



Changement climatique

impacts, atténuation et adaptation

Ce document est la transcription révisée, chapitrée et illustrée d'une vidéo du MOOC UVED « Changement climatique : impacts, atténuation et adaptation ». Ce n'est pas un cours écrit au sens propre du terme ; le choix des mots et l'articulation des idées sont propres aux interventions orales des auteurs.

Sensibilité des calottes polaires au changement climatique

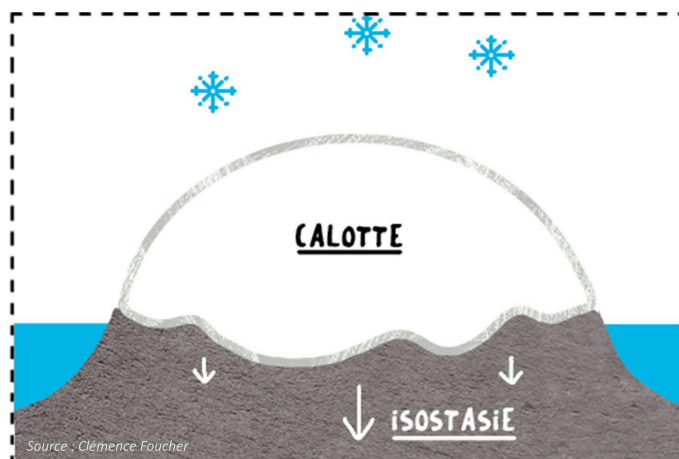


Gaël DURAND

Directeur de recherche au CNRS

1. Formation des calottes polaires

Les calottes polaires se forment lorsque le climat est assez froid pour que les précipitations neigeuses ne fondent pas complètement d'une année sur l'autre et progressivement s'accumulent. Cette neige va se densifier sous le poids des couches successives, se transformer en glace, puis cette glace va s'écouler sous l'effet de la gravité. Des glaciers se forment, coalescent petit à petit, jusqu'à recouvrir l'essentiel du continent d'une couche de glace de l'ordre de 3 km. Sous le poids de cette glace, la croûte terrestre s'enfonce, ce qu'on appelle l'isostasie.



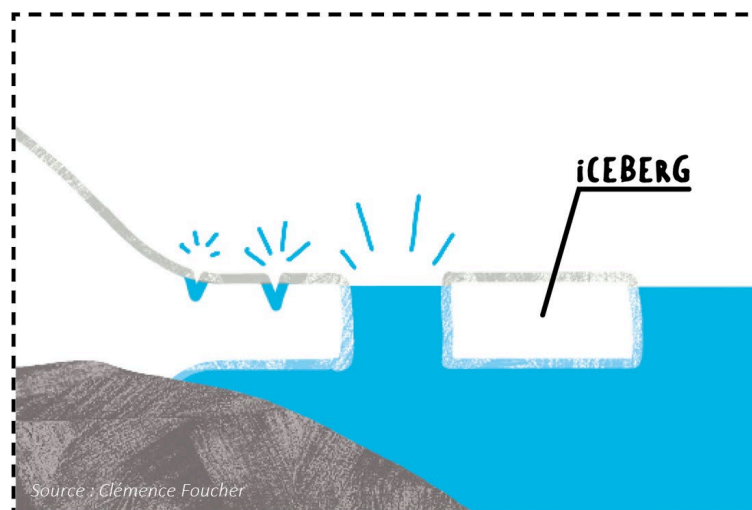
2. Evolution des calottes polaires dans le temps

Cette glace, c'est de l'eau extraite des océans, qui, donc, diminue leur niveau moyen. Aujourd'hui, il ne reste que deux calottes polaires sur Terre : le Groenland, qui stocke 7 m d'équivalent niveau des mers, et l'Antarctique, un peu plus de 60 m. Ce sont les plus grosses réserves d'eau douce de la planète. Mais il y a 20 000 ans, nous étions dans une période glaciaire. Groenland et Antarctique étaient légèrement plus gros, mais surtout, une énorme calotte recouvrait le Canada actuel, la calotte Laurentide, et une autre se situait sur la Scandinavie, la calotte fennoscandienne. En conséquence, le niveau de la mer était alors près de 130 m plus bas qu'actuellement.

3. La perte de masse des calottes

Nous venons de voir le processus par lequel les calottes gagnent de la masse, les précipitations neigeuses, mais évidemment, elles ne croissent pas indéfiniment, il y a des processus de perte de masse. Si, au bord du continent, la température est suffisamment élevée en été, la surface va fondre et cette eau va ruisseler, s'infiltrer parfois jusqu'au socle rocheux et rejoindre l'océan. Éventuellement, la glace peut atteindre l'océan, et les glaciers dits émissaires, qui évacuent la glace de la calotte, peuvent se mettre à flotter et se prolonger sur l'océan le long des fjords. Au front du glacier, la glace va se fracturer et former des icebergs, ce qu'on appelle le vêlage.

Le processus de perte de masse des calottes



4. Calottes polaires et niveau marin

Si on fait la différence entre les processus qui gagnent de la masse et ceux qui en perdent, on fait ce qu'on appelle le bilan de masse. S'il est nul, les termes de perte sont égaux aux termes d'accumulation, la calotte est en équilibre, son volume ne change pas et n'affecte pas le niveau des mers. Si les calottes étaient vraisemblablement proches

de l'équilibre lors des derniers siècles, depuis la fin du XXe siècle, elles perdent de plus en plus de masse, et donc contribuent au niveau des mers aujourd'hui de l'ordre de 1,4 mm par an.

Les calottes ne sont pas les seuls contributeurs à l'élévation du niveau des mers, les glaciers de montagne, dans les Alpes, mais surtout l'Alaska, l'Himalaya, les Andes, contribuent à 0,6 mm par an. En se réchauffant, les océans voient leur volume augmenter, ce qu'on appelle l'expansion thermique, et cela élève le niveau des mers de 1,4 mm chaque année. Enfin, le stockage sur le continent dans les lacs, rivières, barrages, contribue à 0,6 mm par an.

Au total, le niveau de la mer augmente année après année de 4 mm en ce moment, plus de deux fois plus vite qu'au cours du XXe siècle.

5. Le cas du Groenland

La description des processus de perte que j'ai faite précédemment est caractéristique du Groenland, où la fonte à la périphérie de la calotte est très importante. Surtout, l'extension de la fonte et son amplitude ont largement augmenté depuis 30 ans et dominent la perte de masse du Groenland. Aussi, les extensions flottantes de nombreux glaciers émissaires se sont progressivement démantelées, ces glaciers ont accéléré et rejettent plus de glace vers l'océan qu'il y a quelques décennies. Aujourd'hui, le Groenland contribue à 0,9 mm d'élévation du niveau des mers chaque année.

Il est important de noter que si la perte de masse est importante, la surface perd de l'altitude, il y fait alors plus chaud et la fonte est alors d'autant plus importante. C'est ce qu'on appelle une rétroaction positive et il y a un point de bascule. À un moment, la surface de la calotte est trop basse pour que, sur l'année, la neige tombée en surface soit pérenne, il n'y a plus de terme d'accumulation et la calotte est alors irrémédiablement perdue. Pour le Groenland, on estime que ce point de bascule se situe entre plus 1,5 et 2 degrés de réchauffement moyen par rapport à la période préindustrielle. Autrement dit, si le climat continue de se réchauffer et qu'un climat plus chaud se maintient, on pourrait progressivement perdre la calotte du Groenland. C'est un processus relativement lent, qui prend plusieurs siècles à plusieurs millénaires, et plus la température moyenne sera élevée, plus cette fonte du Groenland sera rapide.

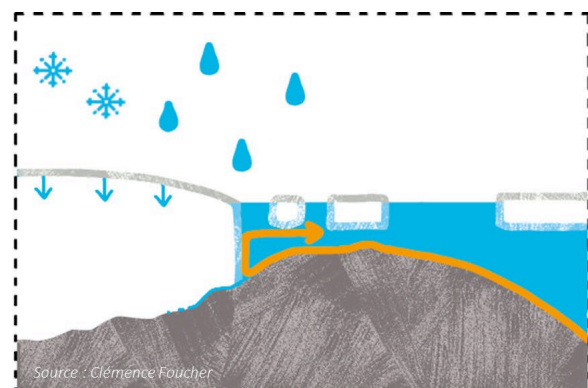
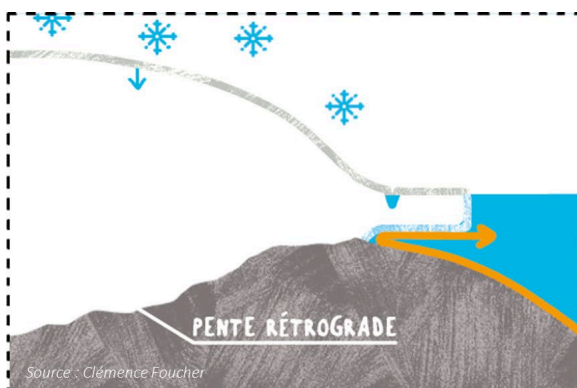


5. Le cas de l'Antarctique

Il y fait nettement plus froid, la fonte en surface est négligeable, alors les langues de glace flottantes se prolongent largement sur l'océan, remplissent des baies et forment des plateformes de glace flottantes. Ces plateformes ont un rôle essentiel car elles limitent l'écoulement des glaciers en amont par un effet d'arc-boutant. Cela a été très clairement illustré lorsqu'en 2002, la plateforme du Larsen B s'est démantelée. Les glaciers qui finissaient dans cette plateforme ont vu leur vitesse augmenter, pour certains jusqu'à multipliée par 8, relarguant d'autant plus de glace vers l'océan. L'intrusion d'eau chaude dans les cavités sous les plateformes, la formation de lacs supraglaciaires due à la fonte de surface viennent fragiliser ces plateformes et accélérer les glaciers amont.

C'est typiquement ce qui est à l'œuvre dans le secteur de la mer d'Amundsen où les glaciers de Pine Island et Thwaites perdent depuis une trentaine d'années de la masse et aujourd'hui gouvernent largement le bilan de masse négatif de l'Antarctique qui contribue actuellement à 0,5 mm par an à la hausse du niveau des mers.

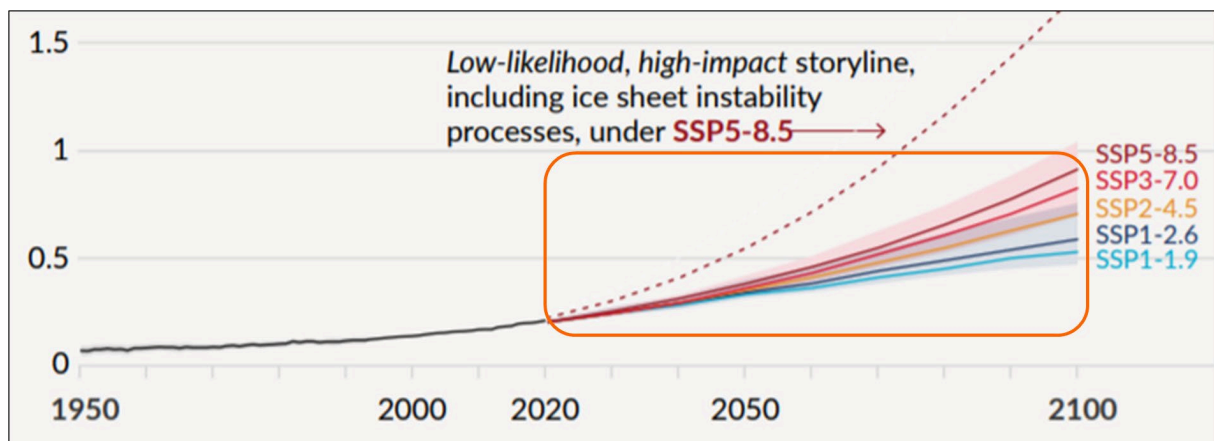
Mais l'Antarctique a une autre particularité, l'Antarctique de l'Ouest en particulier. Le socle rocheux se trouve sous le niveau de la mer et est de plus en plus profond à l'intérieur du continent. La ligne d'échouage, la limite entre la partie posée de la calotte et les plateformes de glace flottantes, est à proximité de cette pente qu'on qualifie de rétrograde pour les glaciers de Pine Island et Thwaites.



Dans ce cas, en fonction de la capacité des plateformes à retenir ou non l'écoulement amont, on suspecte que ces glaciers puissent être dynamiquement instables. Autrement dit, si la ligne d'échouage s'engage dans cette pente rétrograde, elle ne peut plus se stabiliser et se retire irrévocablement. On parle alors d'instabilité des calottes marines. Là encore, nous avons un point de bascule. Il est, là aussi, estimé autour de plus 1,5, 2 degrés de réchauffement moyen par rapport à la période préindustrielle, mais à cause de processus différents du Groenland. Savoir exactement à quelles conditions ce point de bascule est passé, quel sera le taux de retrait des glaciers une fois instables, restent des questions ouvertes et un sujet de recherche brûlant.

6. Élévation du niveau marin

L'élévation du niveau marin va se poursuivre quel que soit le scénario considéré



Source : GIEC / AR6

Le niveau des mers va augmenter au cours du prochain siècle et pour les siècles à venir, même si notre trajectoire est environnementalement vertueuse. La question n'est plus de savoir si nous allons voir le niveau des mers s'élever de 2 m, mais quand, d'ici approximativement un siècle ou d'ici à deux millénaires ? Plus le climat se réchauffera, plus cette hausse sera rapide et plus son amplitude sera importante. Une augmentation de plus de 10 m d'ici 2300 ne peut être exclue.

De telles hauteurs ne peuvent être atteintes que pour les projections les plus pessimistes, dans lesquelles le Groenland et l'Antarctique sont lancés très tôt et très rapidement dans les instabilités déjà mentionnées. Alors, des régions entières des calottes disparaissent. On ne peut pas exclure aujourd'hui que l'Antarctique contribue pour près de 1 m à l'élévation du niveau de la mer d'ici 2100, si l'Antarctique de l'Ouest et le secteur d'Amundsen devenaient très prochainement instables et les glaciers de Thwaites et Pine Island réagissaient très vite. On n'est pas capables d'associer une probabilité à cette possibilité, elle est vraisemblablement faible, c'est un scénario du pire, baptisé "High-Impact Low-Likelihood Storyline".

C'est en tout cas une illustration, peut-être même une invitation, très claire et préoccupante à mettre en œuvre tout ce qui est possible pour atténuer fortement et rapidement notre impact sur le climat, et à travailler à s'adapter aux changements qui ne manqueront pas de venir.