



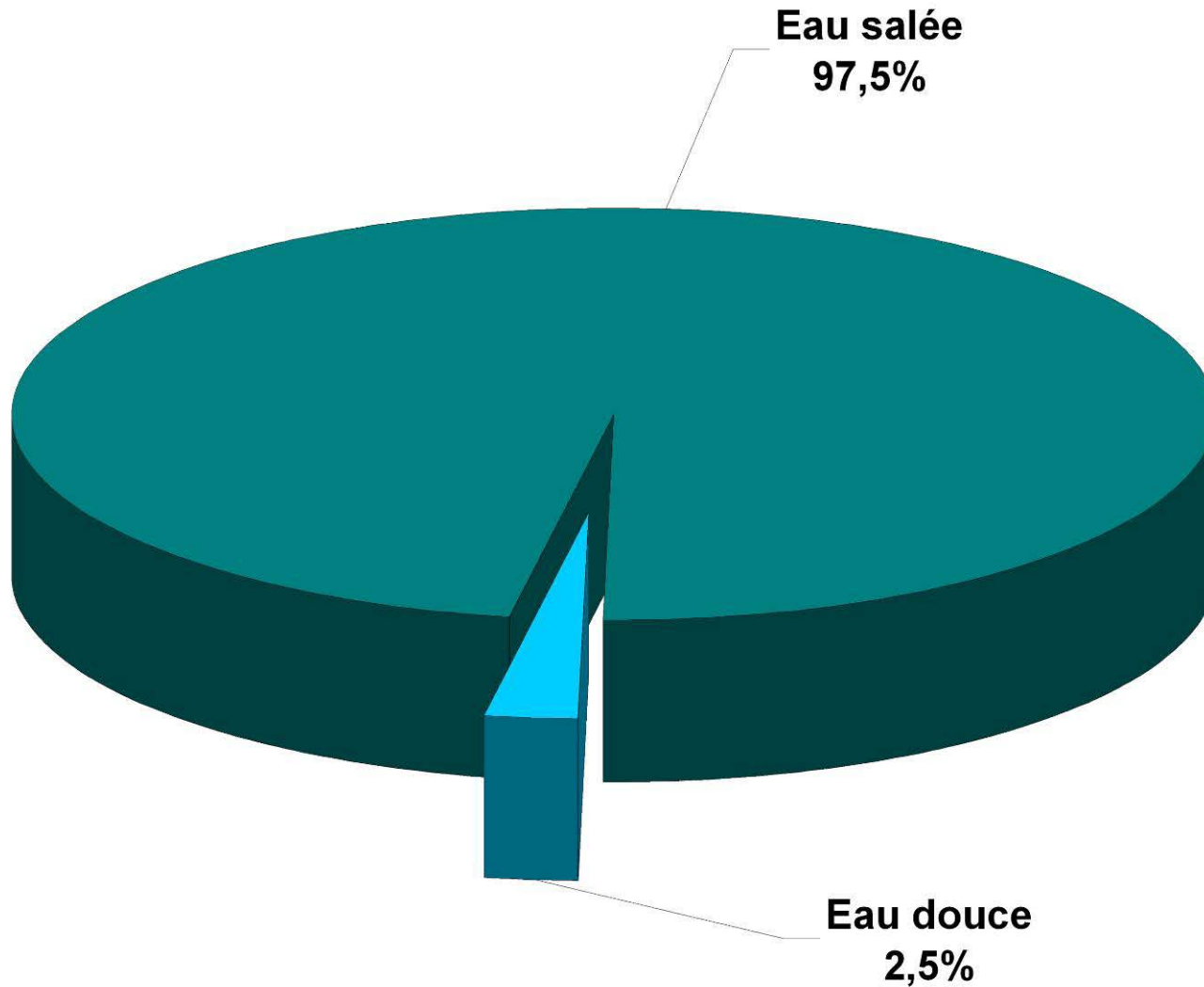
les grandes calottes glaciaires de la planète, une dynamique à part

Sylvain Coutterand – EDYTEM, CNRS - 2017



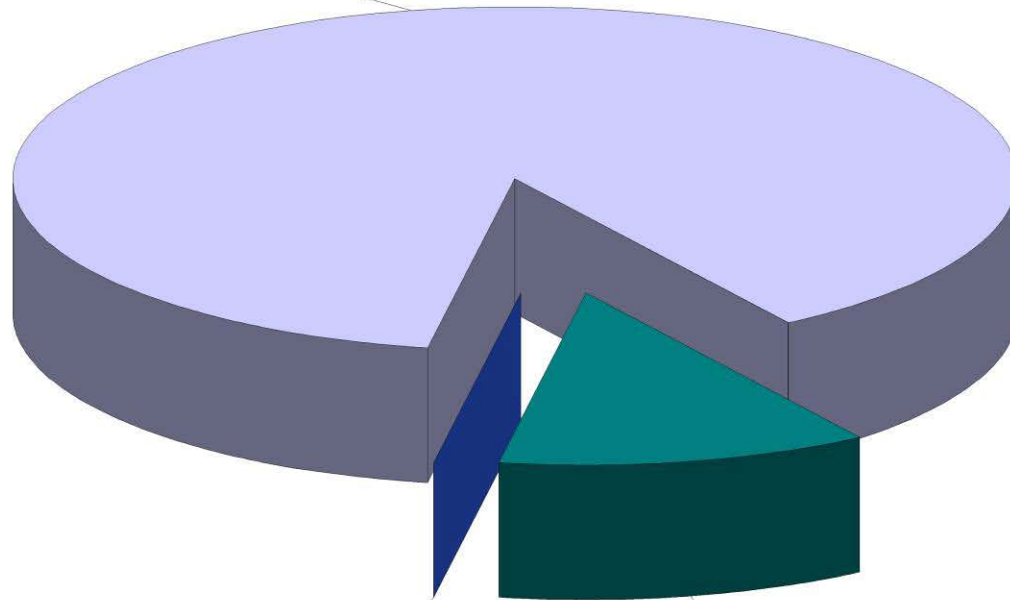
- L'eau liquide ou solide, élément universel
- La glace à la surface de la terre
- Fluctuations du volume des calottes glaciaires à l'échelle des temps géologiques
- Les calottes quaternaires
- Glaciers, icebergs et banquise, quelles différences ?
- La calotte glaciaire groenlandaise
- La calotte glaciaire antarctique

Répartition des eaux sur la Terre



Répartition de l'eau douce sur la Terre

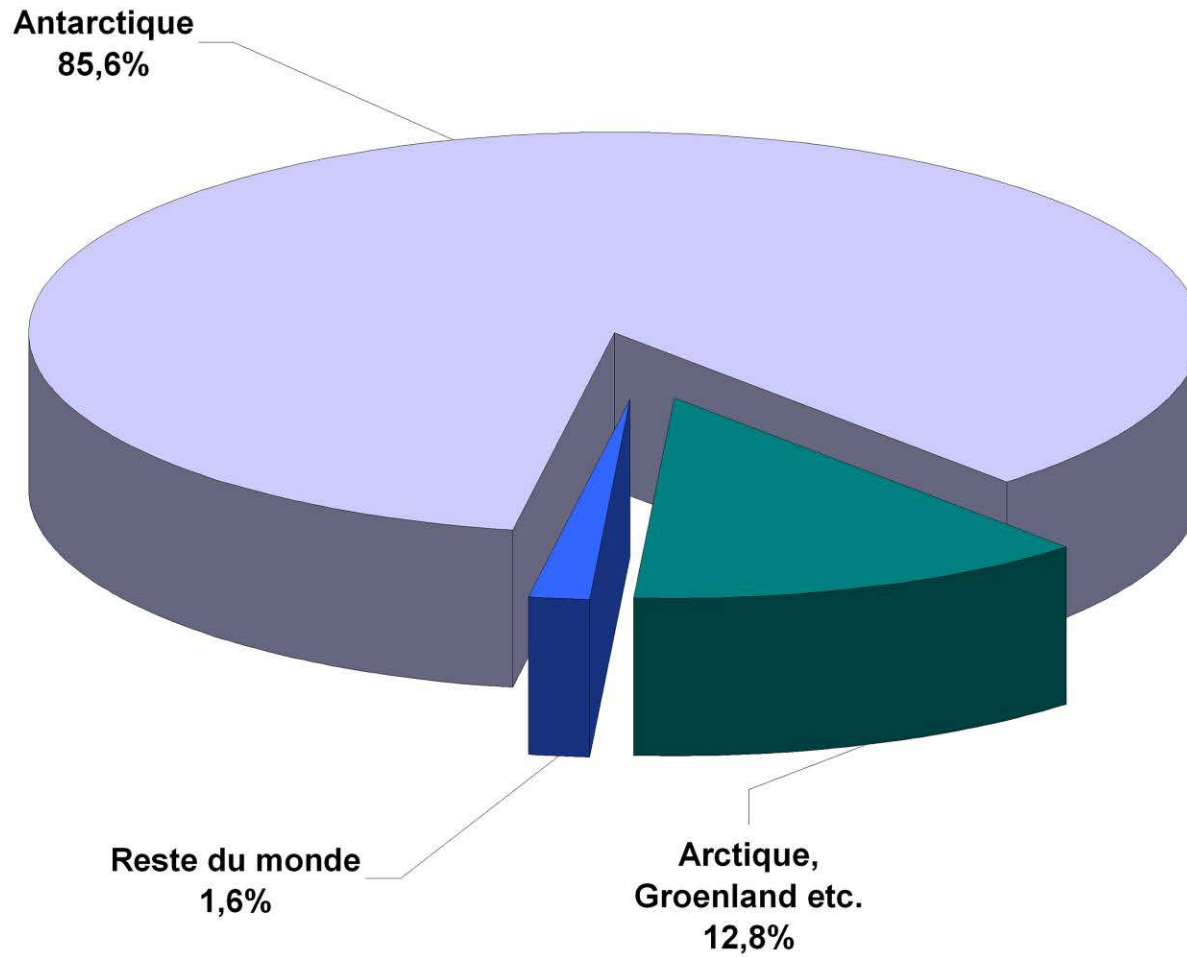
Glace
87,5%



Eau de surface
0,5%

Eau souterraine
12%

Répartition de la glace sur la Terre



La glace à la surface de la terre

Glace = 75 % de l'eau douce de la planète

= 2% de l'eau


10% des terres émergées



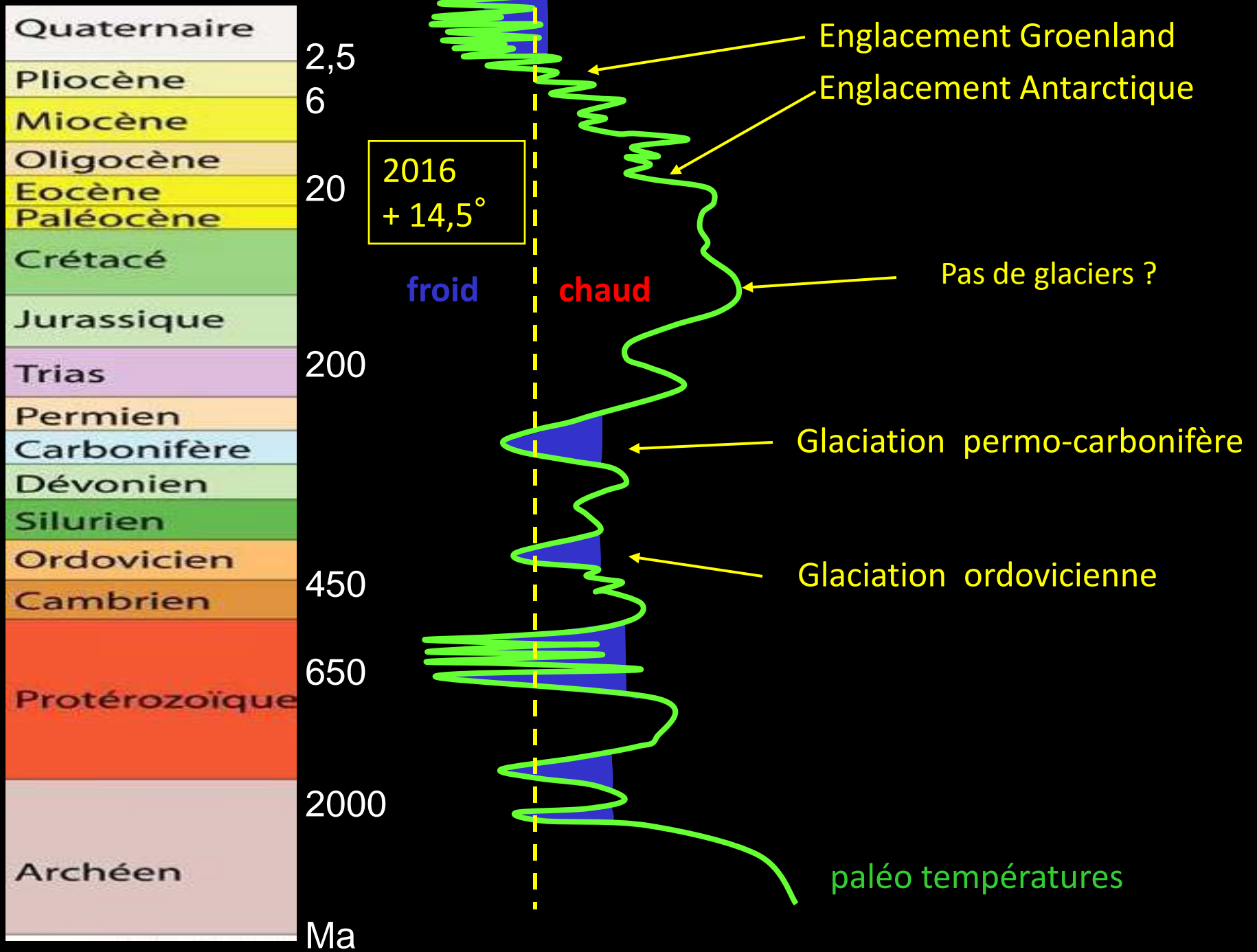
2 Inlandsis



Contrairement à la fonte de la banquise – eau de mer gelée flottant sur la mer –, la fonte des glaces d'eau douce, c'est-à-dire des calottes glaciaires et des glaciers, contribue à la montée du niveau des océans. Le continent antarctique stocke 26 millions de km³ de glace. Si l'Antarctique fondait en totalité, la hausse du niveau des océans est estimée à 60 mètres. Il faudrait y ajouter les effets de la fonte du Groenland, soit de l'ordre de 6 mètres (2m de marge d'incertitude). Source : CNRS



Fluctuations du volume des calottes glaciaires
à l'échelle des temps géologiques





Glaciations du Paléozoïque

- ordovicienne 440 Ma
- permo-carbonifère 280 Ma

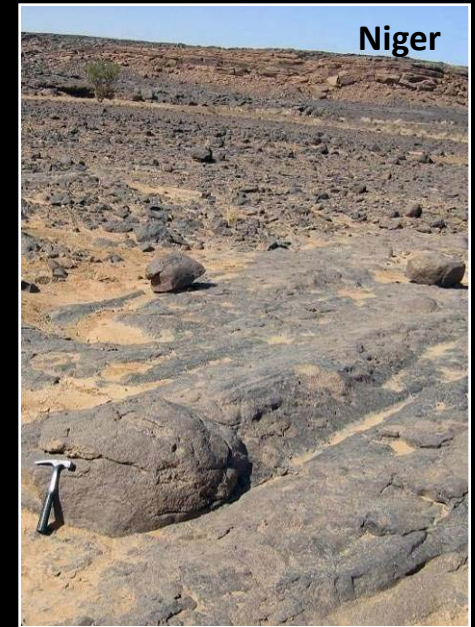
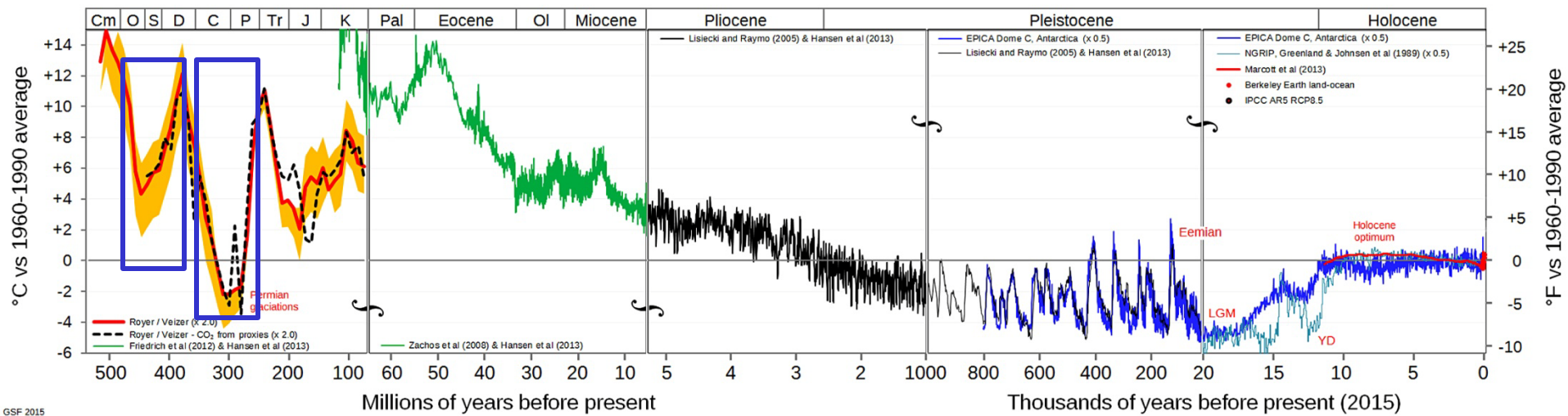
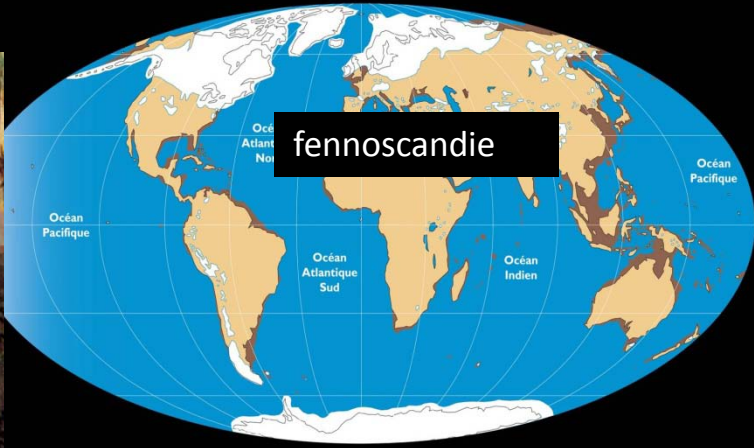


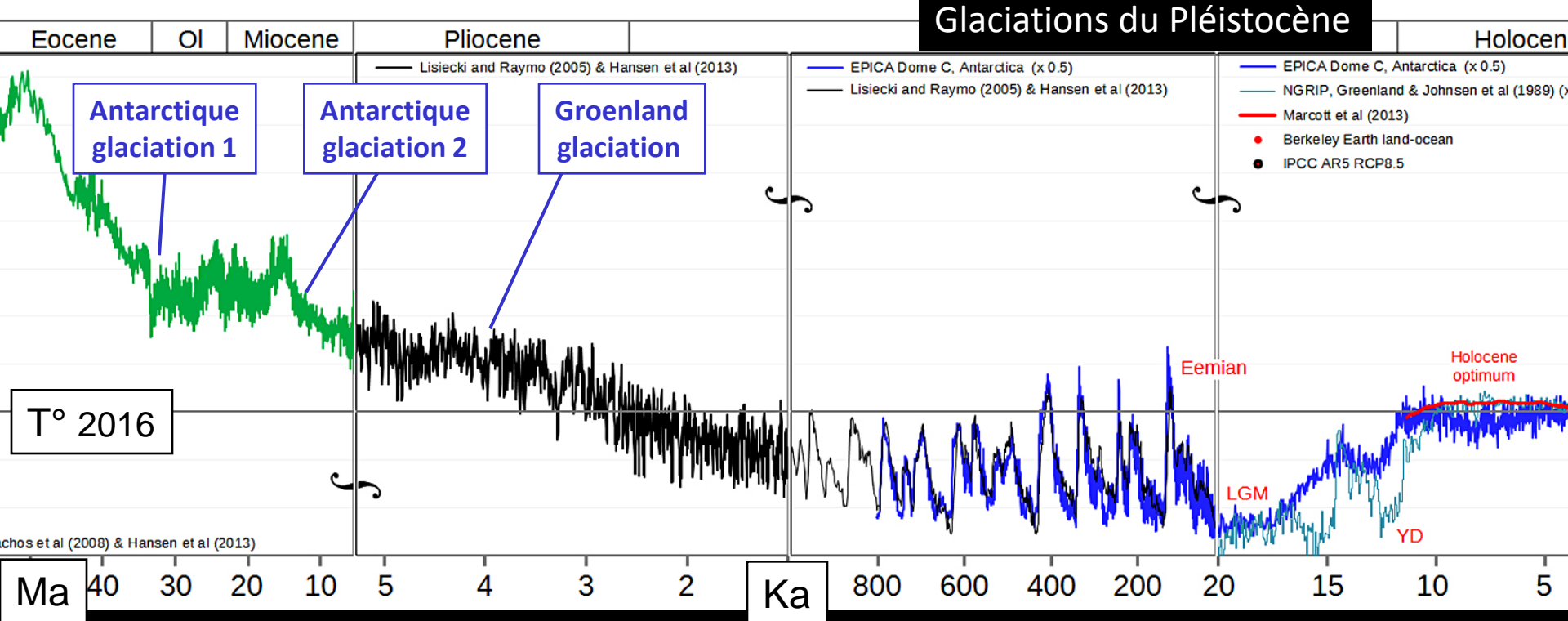
Photo Buoncristiani





Les Alpes au Miocène, - 20 millions d'années

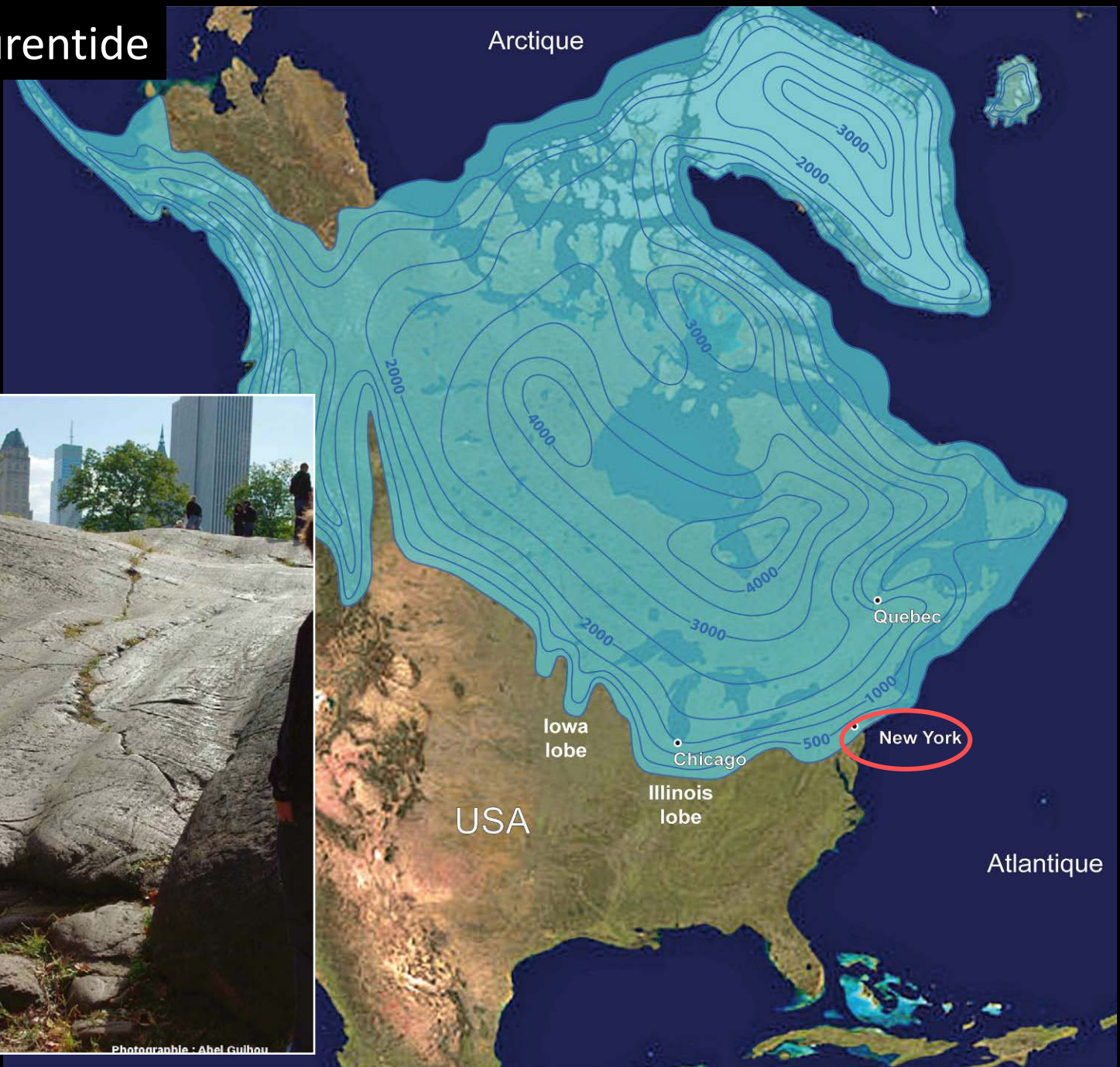
Glaciations du Pléistocène



A wide, flat, rocky landscape under a clear sky, with snow-capped mountains in the background. The foreground is dominated by dark, jagged rocks and boulders. The middle ground shows a vast, flat expanse of light-colored rock and sediment, possibly a glacial outwash plain. In the background, a range of dark, rugged mountains is partially covered in snow, with a few peaks visible in the distance under a pale, clear sky.

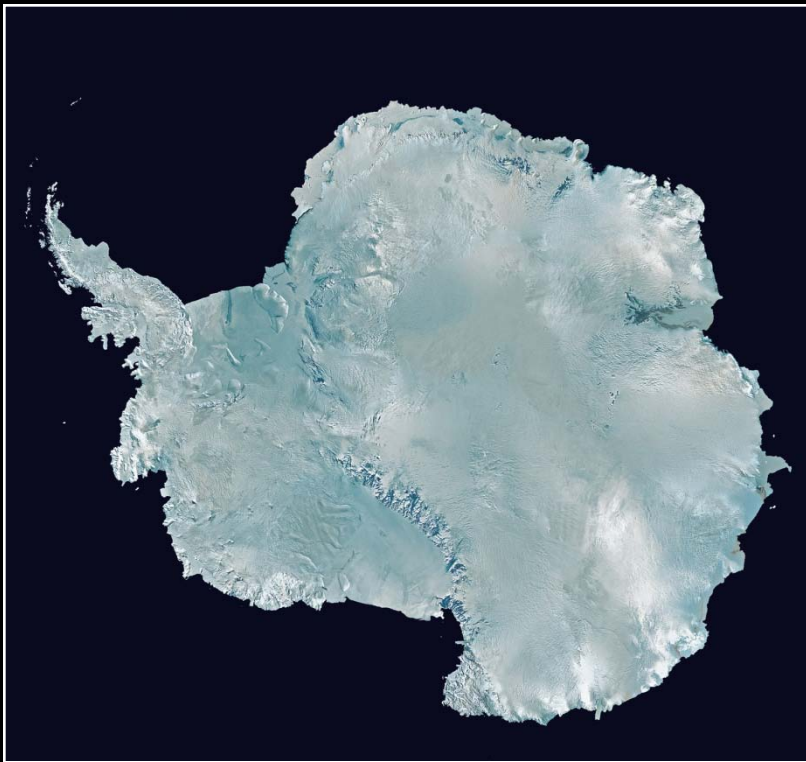
Les calottes glaciaires du Pléistocène

La Laurentide



Photographie : Abel Guilhou

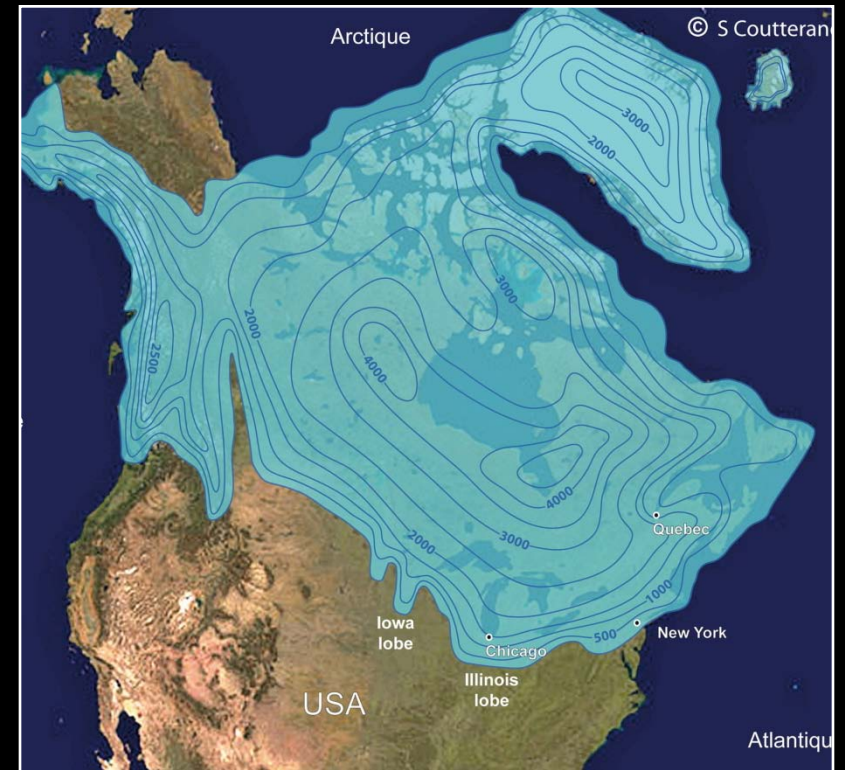
Antarctique aujourd'hui et Laurentide : beaucoup similitudes !




L'Antarctique aujourd'hui

- 28 à 32 millions de km³
- 4800 à 5000 m d'épaisseur de glace

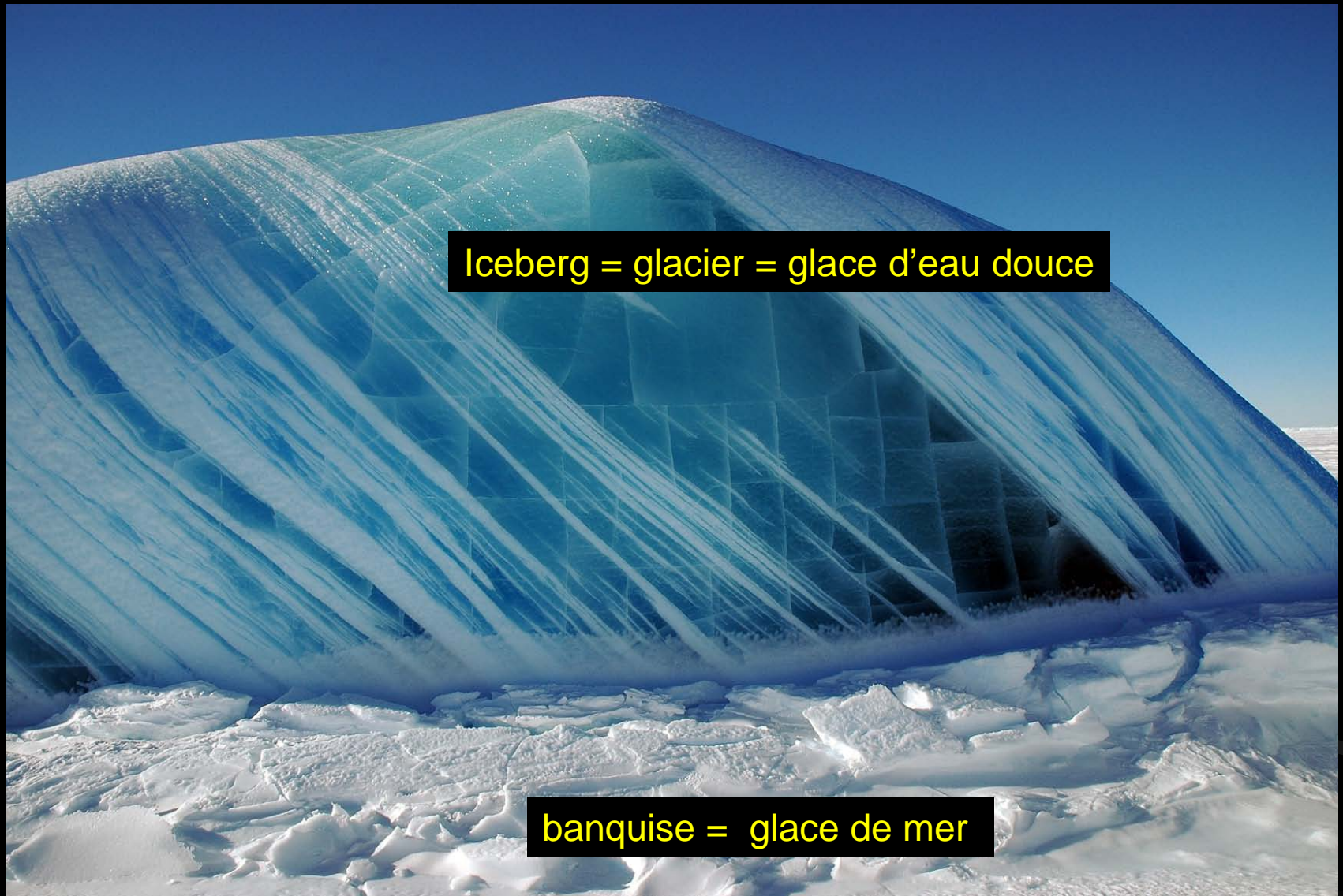
La Laurentide il y a 22 000 ans



A dark, atmospheric landscape featuring a large glacier in the foreground and snow-capped mountains in the background under a twilight sky. The glacier is textured with numerous crevasses and ridges, appearing as a vast, dark expanse of ice. The mountains in the background are rugged and partially covered in snow, with some peaks catching the light of the setting or rising sun. The sky is a deep, dark blue, suggesting dusk or dawn. The overall mood is serene and majestic.

Glaciers, icebergs et banquise, quelles différences ?

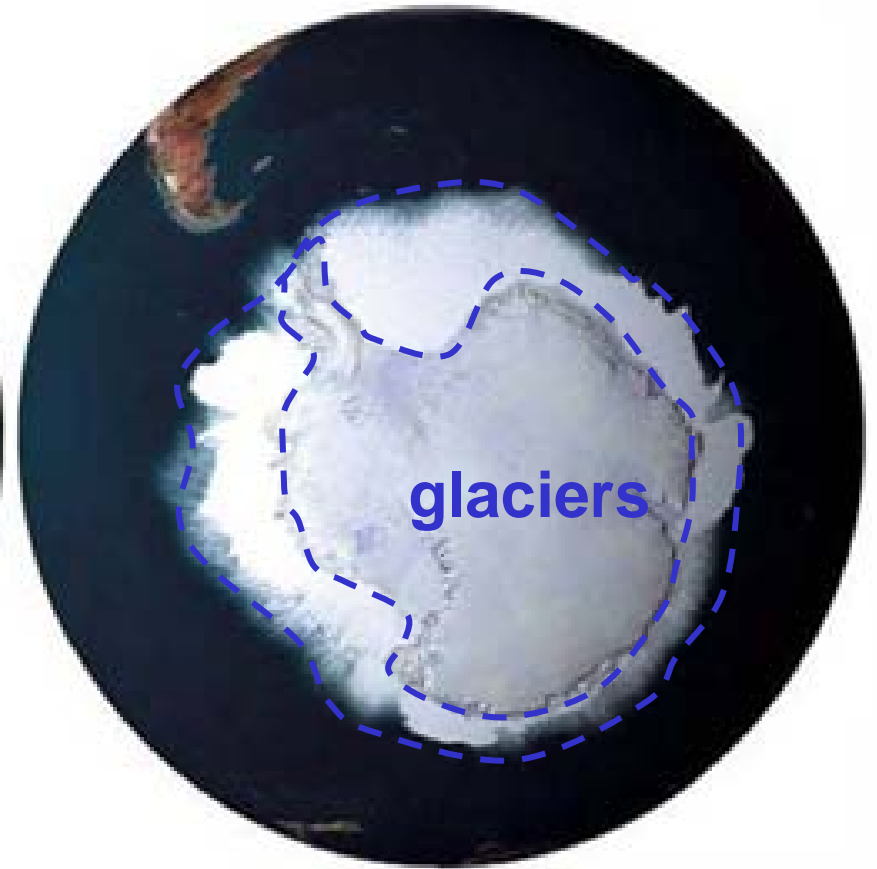
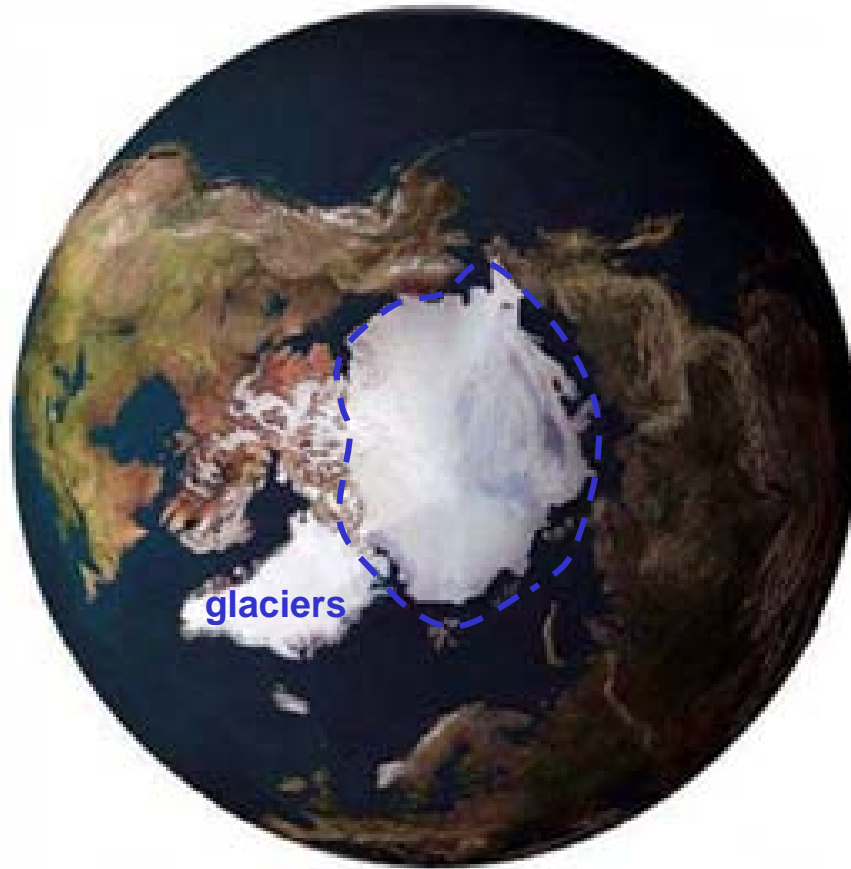
Iceberg et banquise



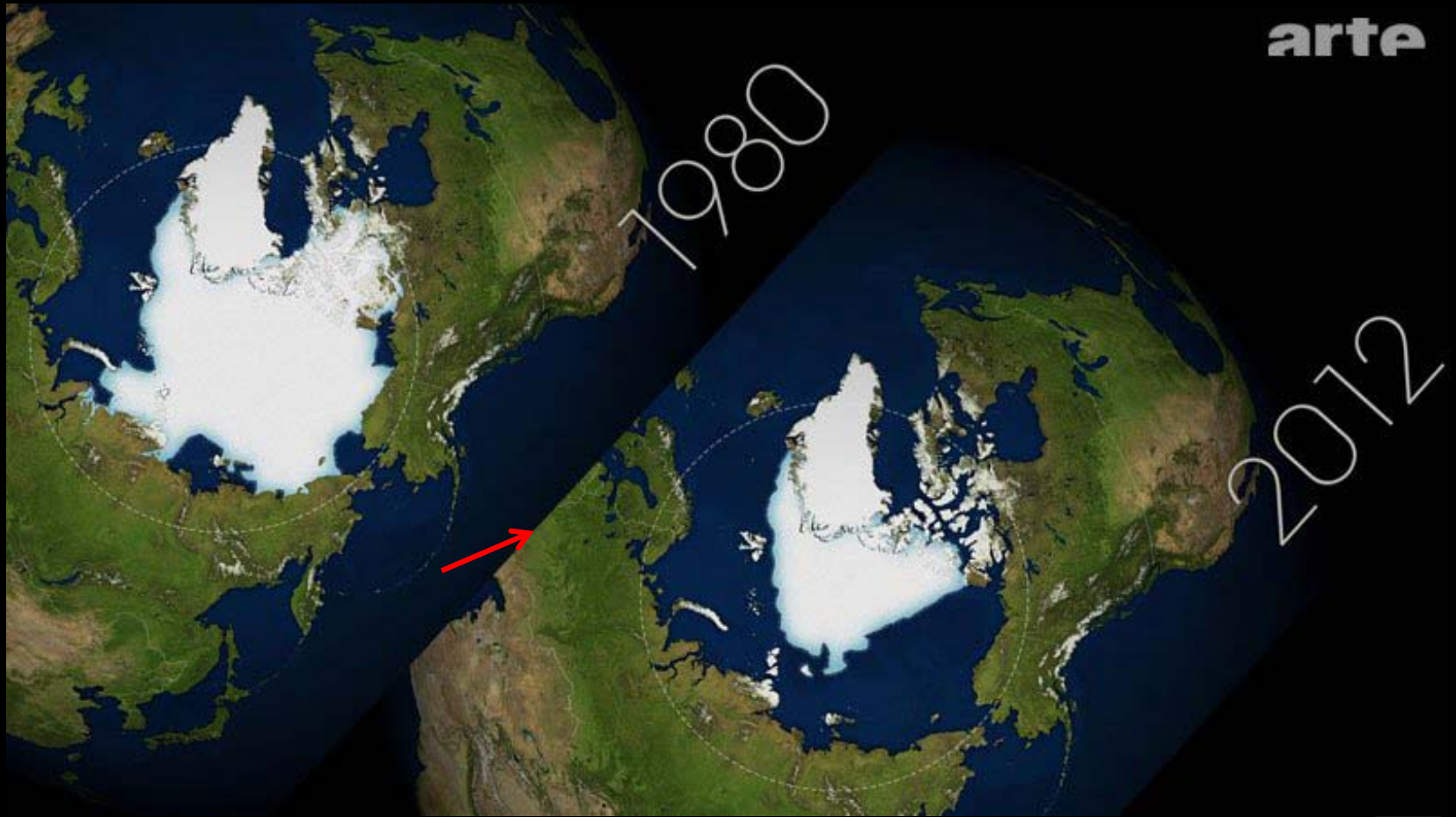
Iceberg = glacier = glace d'eau douce

banquise = glace de mer

Les banquises arctique et antarctique = eau de mer gelée




Etendue de la banquise de l'Arctique en été



- En 1980, l'épaisseur moyenne de la banquise arctique était comprise entre 1,89 à 2,62 m,
- en 2012 : de 1 à 1,72 m

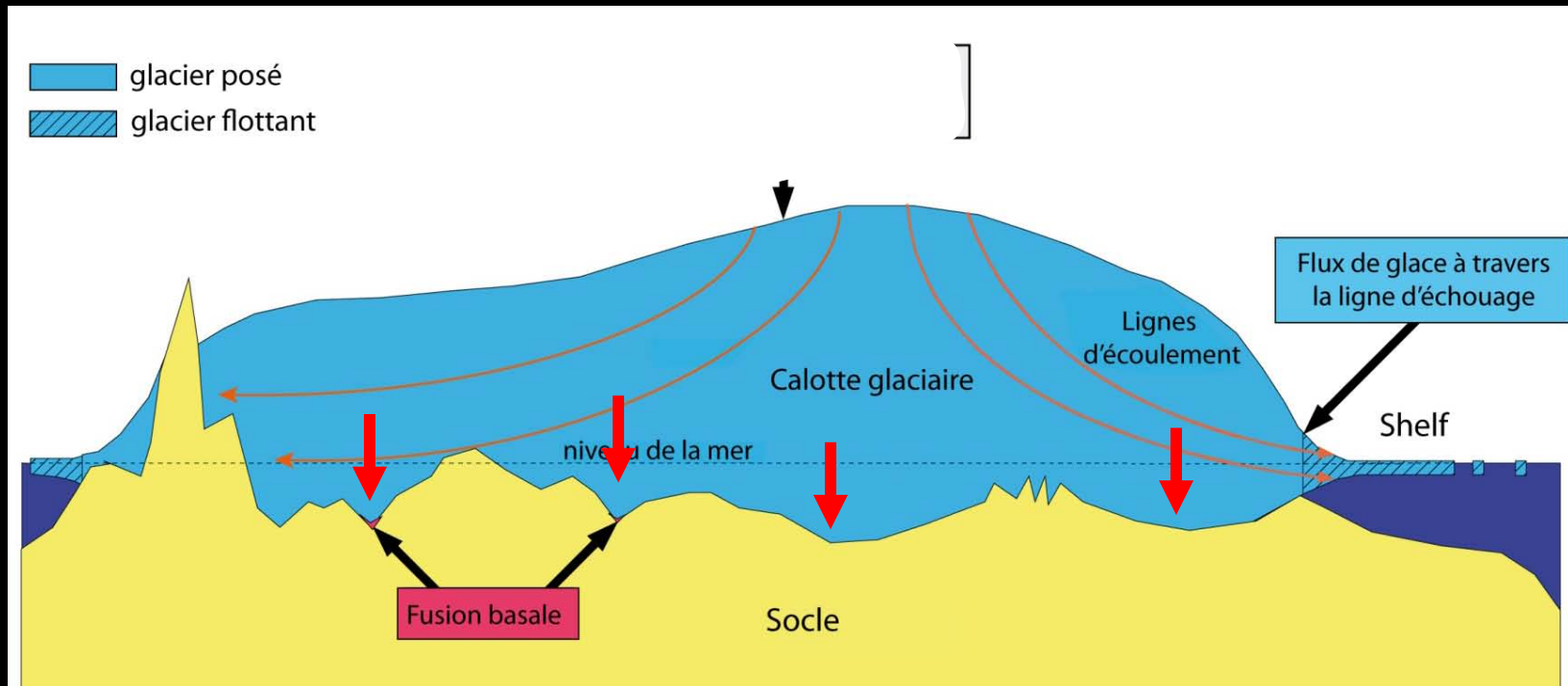
La banquise = eau de mer gelée



A wide, flat expanse of ice, likely a glacier or ice sheet, stretching towards a range of dark, snow-capped mountains under a clear sky. The foreground shows the textured surface of the ice with some small pools of water. The mountains in the background are rugged and partially covered in snow, with a few peaks visible in the distance. The overall scene is a vast, cold, and desolate landscape.

Les calottes glaciaires de la planète

Un inlandsis : qu'est-ce que c'est ?

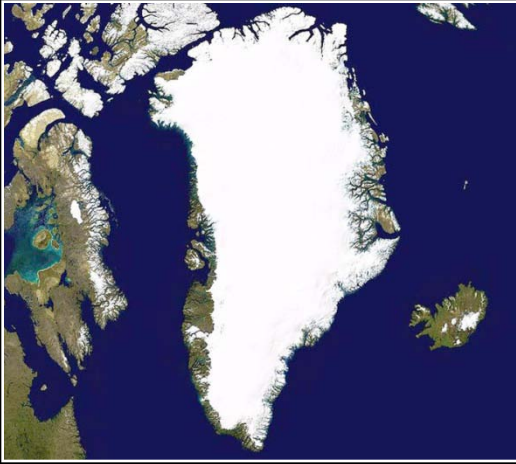


Isostasie sous-glaciaire

- Sous le poids de la glace la croûte terrestre s'enfonce.
- Lorsque la glace se retire, le socle remonte.

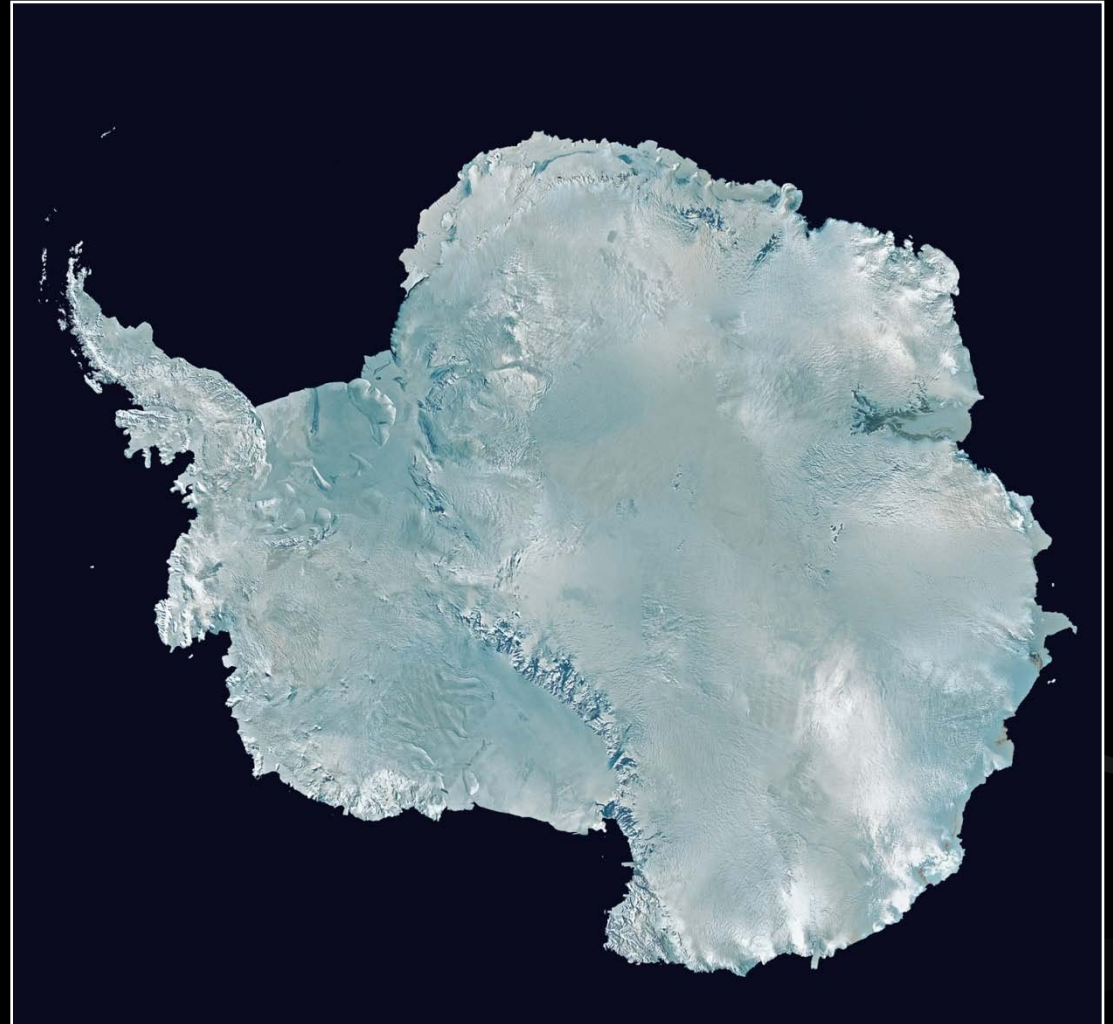
Inlandsis > 50 000 km²

Aujourd'hui sur la Terre, deux inlandsis : le Groenland et l'Antarctique



- 2,9 Millions de km^3
- 1 726 000 km^2

- 25 millions de km^3
- 12,3 millions de km^2



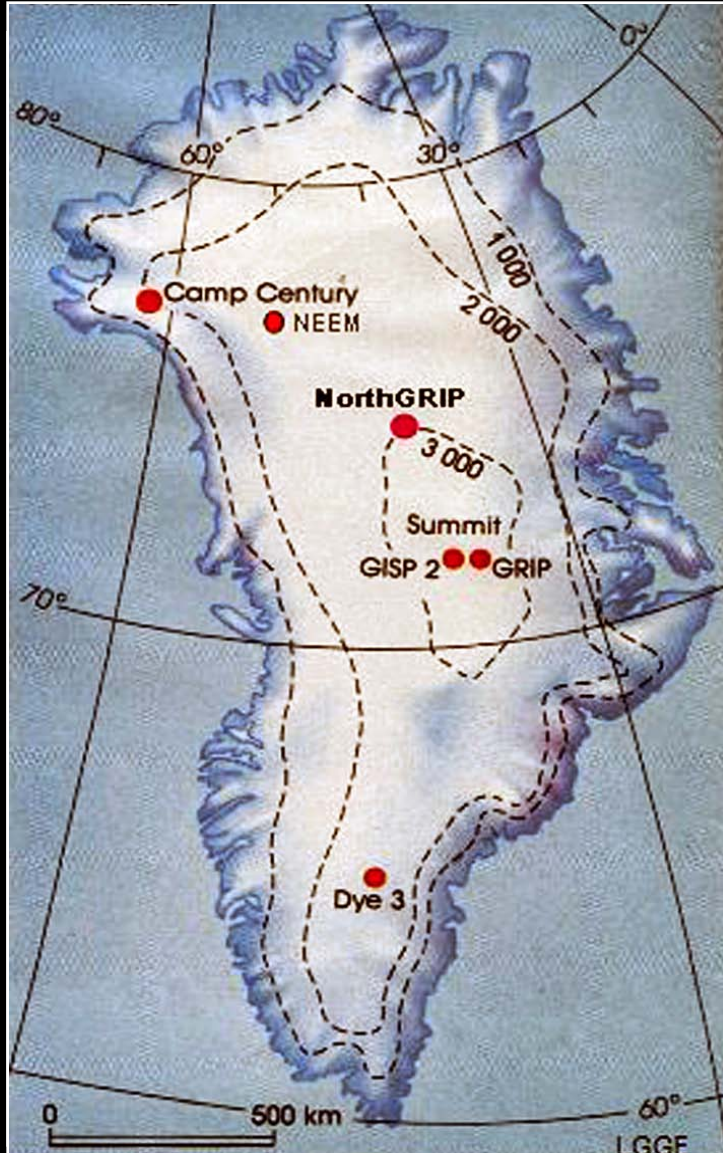
A wide, flat expanse of ice, likely a glacier or ice sheet, stretches across the foreground and middle ground. The ice surface is textured with numerous small, dark, rocky inclusions and crevasses. In the background, a range of dark, jagged mountains rises against a twilight sky. The sky is a mix of deep blue and purple, with some light clouds near the horizon. The overall scene is cold and desolate.

La calotte glaciaire groenlandaise

Groenland : province autonome du Danemark



Superficie 2 166 086 km²[1]
Démographie
Population (2011) 56 615 hab.
Densité 0,03 hab./km²
Langue(s) groenlandais



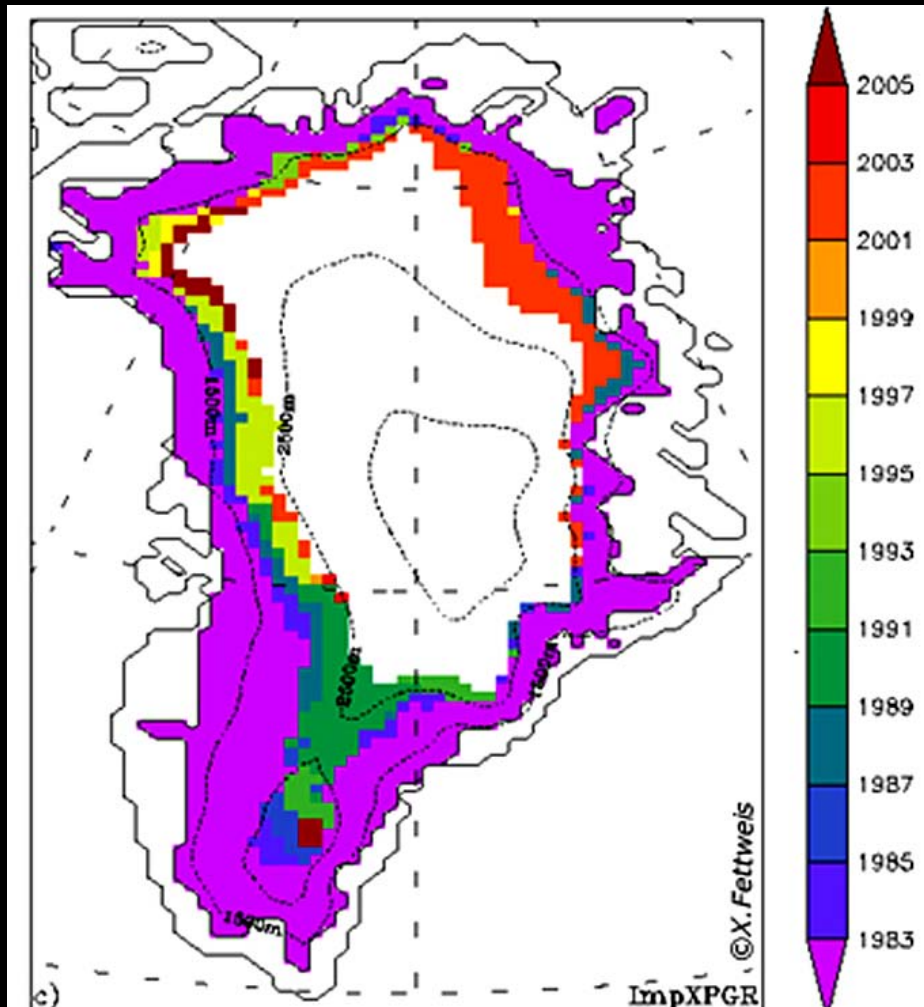
Le Groenland

- la calotte s'est formée au Pliocène, il y a 4,1 Ma (fermeture de l'isthme de Panama).
- représente 95 % de la surface de l'île,
- études de l'évolution de l'épaisseur de la glace et des courants marins froids générés par la fonte (circulation thermohaline) dans le cadre du réchauffement climatique.
 - épaisseur de près de 3000 m au centre
Un cycle glaciaire : enregistrement GRIP
- enregistrements climatiques du Groenland (forages GRIP, NorthGRIP, GISP2, ...)

Effet du réchauffement climatique sur la fonte estivale...



Accélération de la fonte estivale de surface de la calotte glaciaire



- fonte de surface = ablation
▶ présence d'eau

Chaque couleur correspond à une année, l'année où une fonte a été enregistrée pour la première fois au moins un jour sur l'année.

Alors que la fonte était encore localisée sur les bords du Groenland au début des années quatre-vingt, elle gagne de plus en plus l'intérieur de la calotte au fil des ans.

En 2005, de la fonte a même été observée à 2900m d'altitude !

REMARQUE : l'étude d'une équipe de chercheurs (Ola Johannessen, NERSC, Bergen, Norvège) a mesuré les variations d'altitude et donc d'épaisseur de l'inlandsis du Groenland.

- Les relevés entre 1992 et 2003 montrent que la couche de glace a augmenté de 6,4 cm par an au-dessus de 1 500 mètres d'altitude, et de 2 cm par an pour les altitudes inférieures à 1 500 m.

Glaciers émissaires de la calotte glaciaire = Icestream



Exemple de retrait glaciaire dans le fjord de l'Ilulissat





- Positions des fronts successifs du glacier de l'Ilulissat (Jakobshavn Isbrae), (Weidick and Bennike (2007))

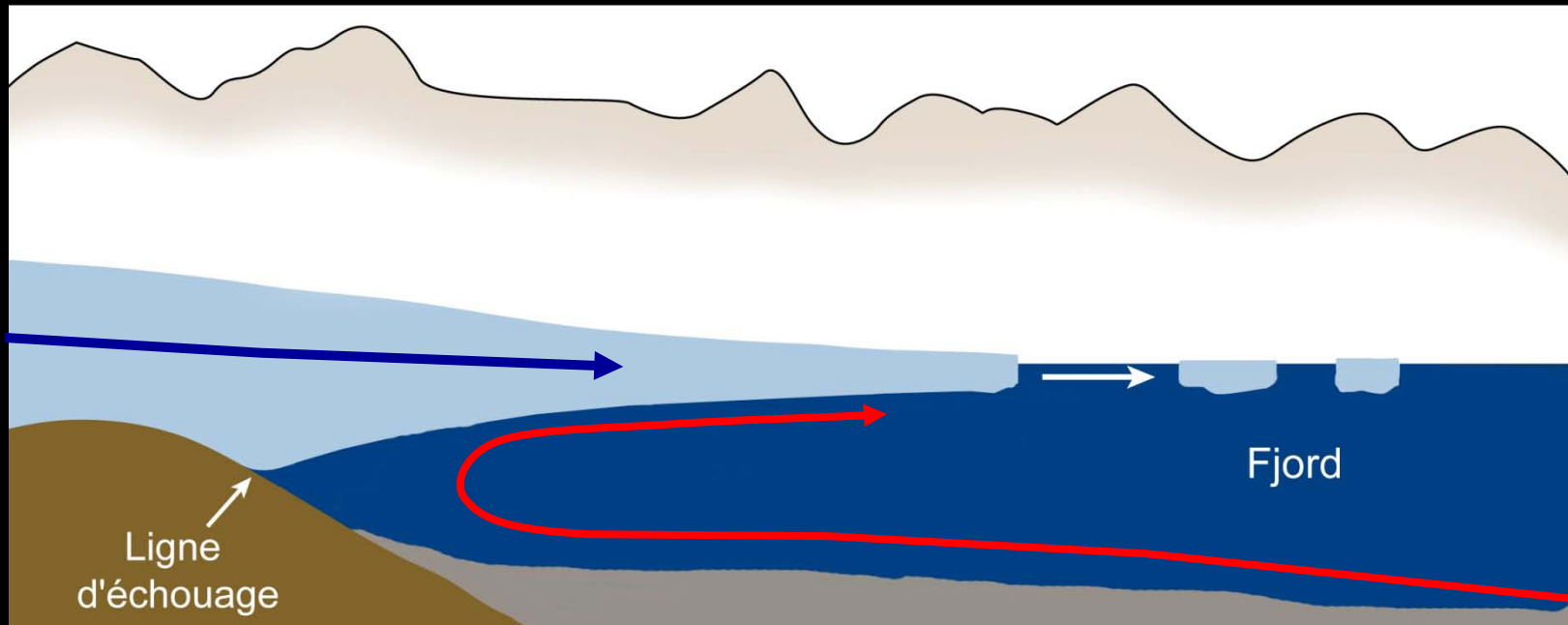
Le glacier d'Ilulissat (Jakobshavn Isbrae en danois) situé sur la côte ouest du Groenland est le plus grand producteur d'icebergs de tout l'hémisphère nord.

- Il atteint une vitesse d'écoulement de 13 km/an (20 à 35 mètres par jour),



Accélération et recul des icestreams : les causes

- La surface des glaciers fond en raison de décennies d'augmentation continue des températures de l'air
- Dans les fjords, la base des icestreams est sapée par des courants océaniques chauds.



Fjords côte ouest : marqueurs géomorphologiques



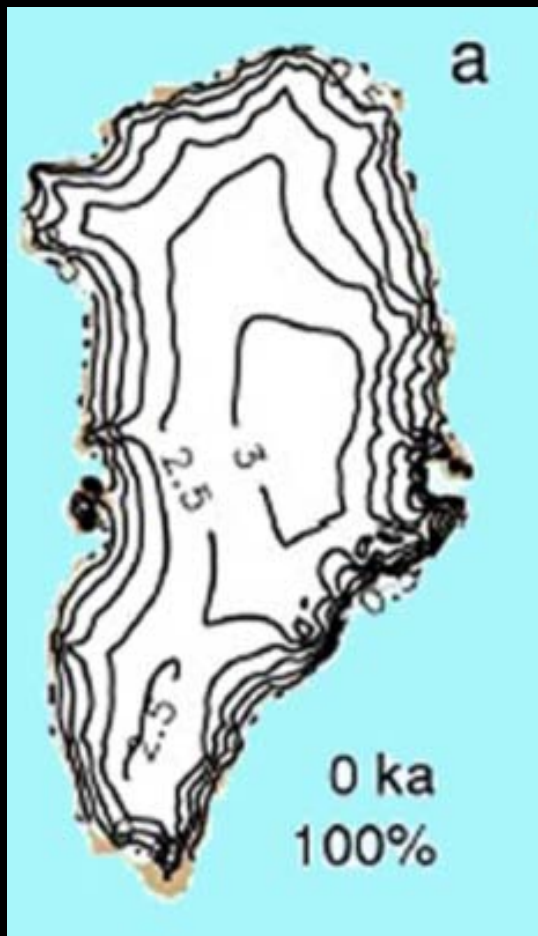
Fjord Tasermiut : géomorphologie glaciaire




- Le fjord Tasermiut mesure près de 70 km de long et est situé à la pointe sud du Groenland.

©Photolia

Vers une fonte de la calotte glaciaire ?



- perspectives sur 1200 ans (selon le GIEC, scénario + 3, 5°)
- reste 60 % de la surface
- situation similaire à l'optimum climatique de l'Éémien (- 128 000 ans)

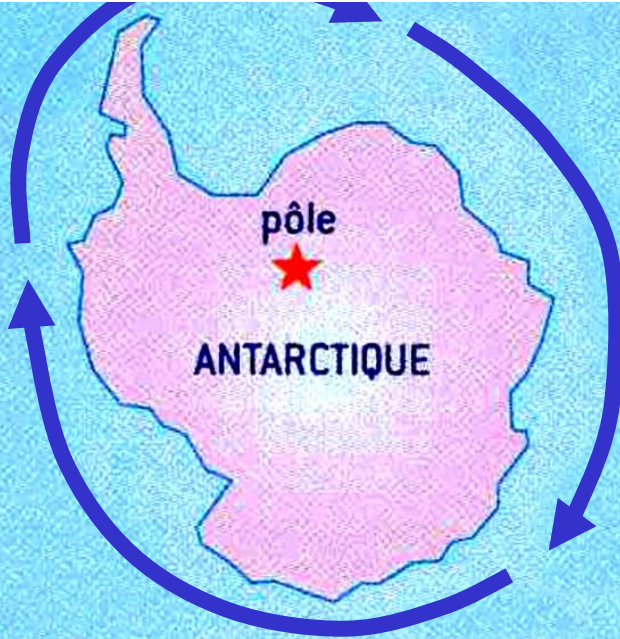
A wide, flat expanse of ice, likely a glacier or ice sheet, stretches across the foreground and middle ground. The ice surface is textured with numerous small, dark, rocky fragments and ridges, suggesting a process of glacial erosion or sediment transport. In the background, a range of dark, jagged mountains rises against a clear, light blue sky. The mountains are partially covered in snow or ice, particularly on their upper slopes and peaks. The overall scene is a stark, high-altitude landscape.

La calotte glaciaire Antarctique

AMÉRIQUE DU



- 4,1 Ma formation de la calotte glaciaire du Groenland (fermeture de l'isthme de Panama).



- 35 Millions d'années
➤ Ouverture du Passage de Drake début de l'englacement Antarctique
(Ruddiman, 2002 ; Trompette, 2003)

NOUVELLE-ZÉLANDE

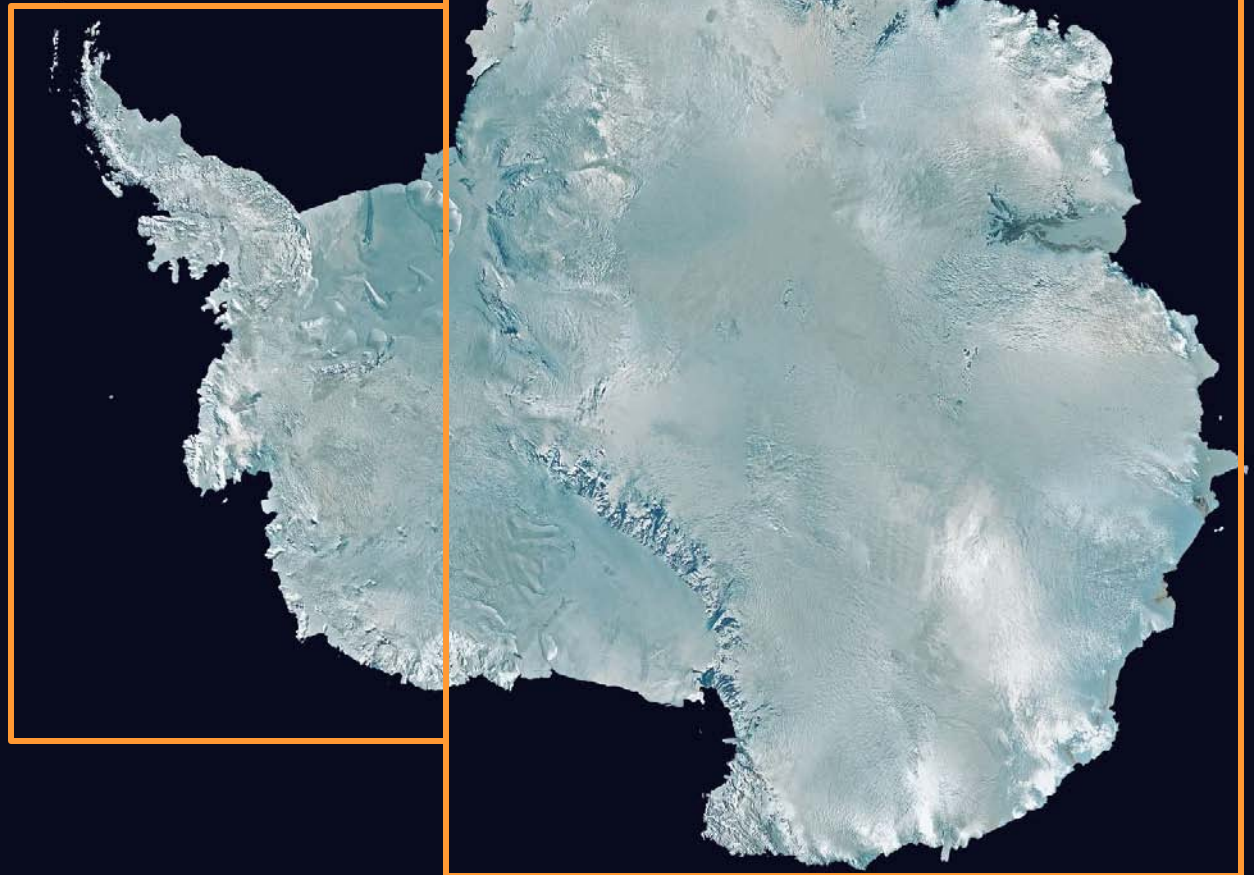
AUSTRALIE

0 2 000 km

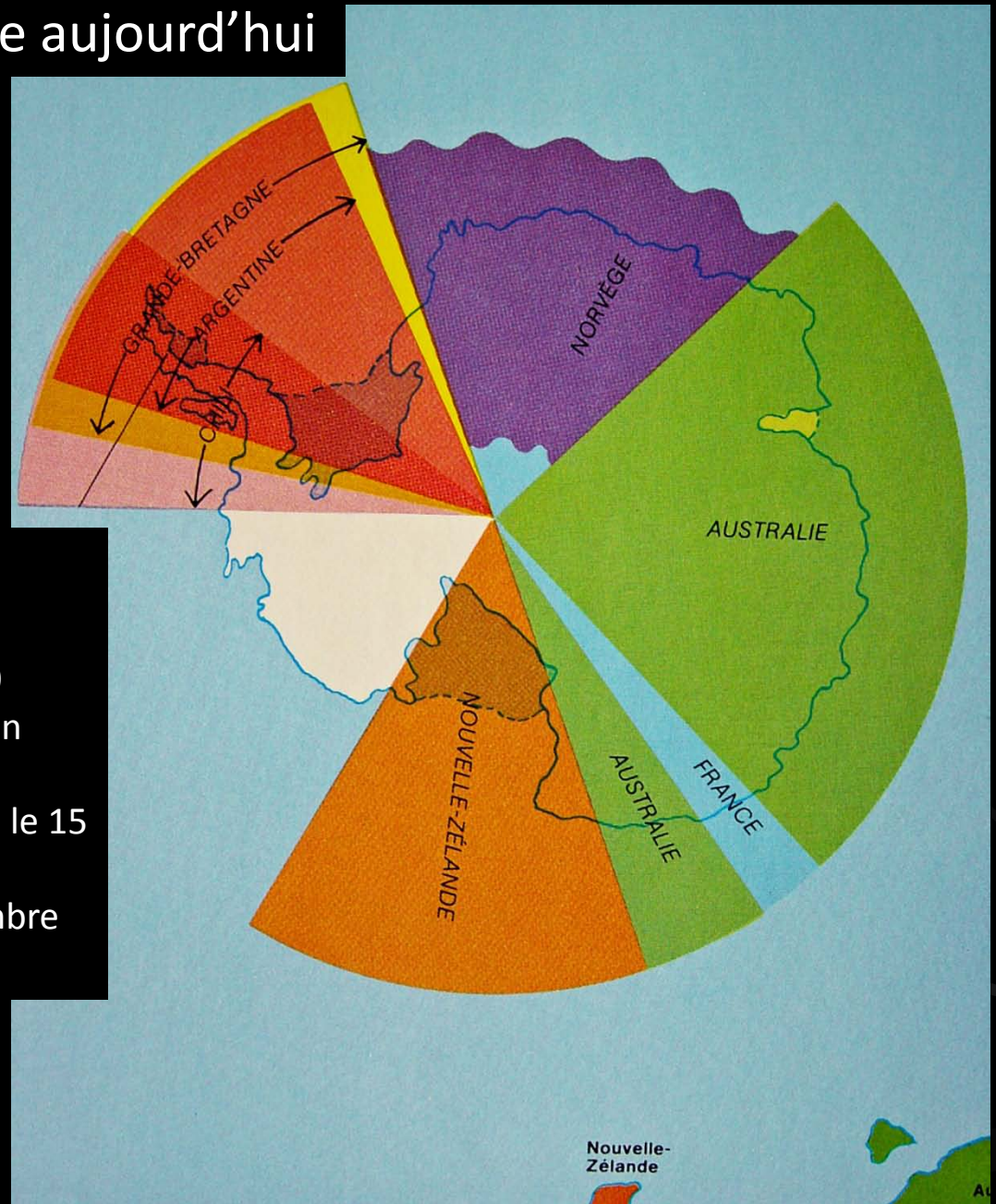
Mise en place du courant circum-Antarctique

L'Antarctique aujourd'hui

- Antarctique est 26 millions de km³
- Antarctique ouest 2,5 millions de km³
- Surface total 14 millions de km²



A qui appartient l'Antarctique aujourd'hui



Traité sur l'Antarctique

Conclu à Washington le 1er décembre 1959

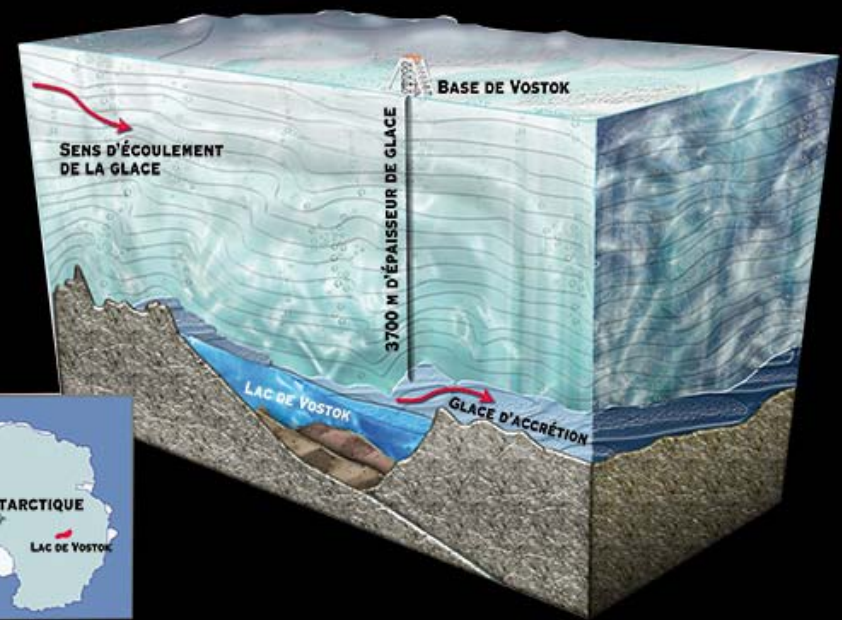
Approuvé par l'Assemblée fédérale le 22 juin 1990

Instrument d'adhésion déposé par la Suisse le 15 novembre 1990

Entré en vigueur pour la Suisse le 15 novembre 1990

La recherche en Antarctique

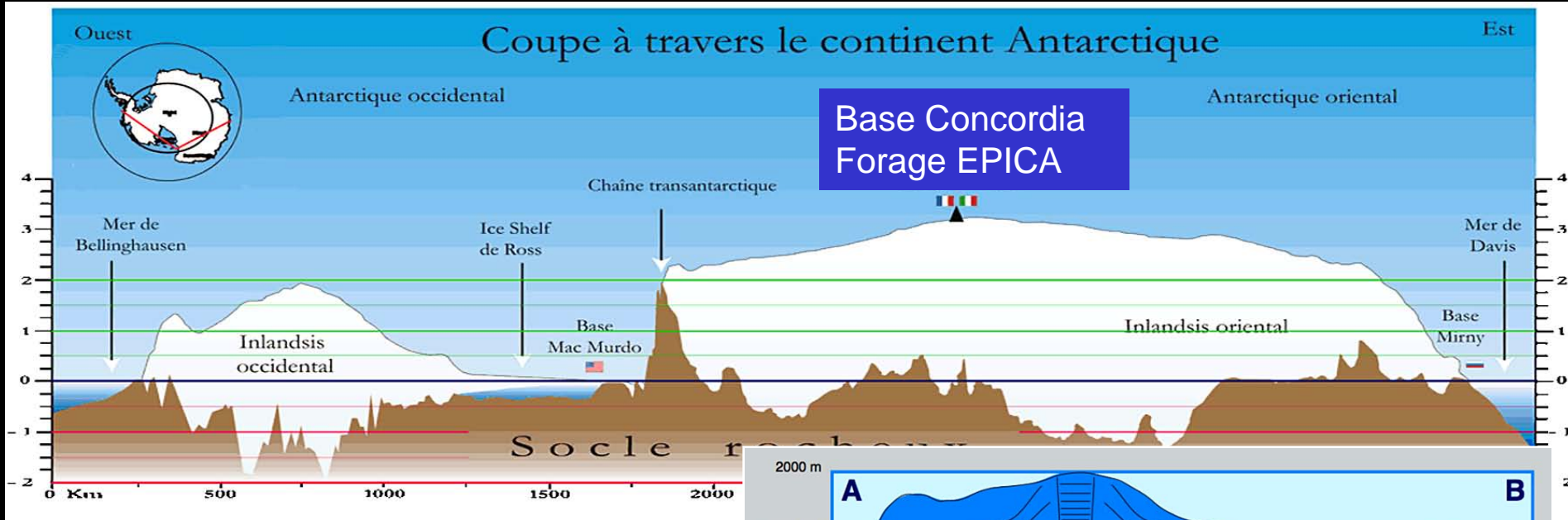
Vostok, au pôle du froid (-89,3 °C), endroit le plus reculé de la planète (à 1 400 km de tout point de ravitaillement), Français, Russes et Américains ont travaillé ensemble.



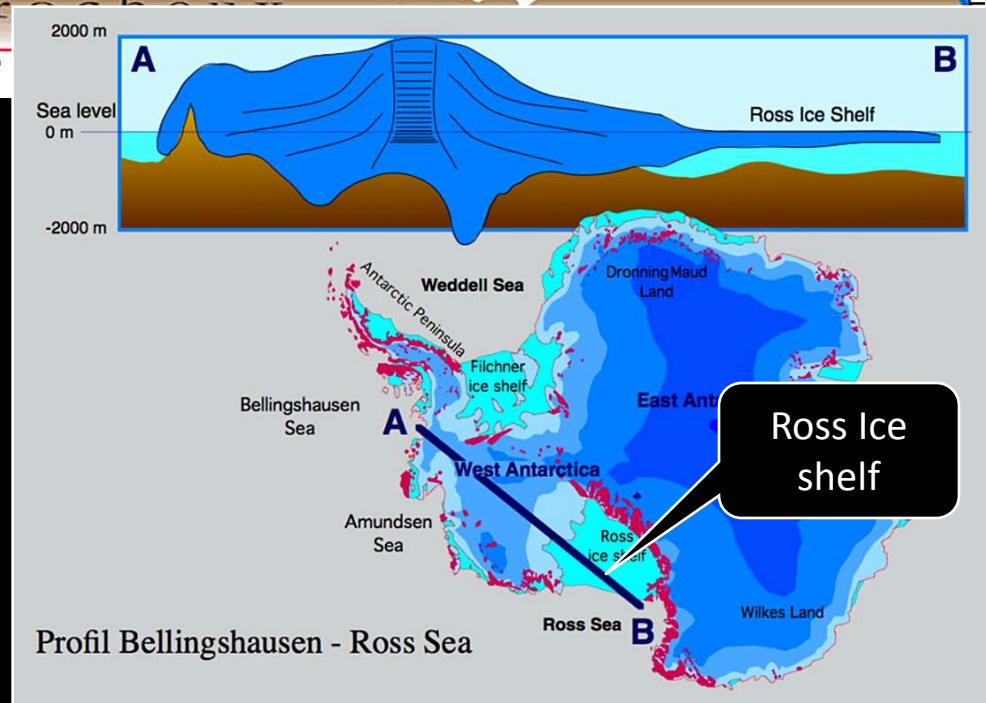
Le lac Vostok

- Sous 4 km de glace, ce lac représente le dernier grand territoire encore inexploré de notre planète.
- Le plus étendu (16000 km², près de deux fois la Corse), le plus profond (1200 m) et sans doute le plus ancien des lacs sous-glaciaires.
- L'eau du lac est restée liquide grâce au flux géothermique, à la pression;
- Une température qui avoisinerait -3°C et une pression 350 fois supérieure à celle de l'atmosphère;
- Surtout, contrairement à la majorité des autres lacs qui sont le fruit de la fonte de la base de la calotte sous l'effet de son poids, celui-ci existait déjà probablement il y a 35 millions d'années...
- Y a-t-il de la vie piégée par les glaces il y a 20 millions d'années ?
- Si oui, quels chemins évolutifs a-t-elle empruntés ?

Coupe transversale du continent



Coupe transversale de l'Anctarctique ouest A – B



Forage EPICA (*European Project for Ice Coring in Antarctica*)

La plus grande archive glaciaire et la mise en évidence du contrôle astronomique des climats

Implications scientifiques :

- le Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement (analyse des traces gazeuses, chimie de la glace, et rhéologie)
- le Laboratoire de Modélisation du Climat et de l'Environnement (reconstruction des paramètres climatiques)
- le Centre de Spectrométrie Nucléaire et de Spectrométrie de Masse (isotopes cosmogéniques)
- le Centre des Faibles Radioactivités, et le Département de Géologie et d'Océanographie de Bordeaux, associés au projet (chimie de la glace et à l'analyse des poussières).

Dix pays Européens (Allemagne, Belgique, Danemark, Italie, France, Norvège, Pays - Bas, Royaume - Uni, Suède et Suisse), sont impliqués dans EPICA.



Forage EPICA

La plus grande archive glaciaire

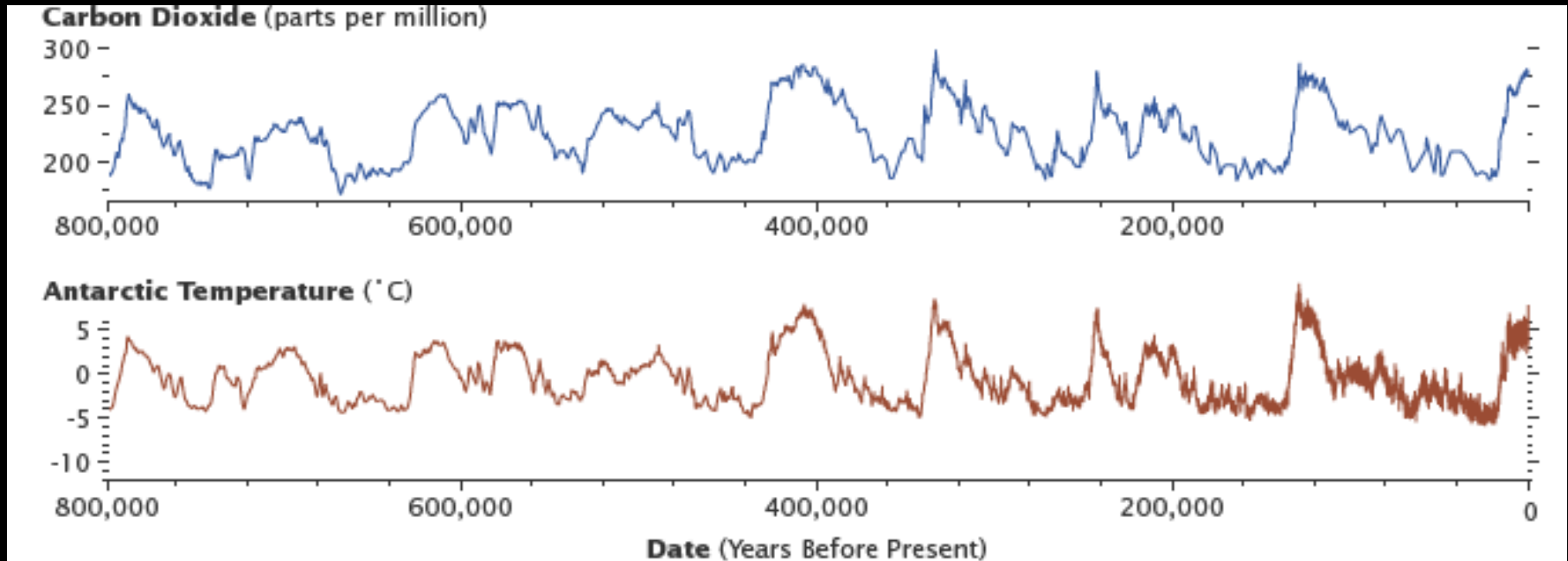


Illustration de la relation entre climat et gaz à effet de serre au cours des 800 000 dernières années. :

- La température en Antarctique est déduite du profil de teneur en deutérium analysé par l'équipe de Saclay le long du forage de plus de 3 km réalisé au Dome C.
- Les variations de la composition de l'atmosphère en gaz carbonique (en haut) et en méthane ont été obtenues par les équipes de Grenoble et de Berne à partir de l'air extrait des glaces de Vostok pour les quatre derniers cycles climatiques et du forage du Dome C pour la glace vieille de plus de 420 000 ans. Elles sont exprimées en ppmv (parties par million en volume) pour le gaz carbonique, CO₂, et en ppbv (parties par milliard en volume) pour le méthane, CH₄. © Jean Jouzel



Une calotte glaciaire, ou inlandsis, se forme par accumulation de neige sur un continent. Cette neige se tasse, se compacte et devient glace.

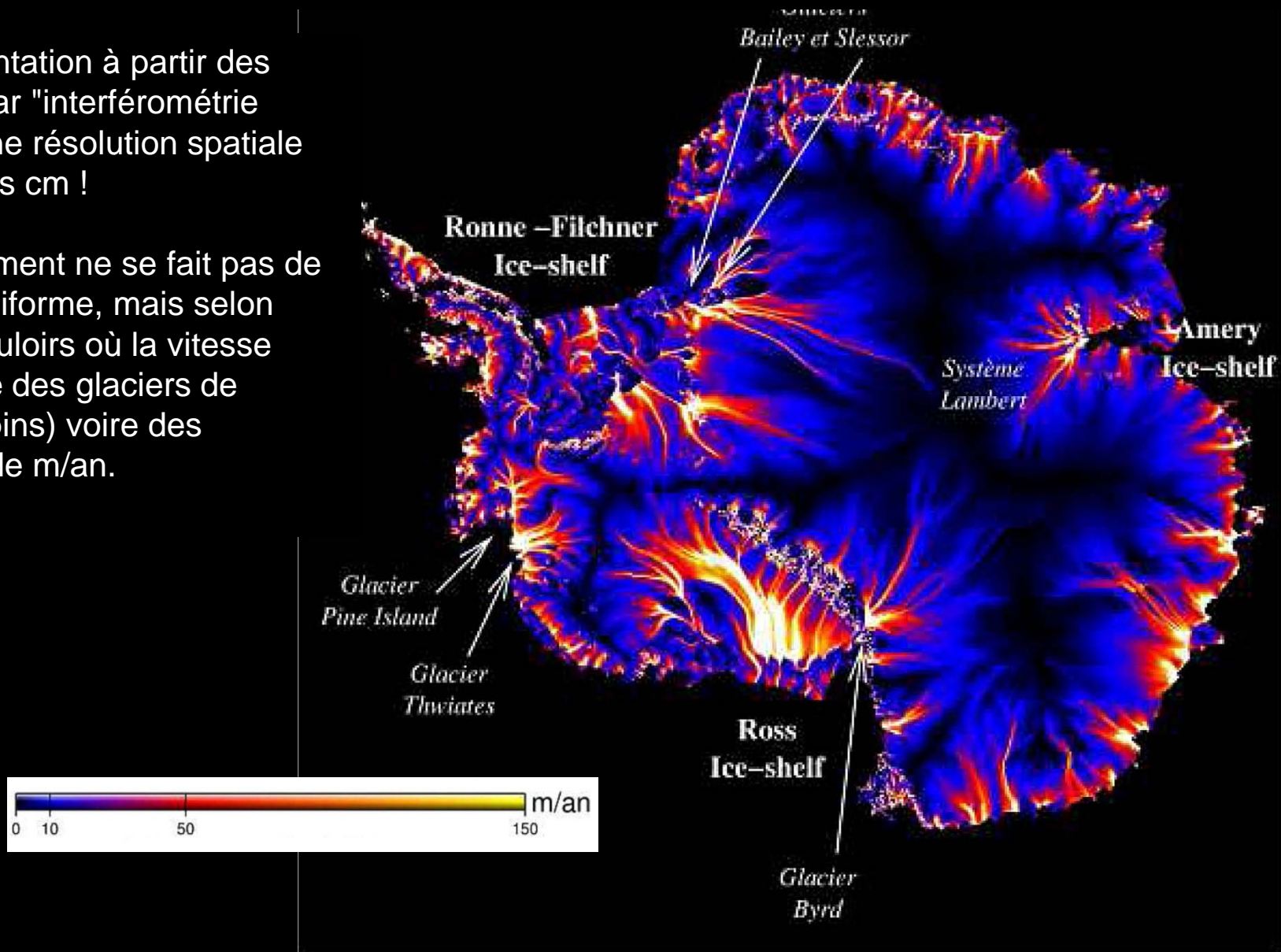
Sous l'effet de son poids, elle s'écoule jusqu'au bord du continent. S'il y a peu de fonte de surface, ce qui est le cas de l'Antarctique, elle va glisser et se déverser dans l'océan puis se mettre à flotter.

Ce processus forme alors ce qu'on appelle une plate-forme de glace flottante, en anglais un shelf, qui reste attachée au continent. Tout autour de l'Antarctique, les shelves, alimentés par les icestreams, remplissent les baies et s'avancent sur l'océan. Elles se transforment en d'immenses plateaux glaciaires de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur. Le plus grand d'entre eux, le shelf de Ross, atteint une surface comparable à celle de l'Espagne.

Du front de ces plateaux se détachent d'énormes icebergs tabulaires, un phénomène naturel appelé « vélage ».

L'écoulement des calottes glaciaires :

- Documentation à partir des satellites par "interférométrie radar", d'une résolution spatiale de quelques cm !
- L'écoulement ne se fait pas de manière uniforme, mais selon certains couloirs où la vitesse atteint celle des glaciers de vallées (alpins) voire des centaines de m/an.



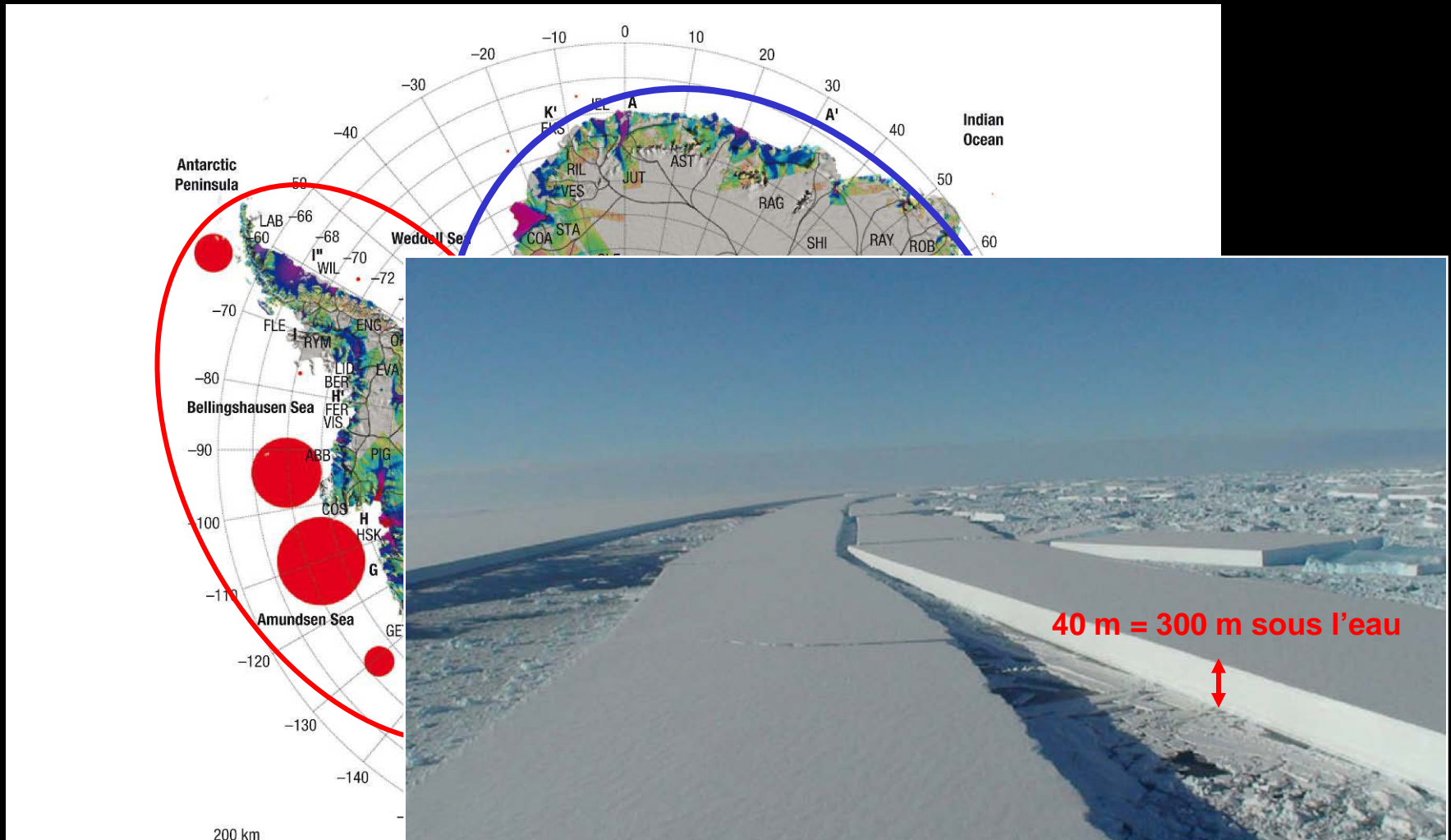
Particularité de l'Antarctique : les ice shelves



Shelf de Ross



État de santé de l'Antarctique



- Après trois décennies d'observations et d'analyses, les glaciologues (University of California) confirment que certaines parties de l'inlandsis occidental de l'Antarctique fondent de manière irréversible avec des conséquences sur la hausse future du niveau des océans.



LES GRANDES CALOTTES GLACIAIRES DE LA PLANÈTE

Ce qu'il faut retenir...

- 1 – La présence d'inlandsis est liée à la position des continents
- 2 – Depuis 35 Ma d'années, la Terre est entrée dans une nouvelle ère glaciaire
- 3 – La circulation océanique mondiale influence l'évolution des inlandsis
- 4 - L'impact de l'effet de serre additionnel est encore peu connu aujourd'hui
- 5 – D'ici quelques siècles, les inlandsis pourraient retrouver des minima équivalents à ceux d'il y a 125 000 ans ou 450 000 ans