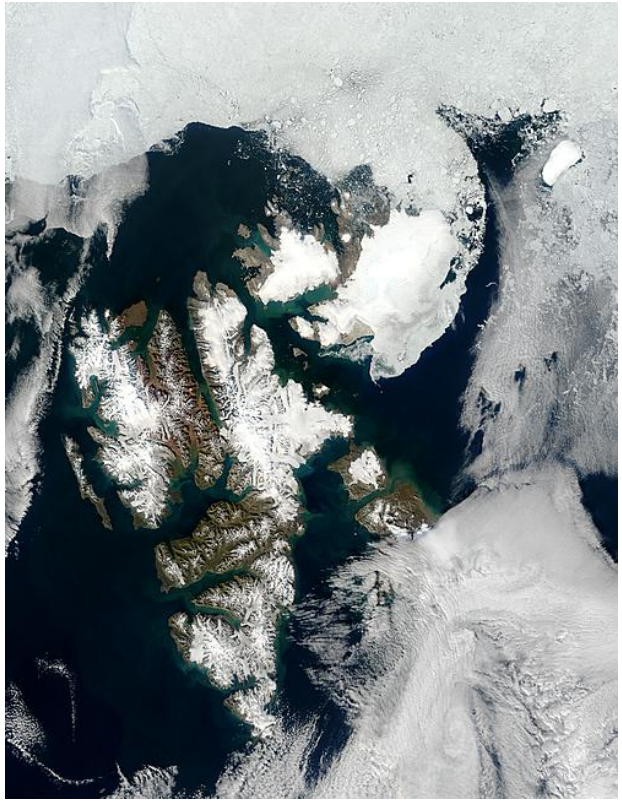
OBJECTIF ARCTIQUE

L'Arctique, une région au cœur des changements climatiques

Les glaces, sentinelles du climat
Lycée



Note aux enseignants
Les activités suivantes sont conçues pour être utilisées dans les programmes de Terminale S (spécialité) et éventuellement de première S (enseignement scientifique).
Terminale: Les climats de la Terre et Comprendre les conséquences du réchauffement climatique
Première: rayonnement solaire, bilan radiatif / climat.

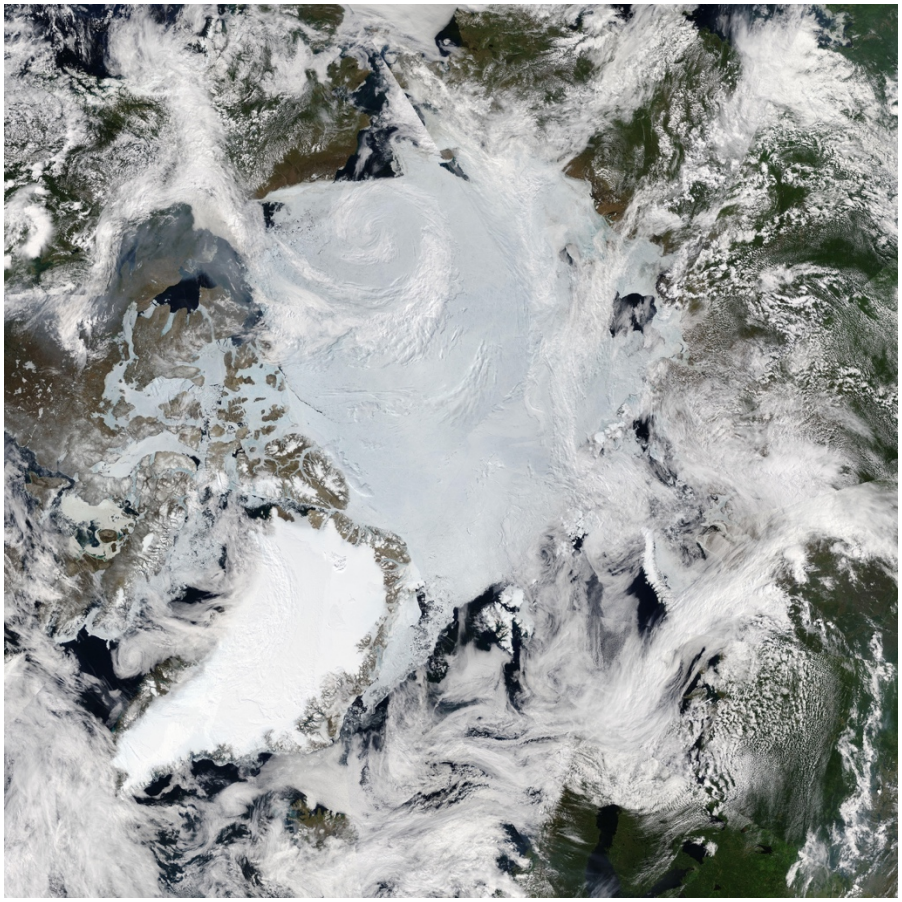
Document libre pour une utilisation en classe, pour toute autre utilisation, notre autorisation est nécessaire: passagersdessciences@gmail.com

L'Arctique, de quoi parle-t-on?

Changeons de point(s) de vue...

À gauche, une vue satellite (juin 2010) à droite, une carte géographique: toutes deux centrées (ou presque) sur le pôle Nord.

- Un océan « entouré de terres »: le pôle nord géographique est situé dans l'océan arctique.
- L'Arctique est défini le plus souvent avec le cercle polaire comme limite, c'est-à-dire la latitude 66°N. La zone ainsi délimitée est celle où, lors des solstices, il fait jour ou nuit pendant vingt-quatre heures.
- La carte de droite figure aussi une autre façon de définir l'Arctique avec la ligne « isotherme » 10°C pour le mois le plus chaud de l'année. *>> Reformulez cette information.*



Le Svalbard, localisation

L'archipel norvégien du Svalbard est une des terres habitées situées le plus au Nord.
Longyearbyen la capitale est située à 78°N. La nuit polaire commence le 26 octobre et se termine le 16 février, elle dure donc près de 4 mois!

L'archipel compte une université et une station de recherche internationale (AWIPEV) à Ny Ålesund, située à 1000km du pôle Nord seulement!

Ce site propose une carte interactive du Svalbard, avec modèles 3D.

Dans la famille glaces…

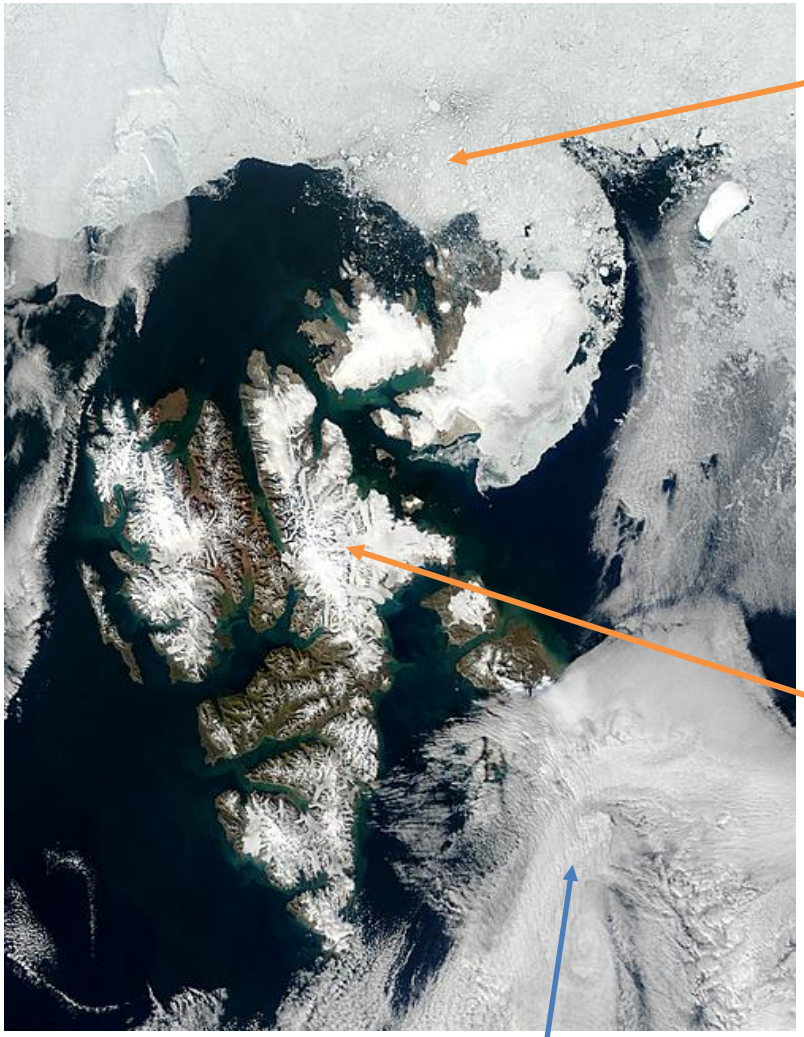


Image satellite du Svalbard (Juin)

Couverture nuageuse

Glace de mer ou banquise
Quand l'eau de mer atteint –1,8°C, les premiers cristaux de glace se forment. En gelant, l'eau de mer forme une imbrication de cristaux de glace d'eau douce et de gouttelettes de saumure.
Si vous voulez en savoir plus.

Attention piège: les icebergs résultent de l'écoulement des glaciers polaires vers la mer… Ils sont constitués d'eau douce!

« Glace de terre »: les glaciers et calotte glaciaire:
Au Svalbard?
L'archipel est couvert pour plus de la moitié par des glaciers (55,5%)

Ce qui correspond à 33 837 km^2 (soit un peu plus que la surface de la Belgique)!

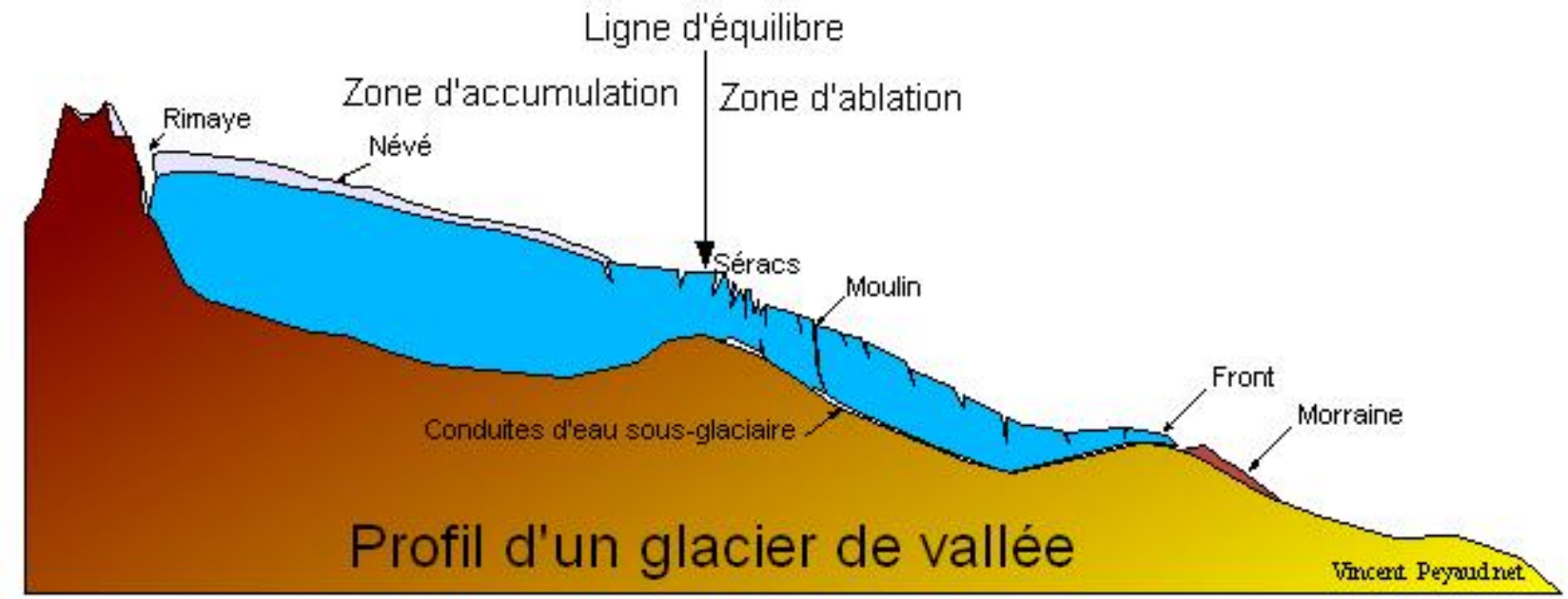
Ici on va parler de l'évolution d'un glacier du Svalbard…

Les glaciers continentaux en général, quelques données à connaître…

Document complémentaire : schéma de la dynamique d'un glacier.

La zone d'accumulation est la zone où les précipitations alimentent le glacier, la zone d'ablation est celle où les processus de fonte et de sublimation dominent.
En permanence, le glacier est animé d'un mouvement vers l'aval. En situation stable, l'alimentation compense la fonte, l'épaisseur et la position du front du glacier restent invariables.

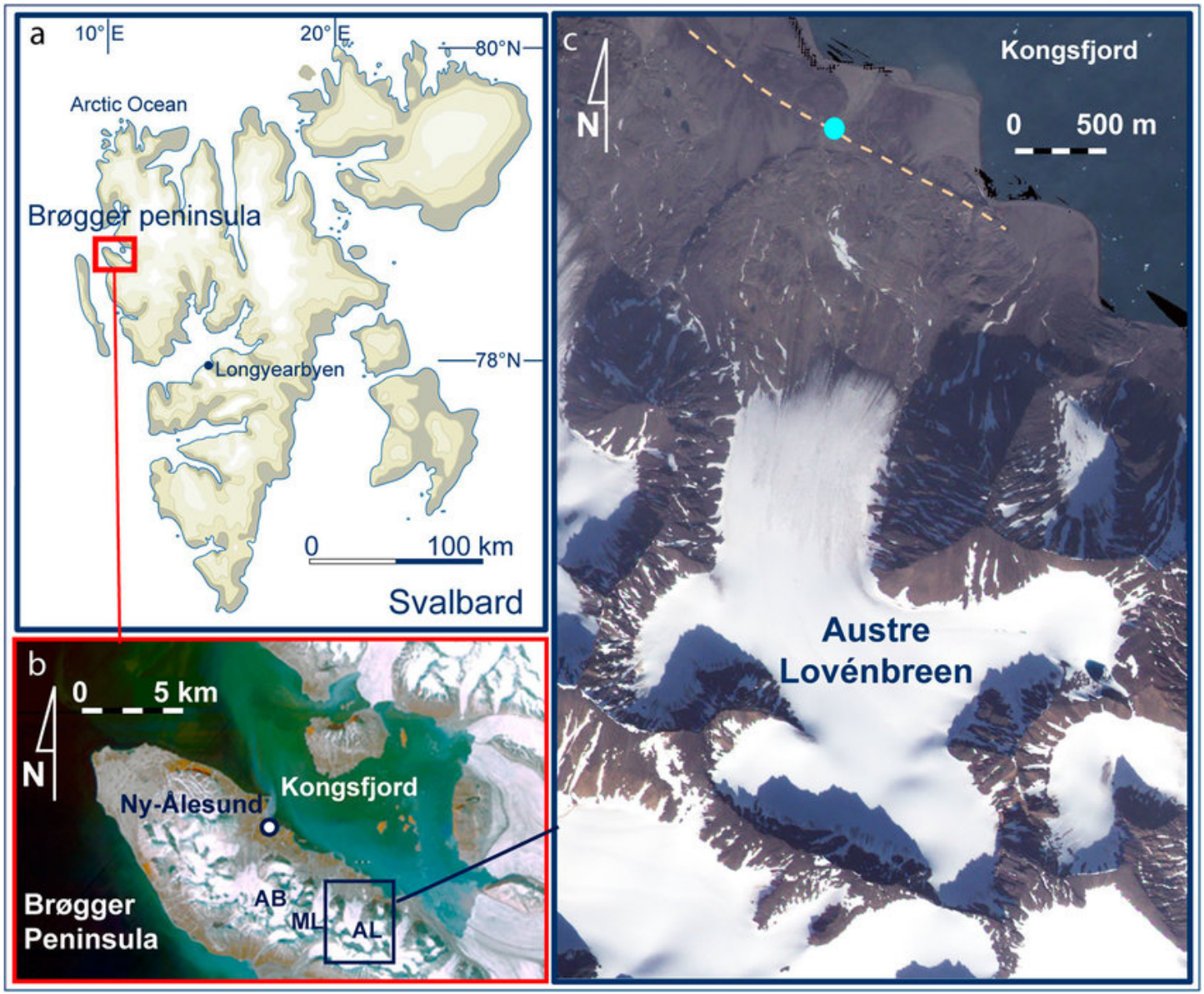
Complément: des TP de modélisation de mouvements des glaciers sont possibles, voir par exemple ici, ou ce lien. (en anglais)



Glacier Austre Lovénbreen : suivi 1948 – 2013

Le glacier étudié est situé sur la péninsule de Brøgger à proximité de Ny Ålesund, qui est la localité située le plus au nord, à 79°N soit environ 1000 km du pôle Nord seulement. Il s'agit maintenant principalement d'une station scientifique internationale.

Doc1

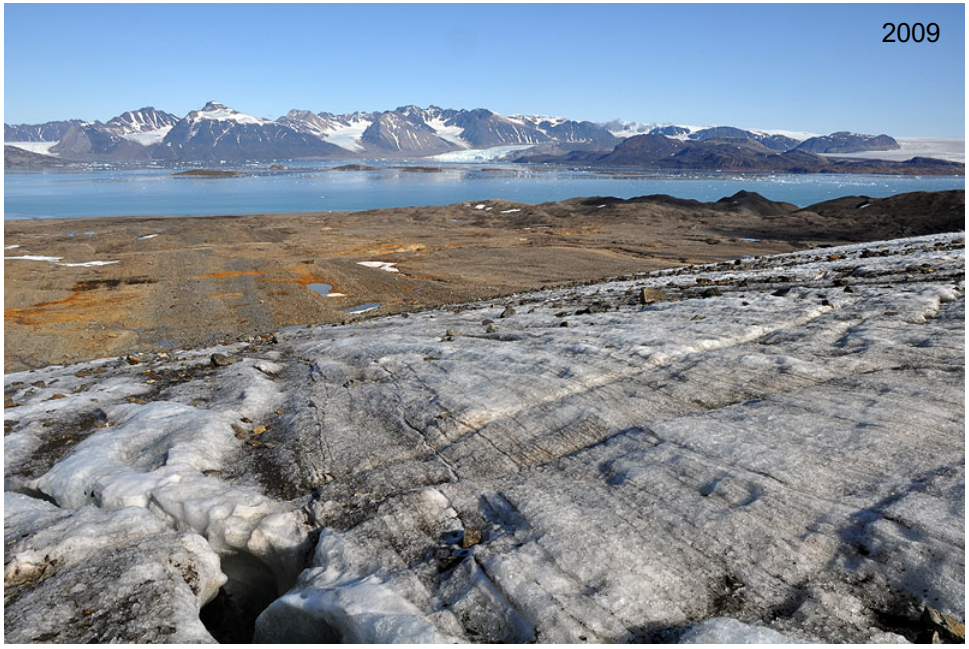


Source

Glacier Austre Lovénbreen : quelques images récentes

À quoi ressemble les glaciers au Svalbard? Les images ci-dessous ont été prises récemment. On observe sur les images ci-dessous que le front du glacier Austre Lovénbreen est situé presque au niveau de la mer (baie du roi).

Doc2



Vue depuis le glacier sur le fjord de la baie du roi

Crédit photo: https://www.swisseduc.ch/glaciers/svalbard/austre_lovenbreen_surface/index-en.html

Deux images de glacier à comparer

Doc3

Les images ci-dessus sont des clichés d'un glacier en baie du roi (Blomstrandbreen), à gauche 1928 Norsk Polarinstitutt et à droite 2002 (Greenpeace).

Donnez une description de l'évolution du glacier entre les deux clichés.

Glacier Austre Lovénbreen : suivi 1948 – 2013

Doc4

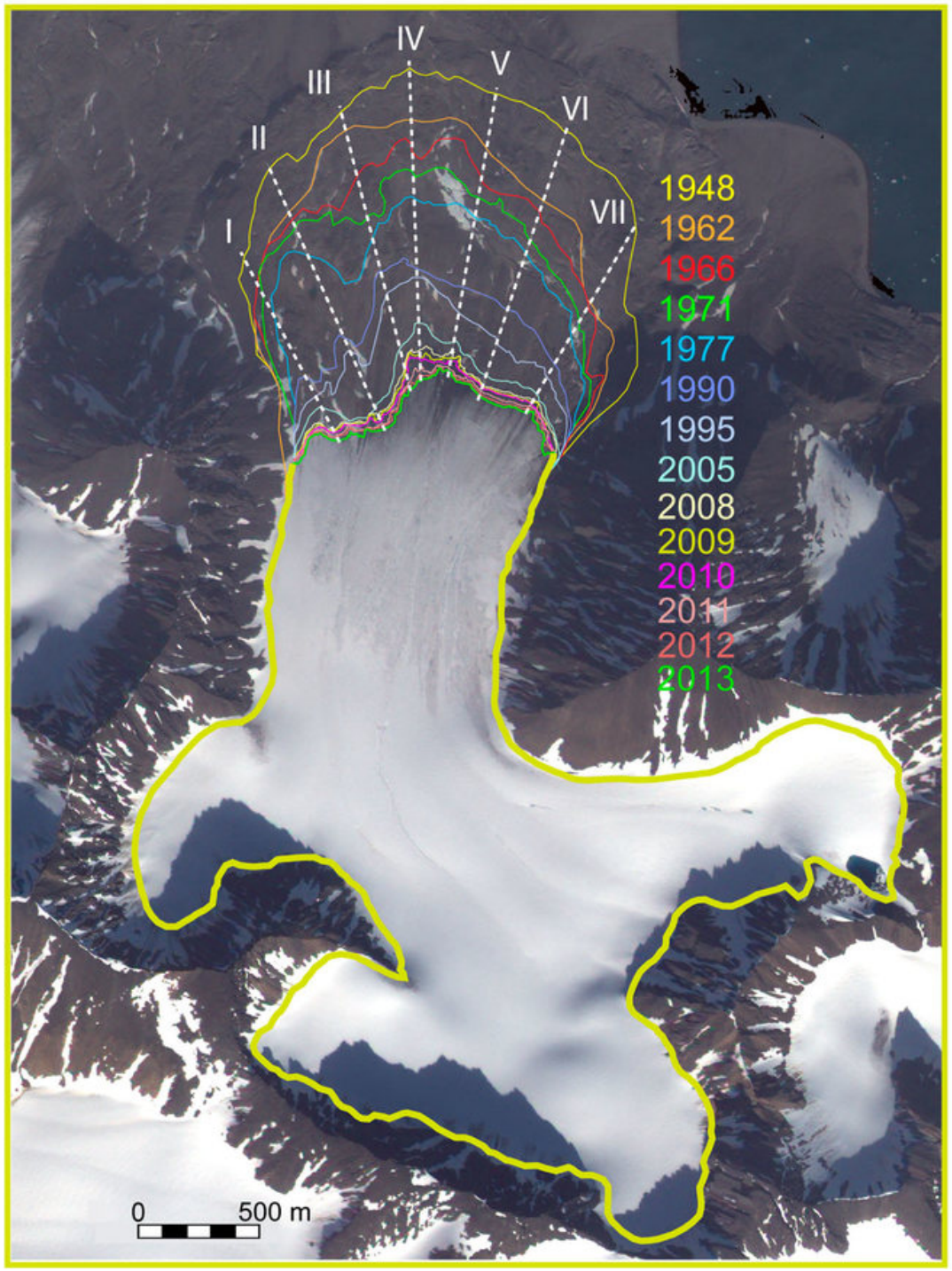
Points méthodologiques :
Sur le document précédent, on a fait une observation visuelle simple. Mais comment mesurer l'évolution d'un glacier? Qu'est-ce qu'on mesure?

1/ On va s'appuyer ici sur **a position du front du glacier (doc4)**

2/ On doit faire **des mesures sur le long-terme**: c'est indispensable pour évaluer les effets potentiels du changement climatique. Dans le cas de l'étude du glacier Austre Lovénbreen, les données sont compilées sur la période 1948 à 2013.

Sur le doc 4 ci-contre, les positions du front du glacier ont été reconstituées à partir de cartes anciennes (1962), de photos aériennes (1971 et 77 par ex), de relevés GPS (depuis 2008)…

Commenter l'évolution du front du glacier.
A l'aide de l'échelle et en vous plaçant sur l'axe IV, calculer le recul du front du glacier entre 1948 et 2009.



Source

Glacier Austre Lovénbreen : suivi 1948 – 2013

Doc5

Source

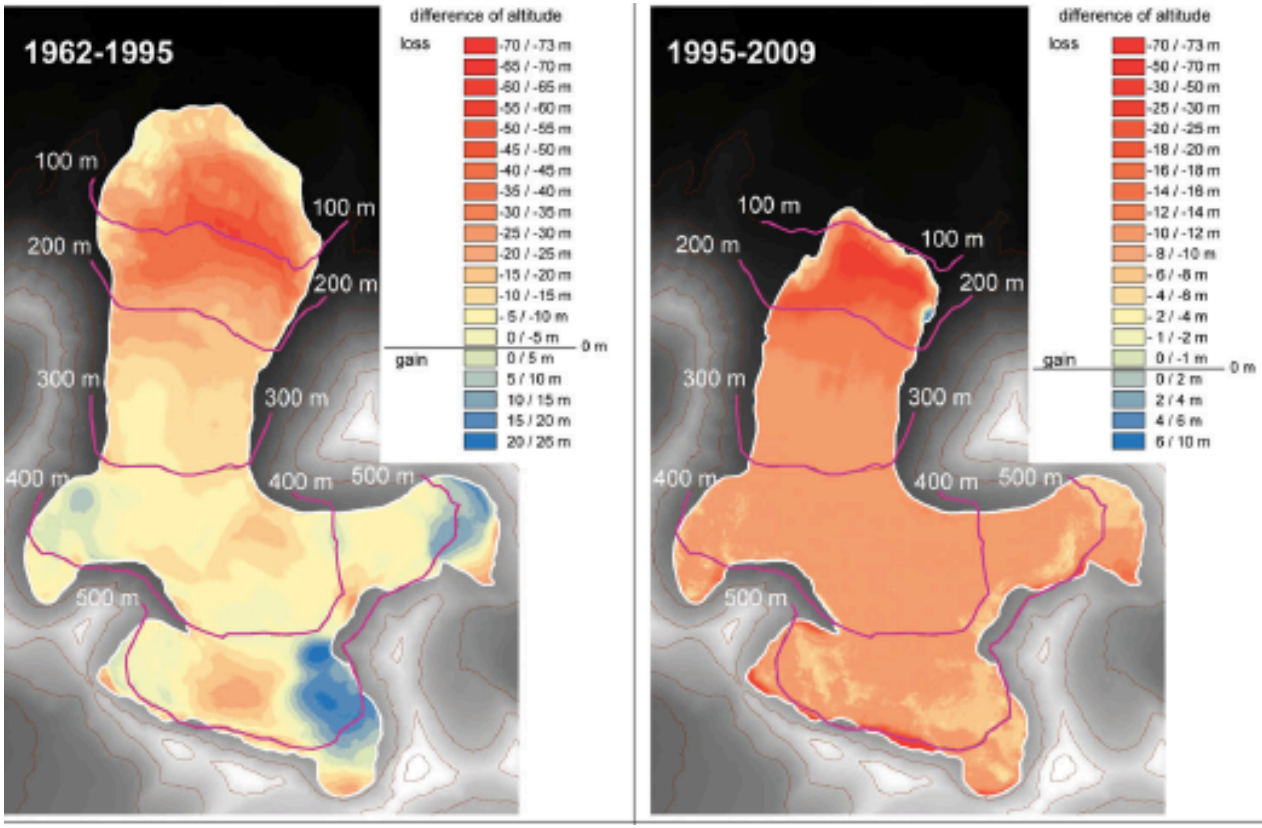
- **Bilan de masse annuel et volume (doc5)**

L'évolution du front d'un glacier est souvent spectaculaire mais c'est un paramètre difficile à analyser finement. En effet, le recul présente une inertie, il est sensible à la topographie rocheuse c'est-à-dire à d'autres paramètres que l'évolution du climat…

Les variations du volume constituent elles une réponse immédiate du glacier aux changements du climat. Mais comment mesurer le volume du glacier?

Faites des propositions de méthode de mesure.

Ce qui est réalisé: mesurer l'altitude de la surface du glacier, soit par des relevés topographiques de terrain (cas des périodes les plus anciennes), soit par des modèles numériques reconstitués à partir de données satellites.



Le document 5 ci-dessus présente des cartes du glacer Austre Lovénbreen pour 2 périodes entre 1962 et 2009 avec les différences d'altitude, par rapport au début de la période, indiquées en code couleur (voir légende).
Quelles sont les informations à tirer de ce document?

Glacier Austre Lovénbreen : suivi 1948 – 2013

Doc 6a

	1962-1995	1995-2009	1962-2009
durée de la période (années)	33	14	47
perte en surface par an ($km^2.a^{-1}$)	-0,034	-0,017	-0,028
perte en volume de glace par an ($Mm^3.a^{-1}$)	-2,3	-3,4	-2,6
différence moyenne d'altitude par an ($m.a^{-1}$) (*vs* surface glacier)	-0,43	-0,72	-0,50
volume d'eau douce perdue par an (Mm^3)	-2,04	-3,02	-2,33

Le document 6a propose quelques données quantifiées sur les paramètres du glacier Austre Lovénbreen.
Le document 6b donne l'évolution des températures depuis les années 1960.

- 1962 (ou 1970) à 1995
- 1995 à 2009 (ou 2013)

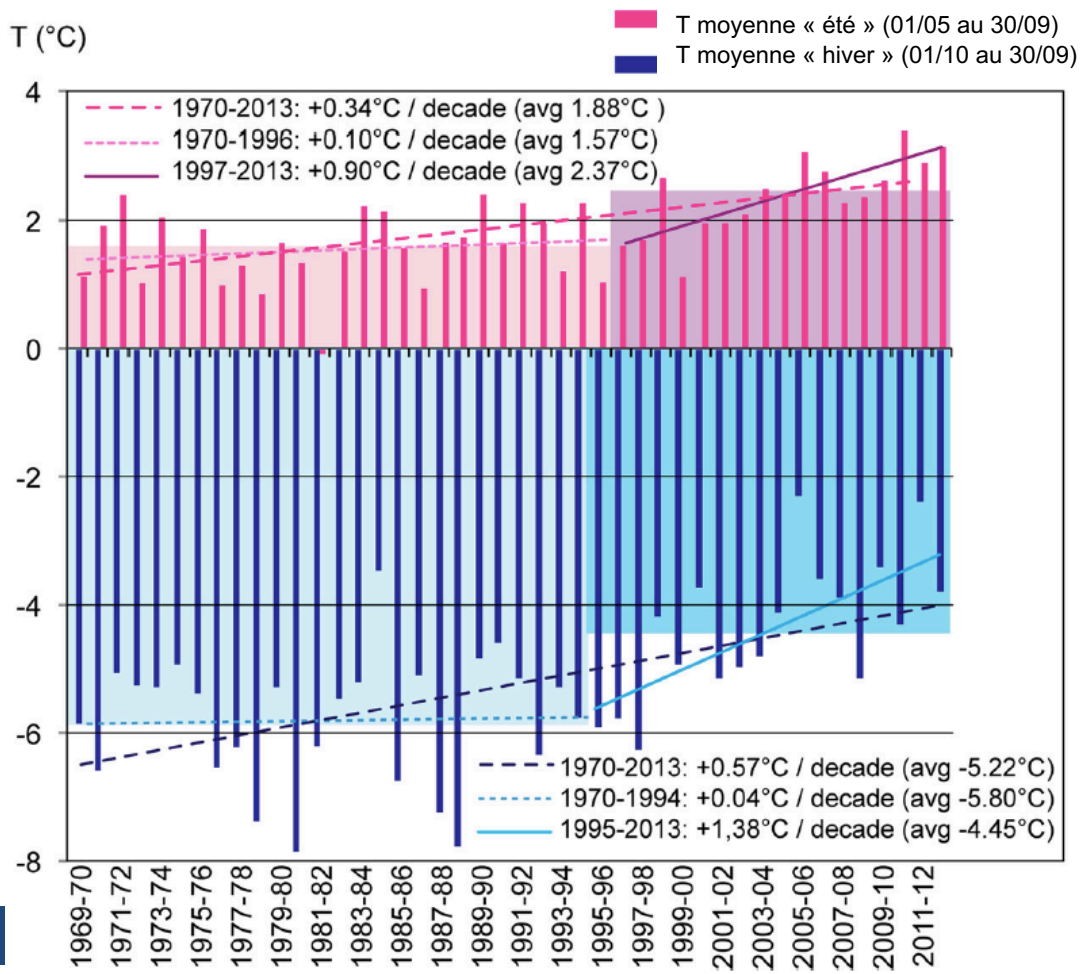
On considère que les périodes 1962-1995 et 1970-1995 sont équivalentes. De même, pour les périodes 1995-2009 et 1995-2013
En rose, les températures moyennes « estivales »
En bleu, les températures moyennes annuelles.

1970-2013: +0.34°C / decade (avg 1.88°C)

Evolution durant la période, lissée sur 10 ans (augmentation ou diminution)

Moyenne de la température sur la période

Comparer l'évolution des paramètres du glacier d'une part et des températures d'autre part sur les deux périodes. Que peut-on en conclure?



Source

Doc 6b

Les éléments de réponses

Doc3: Observation visuelle d'un glacier entre 1928 et 2002

Entre 1928 et 2002, l'observation de deux images du même glacier, montrent un recul du front du glacier: en effet, on voit que l'étendue d'eau au pied du glacier est plus grande, la barre rocheuse visible à gauche sur l'image de 2002 est cachée par la glace en 1928. L'épaisseur du glacier a aussi diminué: sur l'image de 2002, la barre rocheuse à droite et au centre sont plus visibles.

Doc4: Le document montre très clairement un recul du front du glacier entre 1948 en 2009, de plus de 1200m (1,2km).
Doc 5: on remarque déjà que le document est une cartographie du glacier, on peut voir sa surface et aussi voir qu'elle diminue au cours du temps, en particulier le recul du front est très visible sur les 3 périodes successives.
Pour la période 1962-1995, l'évolution de l'altitude de la surface du glacier est hétérogène, la perte est déjà marquée aux basses altitudes (zone orange-rouge) alors que dans les parties les plus élevées, l'altitude reste à peu près constante (zones jaunes) voire augmente un peu (zones bleues).
Pour les périodes 1995-2009 et 2009-2013, la diminution d'altitude (et donc de volume de glace) s'accentue et se généralise, jusqu'à plus de 18/20m aux environs du front.

Doc6:
Le document 6a propose des mesures de différents paramètres du glacier,
Sur l'ensemble de la période considérée (1962-2009), on observe à la fois une perte de surface, une diminution de l'altitude et logiquement une diminution du volume de glace. La diminution d'altitude et de volume de glace est plus importante (elle s'accentue) pour la période plus récente 1995-2009.

Le document 6b donne l'évolution des températures annuelles moyennes à Ny Ålesund à proximité du glacier étudié.
Pour la période 1970-1996, les températures moyennes estivales et hivernales ont augmenté modérément, respectivement de +0,10°C et +0,04°C. À partir de 1995, la tendance de l'augmentation de température s'accentue très nettement, avec une augmentation de +0,9°C pour l'été et +1,38°C pour l'hiver !

On peut conclure que c'est très probablement cette augmentation de température (à la fois pour les mois d'été et surtout d'hiver), due au changement climatique, qui explique le retrait et la perte de volume du glacier.

Conclusion:
Tous les paramètres du glacier Austre Lovénbreen sont concordants, le glacier recule, perd en surface et en volume de glace depuis le début des mesures en 1948.
En particulier, on peut retenir que les données montrent un recul du front du glacier, d'environ 1200m entre 1948 et 2009, soit en moyenne 19m/an (doc4)! Le recul s'est poursuivi entre 2009 et 2013. **(source)**

L'évolution du glacier est très corrélée à l'augmentation des températures moyennes dans la région. Les données plus fines montrent que c'est à la fois l'augmentation des températures estivales et des températures hivernales qui expliquent cette évolution, ainsi que le nombre d'épisodes anormalement « chauds » par hiver qui augmente.

Des questions? Rendez-vous sur le site: des spécialistes vous répondront.

Ressources :
Christelle Marlin & al.(2017) Change in geometry of a high Arctic glacier from 1948 to 2013 (Austre Lovénbreen, Svalbard), Geografiska Annaler (accès libre en ligne)
L'Arctique en mutation, 2016, coord.D. Joly Les mémoires du laboratoire de Géomorphologie EPHE (accès libre en ligne)

Pour les abonnés: un dossier de janvier 2020 Pour la Science « Arctique, le climat rebat les cartes »

Partie 2 – Fonte des glaces en Arctique, conséquences

La partie 1 s'est focalisée sur l'évolution d'un glacier continental, qui est le témoin du changement climatique.
Les problématiques suivantes peuvent aussi être étudiées.

1/ Quelle est l'évolution de la glace de mer (banquise) en Arctique? Quelles sont les conséquences sur la machine climatique?

Pour poser le constat: une animation de la NASA de l'évolution de la banquise arctique de 1984 à 2019.
Le code couleur (en haut à droite) indique l'âge de la glace de mer (0 à 4 ans et +)
La surface couverte par la banquise « âgée » est donnée dans le graphe de gauche.

Lien: https://www.youtube.com/watch?v=xlPVUB8svuI

Que voit-on au Svalbard? On peut aussi utiliser la carte ci-contre qui montre l'extension de la glace de banquise autour du Svalbard au mois de mars depuis 1979.

Partie 2 – Fonte des glaces en Arctique, conséquences

1/ Quelle est l'évolution de la glace de mer (banquise) en Arctique? Quelles sont les conséquences sur la machine climatique?

L'OCE (Office for Climate Education) en lien avec la fondation La main à la pâte a édité un guide très complet « Océan et cryosphère » avec des activités expérimentales clé en main. Document [téléchargeable ici](#).

La séance C3 propose une activité pour étudier les conséquences sur l'albédo de la fonte des la banquise et l'effet rétroaction sur le climat.

SÉANCE C3

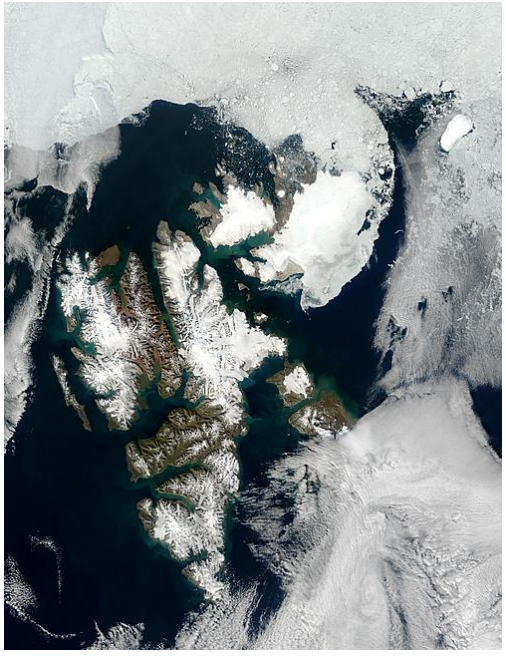
LA BLANCHEUR DE LA CRYOSPHÈRE ET SON ALBÉDO

DISCIPLINE CONCERNÉE
SVT

DURÉE
~ Préparation : 20 min
~ Activité : 1 h 30

RÉSUMÉ
Les élèves débattent du rôle que joue la banquise dans notre climat et mènent une expérience pour comprendre l'importance de la cryosphère, une surface présentant un albédo très élevé. Cette leçon permet également d'aborder la notion de rétroaction dans le système climatique.

Que voit-on au Svalbard? L'image satellite ci-contre prise en été montre bien la différence de « couleur » et donc d'albédo de la banquise et de la mer libre.



Partie 2 – Fonte des glaces en Arctique, conséquences

La partie 1 s'est focalisée sur l'évolution d'un glacier continental, qui est le témoin du changement climatique.

Les problématiques suivantes peuvent être étudiées aussi.

2/ Quelles sont les conséquences de la fonte des glaces (banquise et glace continentale) sur le niveau des océans?

L'OCE (Office for Climate Education) en lien avec la fondation La main à la pâte a édité un guide très complet « Océan et cryosphère » avec des activités expérimentales clé en main. Document téléchargeable ici.

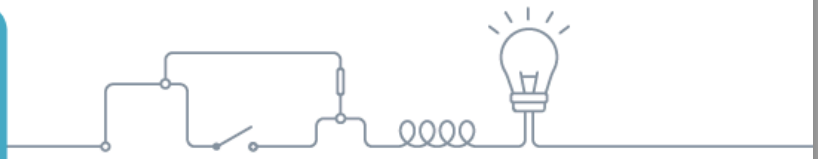
La séance C1 propose une activité pour étudier les conséquences de la fonte des glaces sur le niveau marin (différence glace de mer et calottes glaciaires continentales).

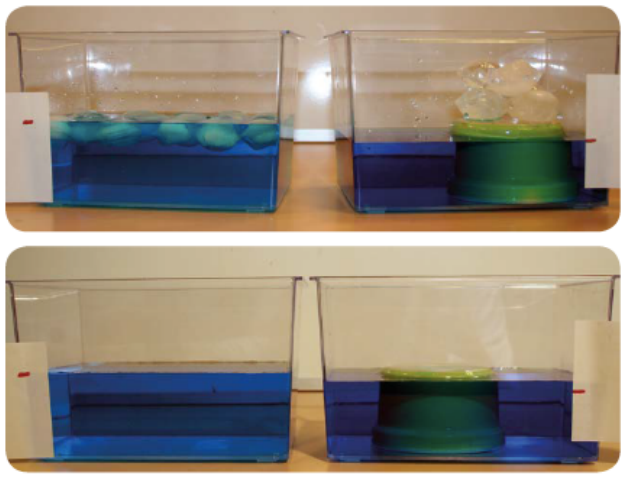
SÉANCE C1
FONTE DE LA CRYOSPHÈRE ET HAUSSE DU NIVEAU MARIN

DISCIPLINE CONCERNÉE
SVT

DURÉE
~ Préparation : 5 + 10 min
~ Activité : 1 h 30

RÉSUMÉ
Les élèves procèdent à une expérience pour vérifier que la fonte de la banquise n'élève pas le niveau marin contrairement à la fonte des glaces continentales. Dans le cadre d'une analyse documentaire, ils découvrent l'incidence de la fonte des glaces sur l'approvisionnement en eau douce.





En haut : avant la fonte ; en bas : après la fonte.