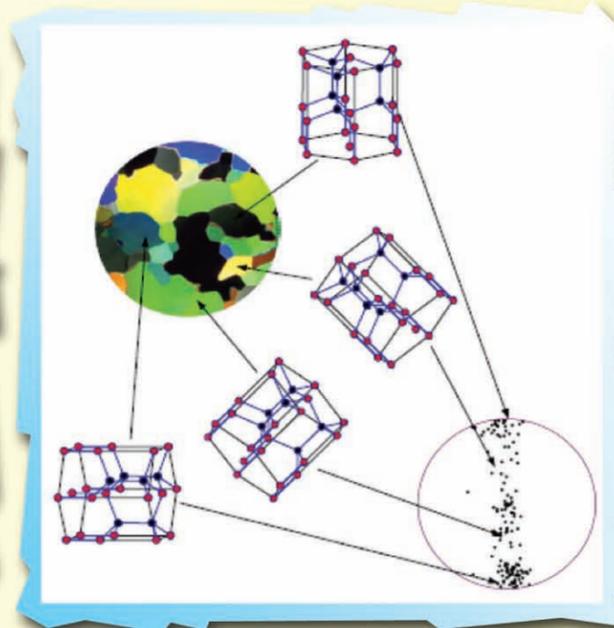
LA GLACE SE DEFORME... ET S'ÉCOULE !



La glace des calottes polaires et des glaciers est composée de multiples petits cristaux ayant chacun une orientation. Comme pour beaucoup de matériaux de ce type, appelés polycristallins (les métaux, les minéraux...), la forme de ces cristaux et leur orientation (leur "organisation", encore appelée la "texture") influent sur la façon avec laquelle la glace se déforme. Dans les calottes polaires, les couches de glace sont écrasées au fur et à mesure que la neige s'accumule. Ainsi la glace se déforme, et l'organisation des cristaux se modifie ce qui influence l'écoulement de la glace, entre le moment où elle est proche de la surface, et sa position des milliers d'années plus tard. Pour connaître l'âge des couches de glace profondes et donc anciennes, il est très important de connaître l'histoire de cet écoulement. La mesure de la microstructure et de la texture de la glace est indispensable pour comprendre les processus de déformation et pour améliorer les codes de calcul qui permettent de prévoir l'évolution des calottes polaires.



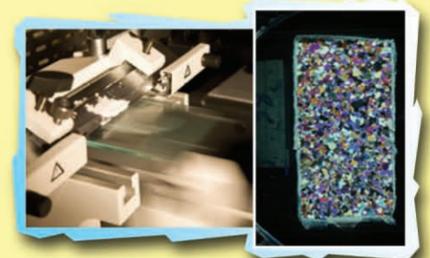
Grâce aux calottes polaires, on peut étudier la déformation de la glace à des échelles très variées, allant des défauts dans le cristal de glace (le nanomètre) à la déformation de la calotte toute entière (des milliers de kilomètres).



A partir des lames minces de glace, on mesure la *microstructure* qui décrit la forme et la taille des grains. La présence de poussières entraîne des tailles de grain plus petites.

On mesure aussi l'organisation des cristaux, c'est à dire la répartition de leur orientation (la *texture*). Lorsque la neige tombe, les cristaux sont orientés dans tous les sens. Avec la déformation, ils se tournent et s'organisent. On représente cette organisation sur des figures de pôles, où chaque point donne l'orientation d'un cristal. Sur l'exemple du schéma, les grains se sont organisés pour former "une couronne" sur la figure de pôle, répondant à une sollicitation en traction. Les particularités de cette texture, associées à l'observation des microstructures, permettent donc de remonter à l'histoire de déformation qu'a subi la glace en s'enfonçant dans les profondeurs de la calotte.

En laboratoire, on mesure ces paramètres en découpant de fines lames de glace et en les observant en lumière polarisée : les cristaux changent alors de couleur en fonction de leur orientation.

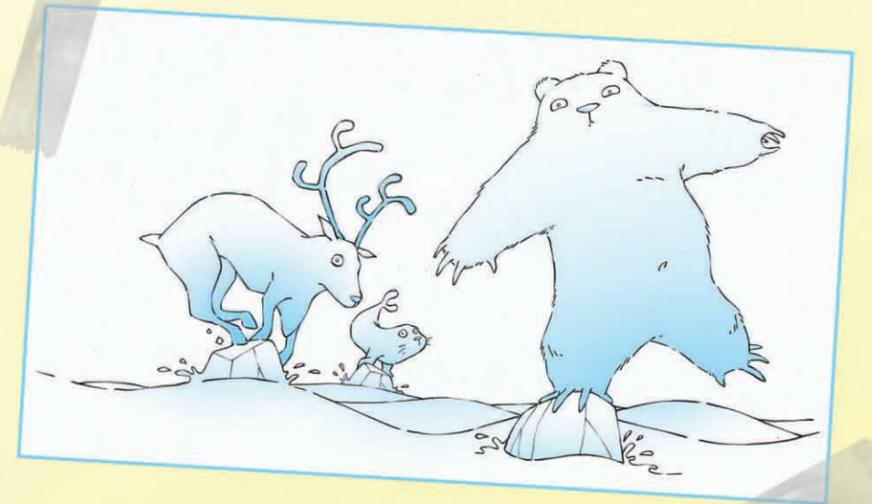
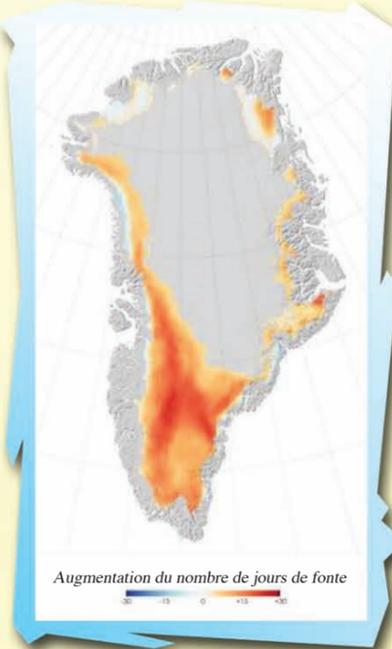


UNE CALOTTE SENSIBLE AUX VARIATIONS DU CLIMAT

Il y a 125 000 ans, l'hémisphère nord recevait beaucoup plus d'énergie solaire en été qu'aujourd'hui, car l'orbite terrestre était différente. La température était jusqu'à 5°C plus chaude dans l'Arctique. Les plages fossiles montrent que le niveau moyen des océans était plus élevé de 4 à 6 mètres qu'aujourd'hui. Un réchauffement polaire de plusieurs degrés entraîne donc la fonte d'une partie des calottes polaires (Groenland et Antarctique de l'Ouest) !

Aujourd'hui, le réchauffement entraîne une augmentation du nombre de jours où les bords et le sud de la calotte du Groenland fondent. Cette eau de fonte change l'écoulement de la glace, et contribue à la montée du niveau des mers. En se déversant dans les océans voisins, cette eau douce peut aussi modifier les courants marins !

Augmentation du nombre de jours de fonte à la surface de la calotte du Groenland en 2007 par rapport à la moyenne des 20 années précédentes



Il y a urgence : les scientifiques veulent mieux connaître la manière dont la calotte réagit au climat aujourd'hui mais aussi dans le passé. A quelle vitesse s'était produit la fonte d'il y a 125 000 ans ? Quelles en ont été les conséquences pour les courants marins, pour le climat ? Les données du passé sont indispensables pour tester les modèles de climat et de calottes polaires. C'est important pour mieux comprendre les risques pour le climat futur !



Schéma des interactions entre les calottes polaires et le climat

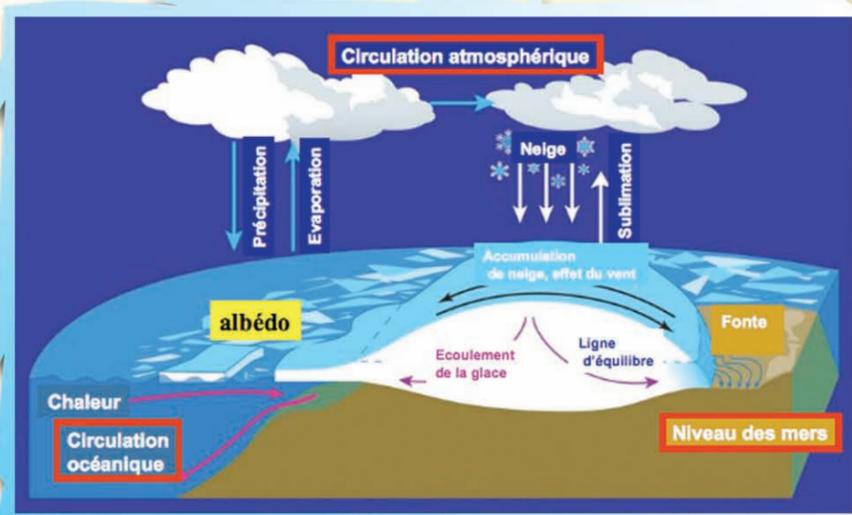
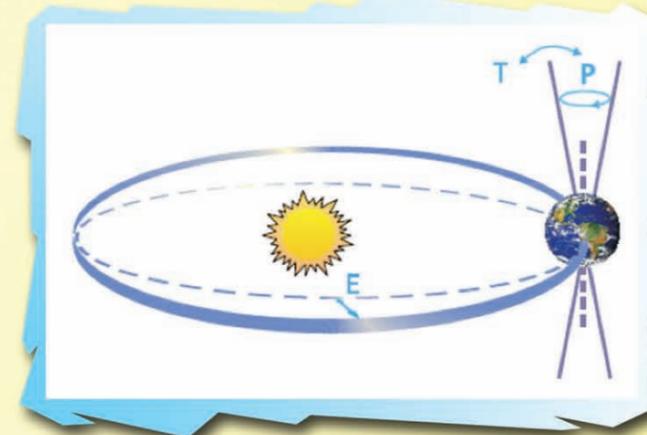


Schéma de l'orbite de notre planète autour du Soleil (E : excentricité ; T : inclinaison ; P : mouvement de précession)



Depuis un million d'années, le climat bascule régulièrement entre de courtes périodes chaudes et de longues périodes froides, les glaciations. Au cours de dizaines de milliers d'années, l'orbite terrestre change et modifie la répartition de l'ensoleillement de notre planète. Deux processus naturels amplifient cet effet : plus il fait froid, plus il y a de zones couvertes de neige et de glace, et plus elles renvoient l'ensoleillement vers l'espace (effet miroir) ; plus il fait froid, moins il y a de CO₂ dans l'atmosphère, et moins il y a d'effet de serre. Rassurant : pas de glaciation en vue pour les prochains 30 000 ans !

EXTRAIRE DES CAROTTES DE GLACE : TOUT UN ART !

La technologie de forage

Le dispositif est formé d'un carottier relié à la surface par un câble, actionné par un treuil. Le câble fournit l'énergie pour actionner le moteur du carottier et transmet des données mesurées par l'engin de forage jusqu'à la surface.

Entre le câble et le carottier, un dispositif empêche le carottier de tourner sans fin. Ensuite se trouve le moteur et le système électronique de commande et de transfert d'informations. Pour éviter que le trou ne se rebouche, dès qu'on fore sur plus de 500 mètres, il faut remplacer les carottes de glace par du liquide de forage. Au centre du carottier se trouve un réservoir pour récupérer les copeaux de glace en pompant et en filtrant le liquide.

En dessous se trouve le tube qui reçoit les carottes (taille : environ 2 mètres de long, par 10 cm de diamètre), puis, tout en bas, une tête porte-outils équipée de couteaux. Le moteur permet de faire tourner cette tête de carottier, et d'usiner les carottes.

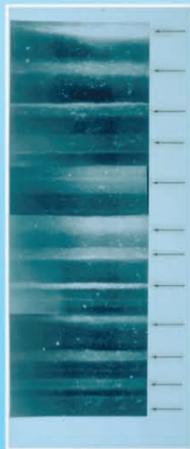
Au cours d'une passe :

- Le carottier descend au fond du trou (vitesse de l'ordre de 1 mètre par seconde),
- La carotte est forée et entre dans le tube (cela prend environ 15 minutes),
- le carottier est remonté à la surface et la carotte est extraite, mesurée, analysée, découpée, puis conditionnée pour être transportée dans les laboratoires scientifiques,
- le carottier est vérifié (5 à 20 mn) puis descend à nouveau au fond du trou.

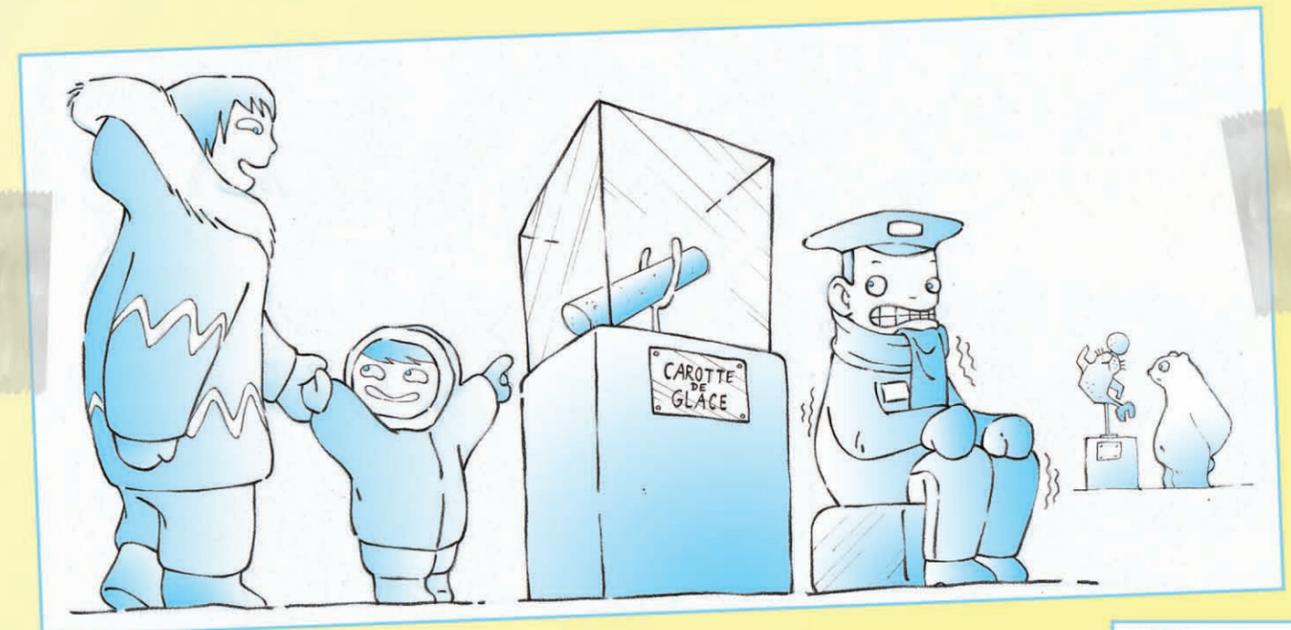
2500 mètres
de câbles vers
la surface !



Connaitre l'âge de la glace



- Identifier et compter des couches annuelles. On peut remonter sur 10 000 ans avec une incertitude de l'ordre de 100 ans, et 60 000 ans avec une incertitude de l'ordre de 1000 ans.
- Trouver des repères, par exemple identifier les traces d'éruptions volcaniques dont l'âge est connu.
- Synchroniser les forages du Groenland et de l'Antarctique grâce aux variations de la composition atmosphérique.
- Calculer l'âge de la glace la plus ancienne à partir des équations qui régissent le tassement et l'écoulement de la glace.



Automne : formation de frazil
(nappes de cristaux de glace)

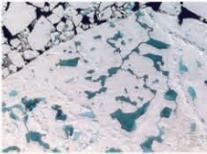
Été : océan libre de glace



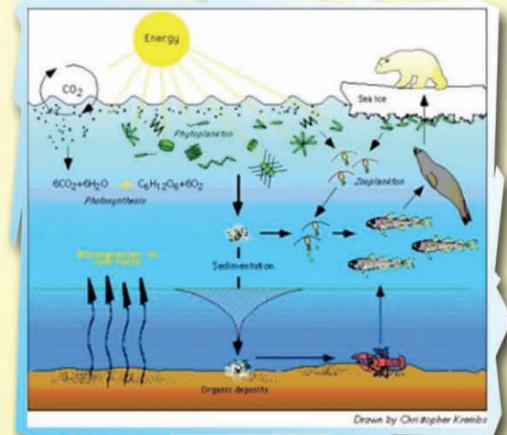
Formation de plaques de glace, parfois déformées par la houle et le vent en forme de crêpes



Été : formation de mares de fonte



Hiver : Consolidation des plaques de glace, qui se déforment sous l'effet des chocs



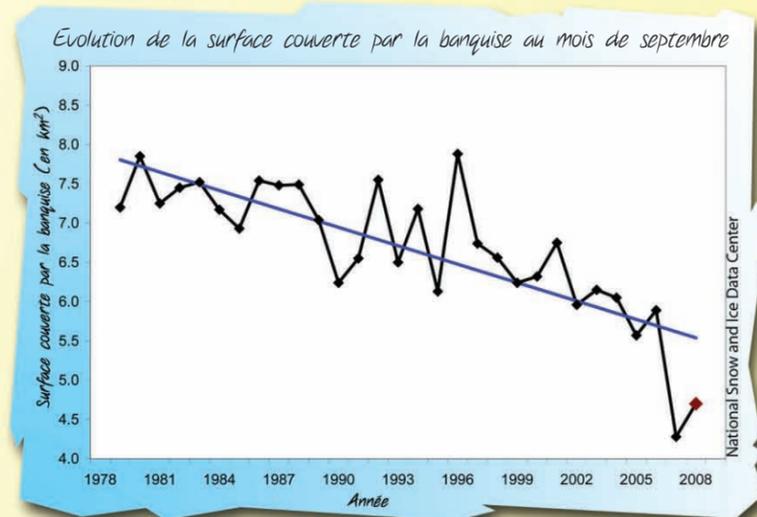
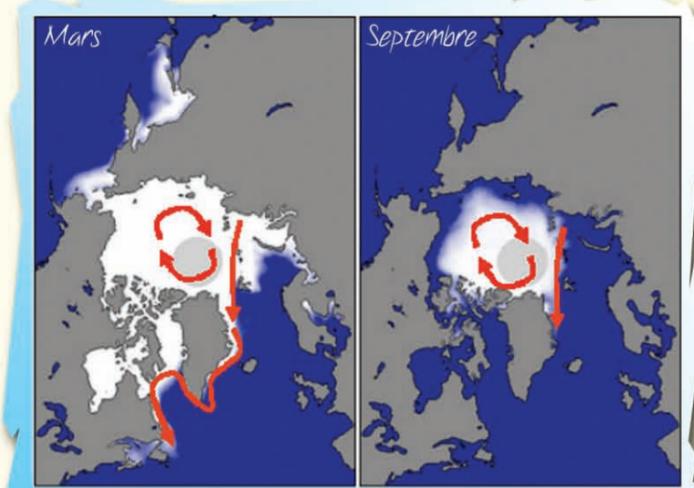
En été, la fonte de la neige et de la banquise apportent beaucoup de nutriments vers les mers voisines du Groenland. Grâce à l'ensoleillement intense de l'été, les eaux froides regorgent de plancton, qui est la nourriture de base des crevettes nordiques, mais aussi de plus de 200 espèces de poissons, moules, crustacés, mammifères marins (phoques, morses, baleines...)

Formation de crêtes de glace, épaissement de la banquise pouvant atteindre plusieurs mètres

GROENLAND : UNE ÎLE ENTOURÉE DE BANQUISE ?

En moyenne : 14-16 millions de km² en hiver (zone libre au sud-est du Groenland à cause d'un courant chaud)

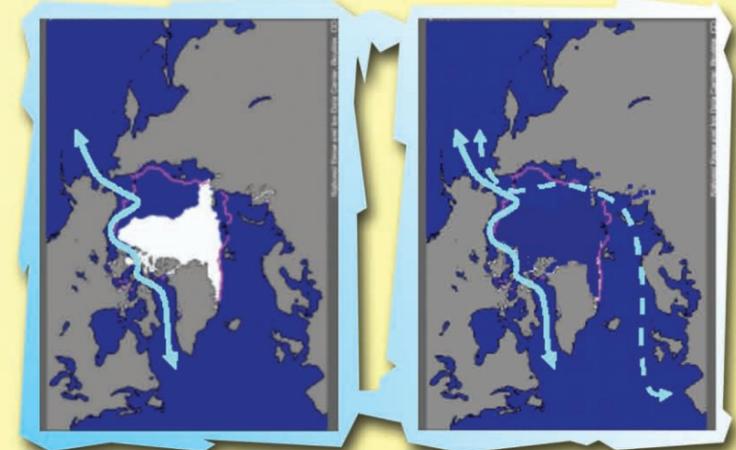
En moyenne : 7-9 millions de km² en été



Un recul de la banquise qui s'accélère, plus rapide que les climatologues ne le prévoyaient !

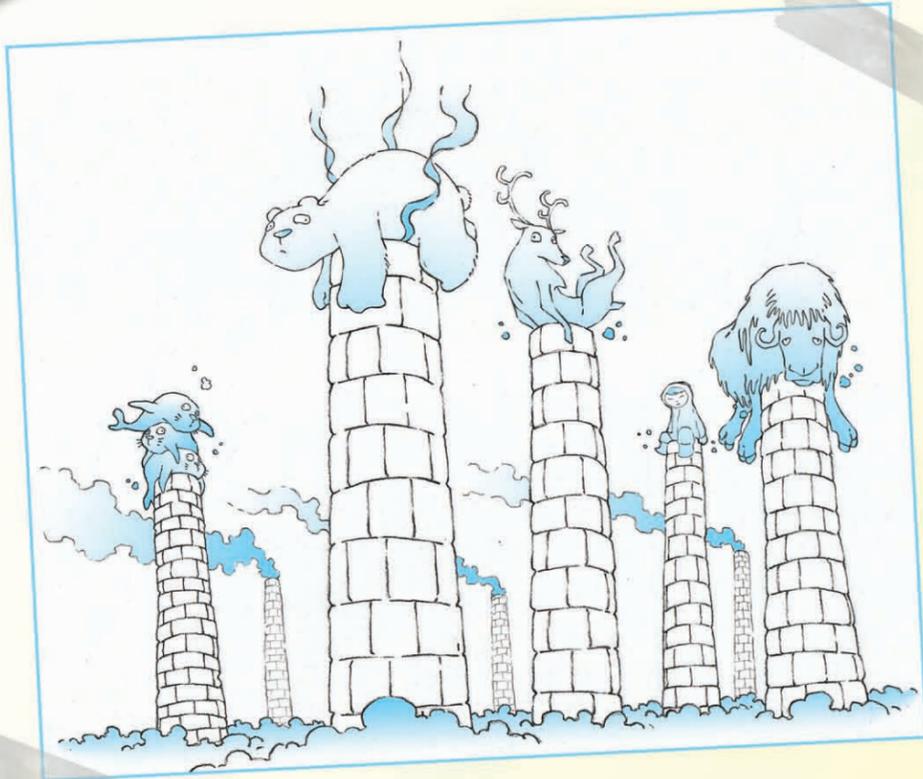
Record de réduction en septembre 2007

Septembre 2040 ou septembre 2080 ???



Moins de banquise en été :
Augmentation du réchauffement (suppression de l'effet miroir),
- Conséquences pour les espèces vivantes,
- Conséquences pour les courants marins et les vents,
- Augmentation de la fonte de l'inlandsis.

- Passage du nord-ouest
- - - Passage du nord-est
- Extension « moyenne »



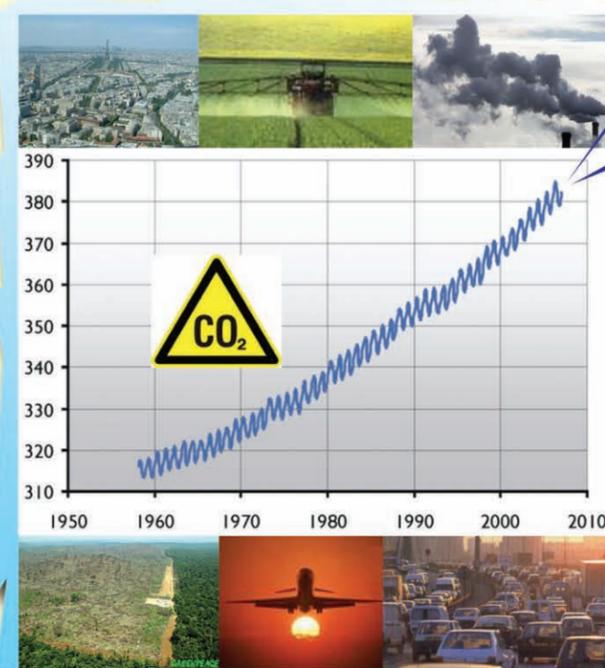
EFFET DE SERRE : QUELLES CONSÉQUENCES POUR LE CLIMAT DU GROENLAND ?

Les activités humaines rejettent actuellement l'équivalent de 30 milliards de tonnes de CO₂ chaque année dans l'atmosphère, et cela augmente chaque année. L'augmentation des concentrations en gaz à effet de serre va dépendre de notre développement.

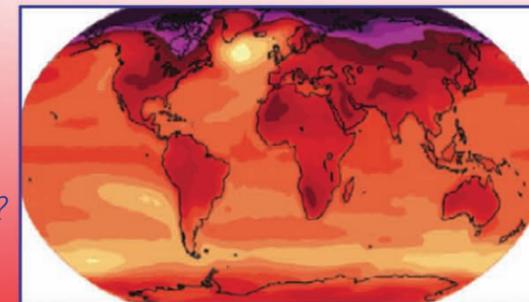
- Démographie : de 6,5 milliard d'humains à 9 milliards ?
- Economie : quels modes de vie ?
- Agriculture : déforestation, agriculture intensive ?
- Energie : pétrole, gaz, charbon ou énergies renouvelables ?
- Technologie : de nouveaux véhicules, stocker le CO₂ ... ?

La concentration en gaz à effet de serre va aussi varier selon l'équilibre subtil entre le climat et le cycle du carbone.

- L'océan et la végétation vont-ils continuer à pomper la moitié des rejets de gaz à effet de serre ?
- Le réchauffement de l'Arctique va-t-il s'accompagner de rejets de gaz à effet de serre liés au dégel des sols ?

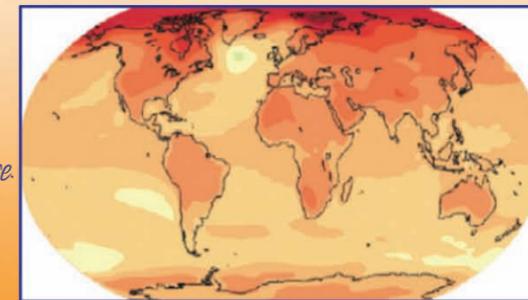


2100
Augmentation jusqu'à plus de 600 ppmv ?



+3,5°C en moyenne globale
+5°C au Groenland

2100
Maîtrise des rejets de gaz à effet de serre. Stabilisation vers 500 ppmv ?



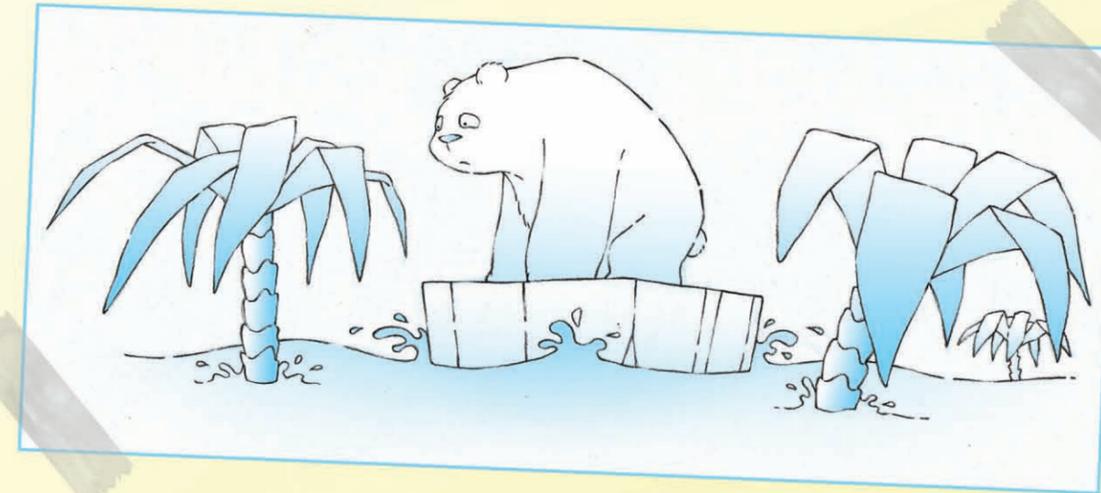
+1,8°C en moyenne globale
+3°C au Groenland

Dans tous les cas, il faut s'attendre à un réchauffement particulièrement intense dans l'Arctique, mélange d'opportunités et de vulnérabilités.

+ Aspects positifs : augmentation de la saison de croissance des végétaux, expansion des forêts, développement agricole, nouvelles routes maritimes.

- Aspects négatifs : fonte de la banquise, fonte des glaces du Groenland, bouleversement complet des courants marins, des écosystèmes marins et terrestres, difficultés de transport (dégel des fleuves et de la banquise), difficultés pour les infrastructures construites sur le pergélisol, changements de modes de vie !

QUE SE PASSERA-T-IL SI LA CALOTTE DU GROENLAND FOND ?

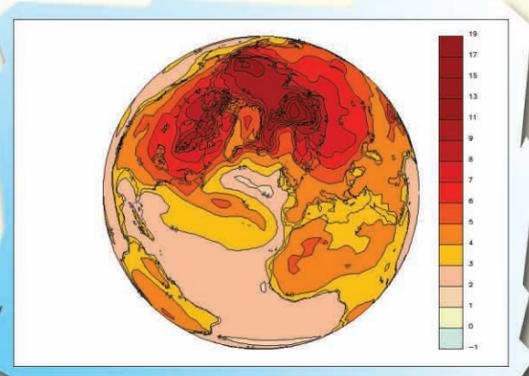


Climat en 2500, effet de serre seul

Eau de fonte qui s'infiltre dans les crevasses.

Climat en 2500, effet de serre + fonte du Groenland

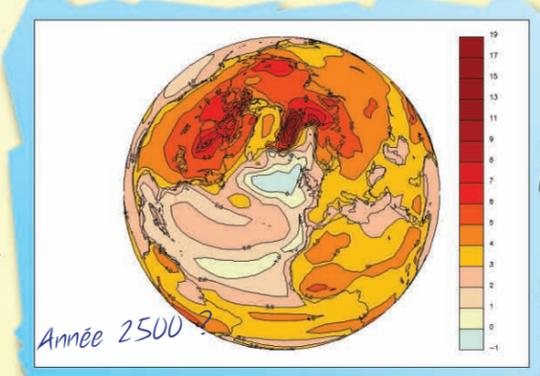
Effet de serre



Fonte Groenland



Ralentissement courants marins Atlantique Nord



Présence d'eau qui facilite le glissement de la glace et accélère l'écoulement du glacier. Certains glaciers du Groenland ont une vitesse d'écoulement pouvant atteindre 20 kilomètres par an !

Niveau des mers

1900-2000 : +20 cm
2100 : +30 à +80 cm
+ Groenland ?
+ Antarctique de l'Ouest ?
2500 : +2 m ?
3000 : +4 m ?

Les scientifiques estiment qu'un réchauffement global de 3°C pendant plusieurs siècles entraînerait la disparition de toute la partie sud du Groenland et une montée du niveau des mers de plusieurs mètres. Aussi, pour éviter des conséquences désastreuses du changement climatique, il faut tout faire pour limiter les rejets de gaz à effet de serre.

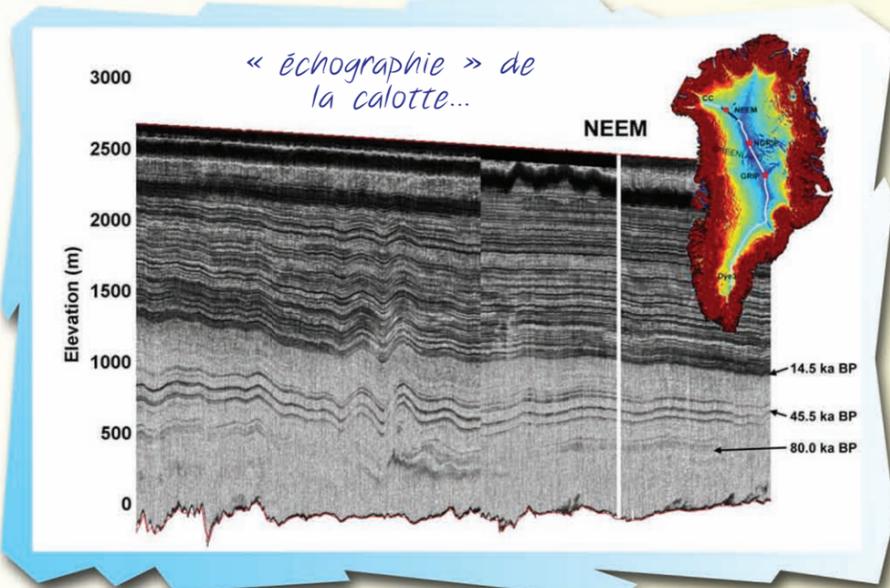
La fonte du Groenland pourrait déverser tellement d'eau douce vers l'Océan Atlantique que cela changerait la salinité de l'eau de mer. Moins salées, les eaux de surface de l'océan seraient moins denses et resteraient en surface au lieu de plonger vers le fond des océans. Cela pourrait arrêter les grands courants marins qui transportent la chaleur depuis l'équateur vers le pôle nord. Sur une planète globalement plus chaude à cause de l'effet de serre, certaines zones se réchaufferaient moins vite que la moyenne (autour de l'Atlantique du nord), mais d'autres encore plus vite (les tropiques). Ce n'est pas le retour à une glaciation !!!



Qu'est ce qui fait monter les mers ?

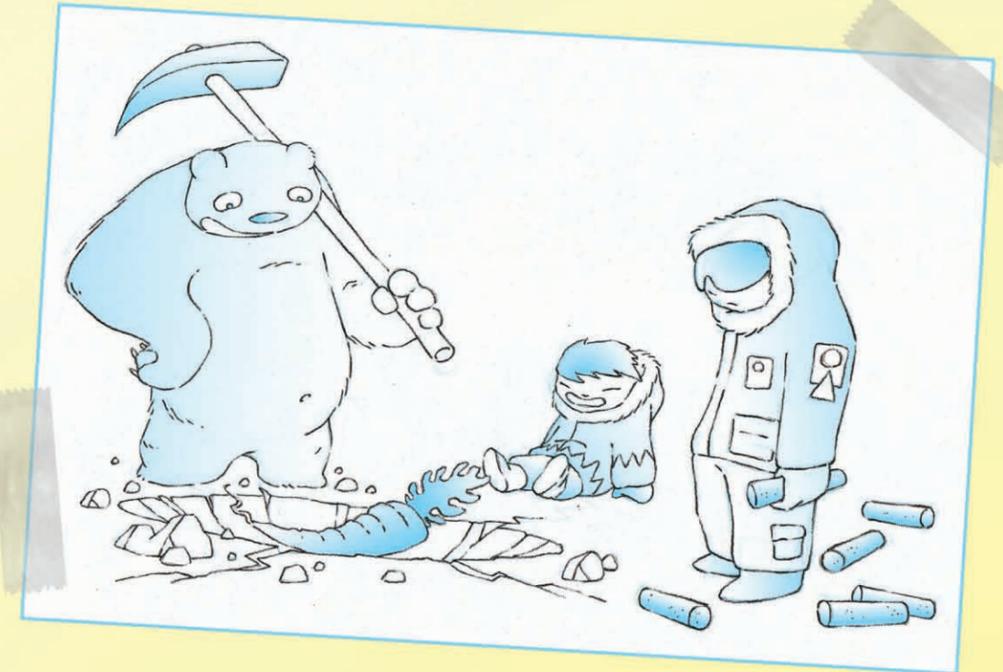
- Le réchauffement des océans : l'eau de mer chaude « gonfle »
- La fonte des glaciers de montagne (Alpes, Andes, Tibet, Alaska...)
- La fonte et l'écoulement accéléré des calottes polaires (Groenland, Antarctique de l'Ouest)

UN NOUVEAU FORAGE DANS LA GLACE : LE PROJET NEEM



Tout l'art du compromis ...
Il faut choisir un site

- où la calotte est suffisamment épaisse,
- où le socle rocheux sous la glace est plat pour éviter qu'il y ait des plis et des replis de glace entre vallées et montagnes sous-glaciaires,
- où il ne neige ni trop (écoulement trop rapide) ni trop peu (pas de couches annuelles),
- et enfin situé sur une ligne de crête qui sépare l'écoulement de la glace vers l'est ou vers l'ouest (en blanc sur la carte).



Pour suivre en direct les différentes étapes du projet :
www.neem.ku.dk

Les scientifiques de 14 pays d'Europe, d'Amérique du Nord et d'Asie unissent leurs efforts pour atteindre de nouveaux records et extraire au nord-ouest du Groenland les carottes de glace les plus anciennes possibles.

Objectif : connaître l'évolution du climat et de la calotte du Groenland au cours de la période interglaciaire actuelle, de la dernière période glaciaire, et jusqu'à la période interglaciaire précédente, appelée Eemien, soit plus de 130 000 ans vers le passé.

L'échographie de la glace montre une épaisseur de 2542 mètres de glace, dont 500 mètres de glace de plus de 80 000 ans. L'Eemien devrait être préservé dans une couche de glace de 70 mètres d'épaisseur, correspondant à une épaisseur de 7 mm par an...

2007 : repérages (raid), choix du site

2008 : construction du camp, démarrage du forage

2009-2010 : poursuite du forage, transport et analyses des carottes dans les laboratoires scientifiques des différents pays

2011 : fin du forage, mesures glaciologiques dans le trou de forage, fermeture du camp.

Budget : 6.5 millions d'euros

Population du camp : de 10 à 35 personnes

Transport : US Air Force, C130

500 km de la côte, 1180 km de l'aéroport de Kangerlussuaq (2h30 de vol)



