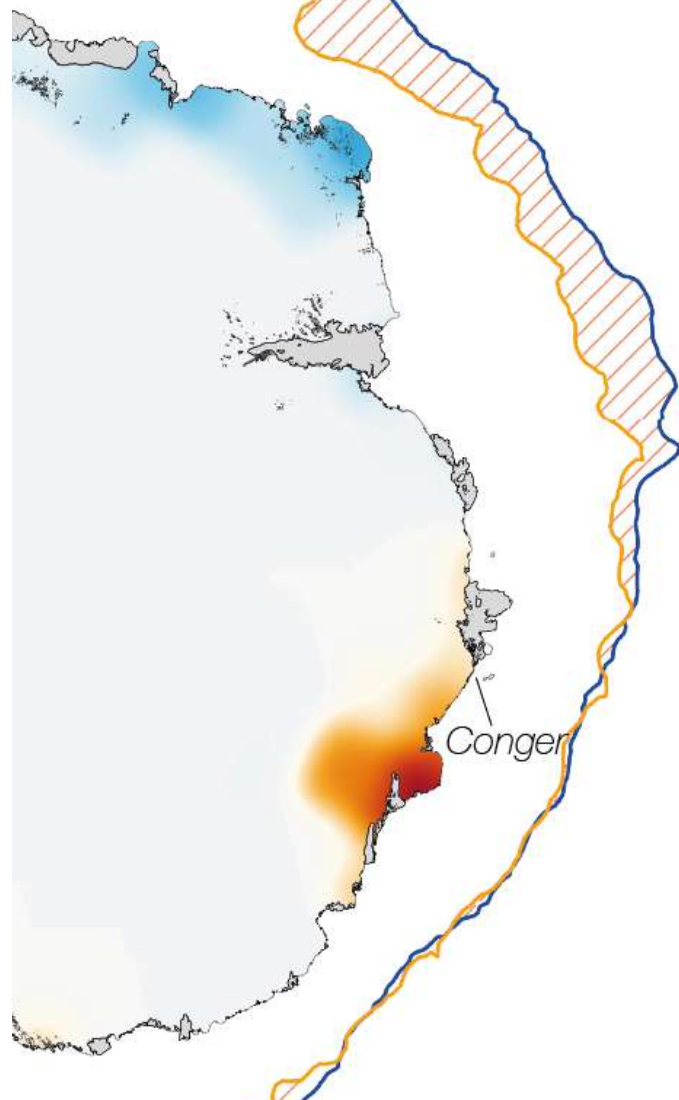


median July
1981 - 2010

Bulletin n°11

ANTARCTIQUE

**L'INSTABILITÉ DE LA
CALOTTE GLACIAIRE
ET LA MONTÉE DU
NIVEAU DES OCÉANS**



FÉVRIER 2026

POLAR WATCH

Veille et prospective sur les zones polaires



www.lecerclepolaire.com

POLAR WATCH

RÉDACTEUR EN CHEF : Laurent Mayet

COMITÉ ÉDITORIAL : Neil Hamilton (Australie), Marie-Noëlle Houssais.

COMITÉ D'EXPERTS : Paul Berkman (États-Unis), Marc Éléaume, Patrick Hébrard, Alan Hemmings (Australie), Timo Koivurova (Finlande), Volker Rachold (Allemagne), David Renault (France), Ricardo Roura (Pays-Bas), Yan Ropert-Coudert, Serge Segura.

RÉVISION : Pascal-Raphaël Ambrogi

GRAPHISME ET MAQUETTE : Stéphane Hergueta, Pacha cartographie

PUBLIÉ PAR : le Cercle Polaire – Février 2026

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION : Laurent Mayet

CRÉDIT DE COUVERTURE : Wiese *et al.*, 2023.

IMPRIMEUR : Abon'Copies

Le choix des titres, légendes et notes de bas de page est la responsabilité de l'Éditeur
Tous droits réservés

Avec le parrainage de S.A.S. le Prince Albert II de Monaco

Partenaires institutionnels



Partenaires opérationnels



La contribution majeure mais incertaine de l'Antarctique à la montée du niveau des océans

L'instabilité de la calotte glaciaire antarctique liée à ses interactions avec l'océan, pourrait constituer la principale cause de la montée du niveau moyen global de la mer au cours des prochaines décennies et des siècles à venir.

L'Antarctique peut sembler lointain, mais sa calotte glaciaire est étroitement liée au climat global. La calotte constitue une réserve de glace suffisamment importante pour faire monter le niveau moyen global des océans de plusieurs dizaines de mètres ; elle influence la circulation océanique à l'échelle planétaire et joue un rôle central dans l'équilibre énergétique de la Terre. Les changements qui se produisent autour de l'Antarctique ont ainsi des conséquences bien au-delà de la zone polaire australe, affectant les écosystèmes et les sociétés à travers le monde. À titre de comparaison, l'autre calotte glaciaire de la Terre, celle du Groenland, représente un volume de glace susceptible de faire monter le niveau moyen global de la mer de seulement sept mètres.

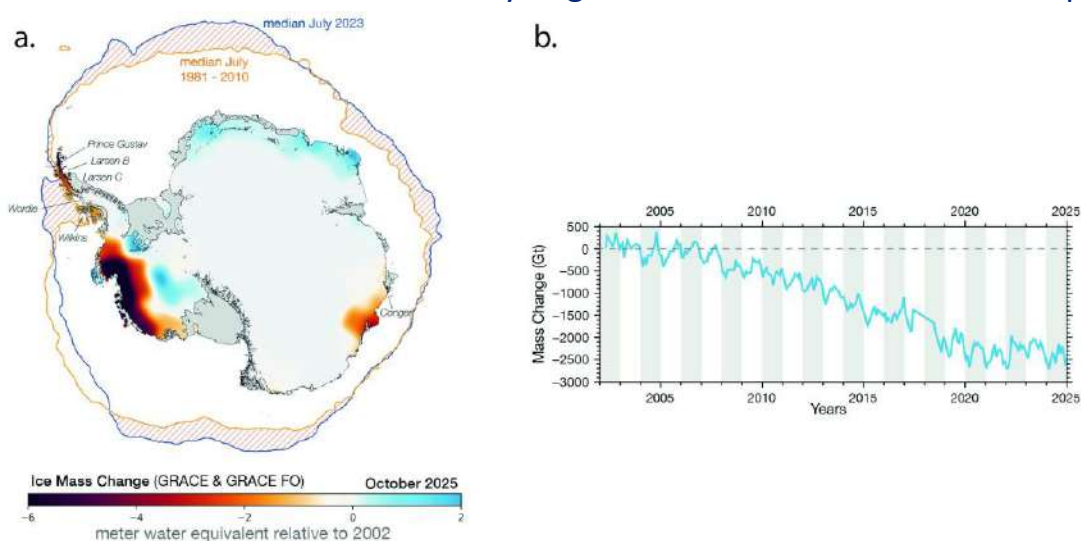


Figure 1.a : Répartition géographique de la différence de masse de la calotte glaciaire antarctique (à l'exclusion des plateformes de glace flottantes représentées en gris) entre 2002 et 2025, d'après les données gravimétriques GRACE & GRACE FO (en bleu, les gains de masse et en orange, les pertes de masse). La partie hachurée en orange illustre la diminution d'étendue de la banquise en juillet 2023 relativement à la moyenne climatologique. **Figure 1.b : Évolution de la variation totale cumulée de la masse de la calotte glaciaire antarctique depuis 2002.** Source : Wiese et al., 2023.

« Les effets à long terme de l'élévation du niveau moyen global de la mer sur les régions côtières sont irréversiblement liés au sort de la calotte antarctique »

La calotte glaciaire antarctique (Figure 2.a) contient l'équivalent d'environ 58 mètres du niveau moyen global de la mer, répartis entre l'Antarctique de l'Ouest (~4-5 m) et l'Antarctique de l'Est (~54 m). Depuis le début des années 1990, les observations satellitaires ont révélé que la calotte antarctique perd de la masse, principalement dans l'Ouest et en péninsule antarctique, et plus récemment dans plusieurs secteurs de l'Antarctique de l'Est (Figure 1). Entre 1993 et 2018, cette perte a contribué à une élévation du niveau moyen global des océans d'environ six millimètres, soit en moyenne 0,25 mm par an.

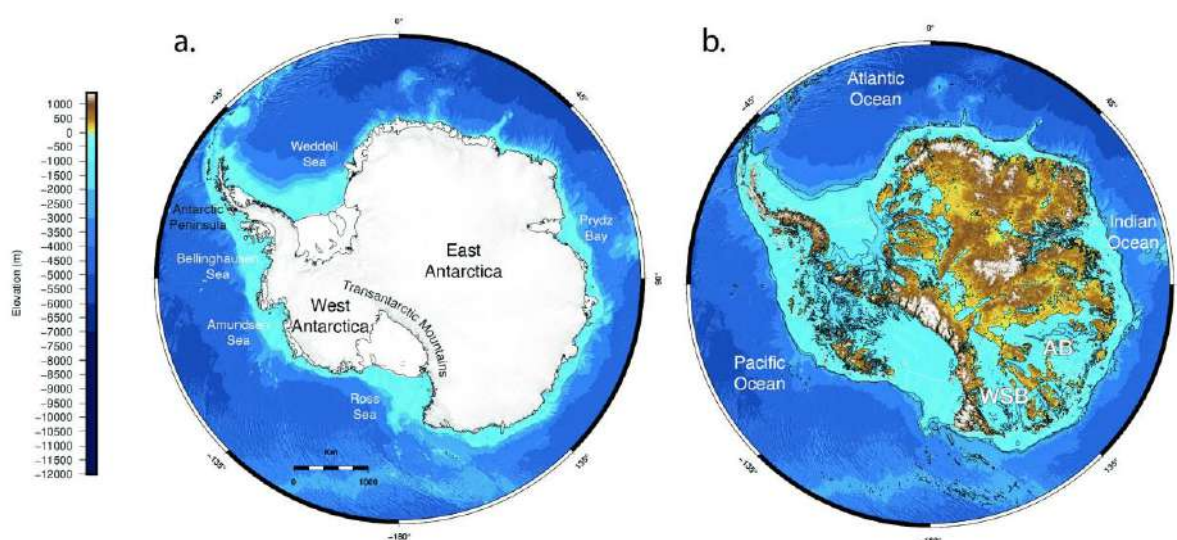


Figure 2.a : Géographie de la calotte glaciaire antarctique. L'Antarctique de l'Est est séparé de l'Antarctique de l'Ouest par la chaîne Transantarctique. **Figure 2.b : Socle rocheux antarctique sous la calotte glaciaire (BEDMAP3)** avec la bathymétrie de l'océan Austral. La majeure partie de l'Antarctique de l'Ouest est constituée d'une calotte glaciaire marine reposant sur un socle situé sous le niveau de la mer. WSB (bassin sous-glaciaire de Wilkes) et AB (bassin Aurora) désignent les deux plus grands secteurs marins de la calotte glaciaire de l'Antarctique orientale. *Source : Pritchard et al., 2025.*

Les enregistrements satellitaires montrent toutefois que, lorsque les chutes de neige varient d'une année à l'autre, en particulier au-dessus de l'Antarctique oriental, on observe des épisodes de ralentissement de la perte de masse, sans un renversement des tendances de plus longue échelle de temps (Figure 1). Ces épisodes sont plutôt cohérents avec un réchauffement climatique qui favorise le transport de chaleur et d'humidité vers l'Antarctique. Les phénomènes météorologiques extrêmes, tels que les *rivières atmosphériques* (« corridors se formant dans la basse atmosphère et transportant de grandes quantités de vapeur d'eau en provenance des tropiques et des moyennes latitudes ») peuvent augmenter temporairement le transport de chaleur et d'humidité dans des zones spécifiques de l'Antarctique, entraînant des chutes de neige exceptionnelles ou une importante fonte de surface non seulement à la côte, mais aussi à l'intérieur des terres, notamment sur le *haut Plateau Antarctique* (« vaste zone de l'Antarctique de l'Est qui s'étend sur un diamètre de 1 000 kilomètres et caractérisée en

temps normal par les températures les plus basses du globe»). Ces événements extrêmes sont devenus plus fréquents au cours de la dernière décennie. Parallèlement, le recul important de la banquise antarctique depuis 2016 (Polar Watch 7) a suscité de nouvelles inquiétudes, puisqu'il permet aux eaux chaudes océaniques d'atteindre plus aisément les parties côtières de la calotte glaciaire.

La perte de masse de la calotte antarctique est principalement concentrée dans les secteurs « marins » où la calotte glaciaire repose sur un socle rocheux situé sous le niveau de la mer (Figure 2b). Ces secteurs, qui prédominent dans l'ouest de l'Antarctique et dans certains bassins de l'est de l'Antarctique, sont intrinsèquement vulnérables au réchauffement des océans. La majeure partie de la perte de masse antarctique actuelle est due aux interactions entre l'océan et la glace dans les cavités situées sous les plateformes de glace flottantes, où l'eau de mer circule et transfère de la chaleur et du sel à la calotte, influençant directement la fonte sous-glaciaire.

Dans certaines zones spécifiques de l'Antarctique, les eaux profondes circumpolaires relativement chaudes, qui circulent au large du plateau continental, peuvent accéder au plateau continental jusqu'aux cavités des plateformes glaciaires en suivant les canyons et les fosses sous-marins. La diminution d'épaisseur de ces plateformes peut être renforcée par une réduction des chutes de neige, ou s'accompagner d'un affaiblissement structurel sous l'effet des phénomènes météorologiques extrêmes qui déclenchent la fonte en surface et l'hydrofracturation de la plateforme. Depuis 1989, on a ainsi documenté une série de désintégrations rapides de plateformes de glace flottantes, à commencer par celle de Wordie dans la péninsule antarctique, suivie par celles du Prince Gustav (1995), de Larsen A (1995) et Larsen B (2002), de Wilkins (2008), et d'un effondrement partiel de Larsen C (2017) et, plus récemment, en 2022, de celle de Conger-Glenzer en Antarctique de l'Est (Figure 1.a).

Les plateformes glaciaires agissent comme des boucliers qui freinent l'écoulement de la calotte. Lorsqu'elles s'amincissent ou s'effondrent, la disparition de cet effet de ralentissement permet aux glaciers d'accélérer leur progression vers l'océan, menaçant leur stabilité et pouvant conduire au recul rapide (sur plusieurs décennies) de la ligne d'échouage. Lorsque la calotte repose sur un socle rocheux présentant une *pente rétrograde* ("le lit s'approfondit vers l'intérieur des terres plutôt que vers l'océan"), une *instabilité de calotte glaciaire marine* peut se déclencher, un processus qui s'auto-entretient en accélérant encore davantage le débit de glace et le recul de la calotte glaciaire. La perte de glace devient irréversible à l'échelle humaine et une fois l'instabilité déclenchée, le niveau de la mer continue d'augmenter pendant des siècles, voire des

millénaires. L'ampleur et l'échelle temporelle de ces effets sont donc difficiles à déterminer à partir des seules observations satellitaires, en raison de leur courte durée, ou à représenter dans les modèles faute d'observations de longue durée permettant de préciser les paramètres physiques. Il en résulte une *incertitude profonde* sur les projections de la montée du niveau moyen global de la mer, due aux « lacunes de fond dans notre compréhension des processus sous-jacents, y compris du comportement potentiellement “ à seuil ” de la calotte glaciaire antarctique et d’une nature différente de l'incertitude statistique, résultant quant à elle, de la dispersion dans les réponses des modèles ».

Les instabilités de la calotte glaciaire introduisent de fortes *non-linéarités* dans la réponse de l'Antarctique au changement climatique, c'est-à-dire « une réponse qui n'est pas nécessairement proportionnelle à l'amplitude de l'anomalie de forçage imposée ». Pour cette raison, la calotte glaciaire antarctique pourrait devenir le facteur déterminant au cours des prochaines décennies et dominer l'élévation du niveau de la mer pendant des siècles, voire des millénaires. Les simulations numériques montrent que la contribution incertaine de l'Antarctique exerce un contrôle de plus en plus tangible sur les incertitudes sur les projections de l'élévation du niveau de la mer et les divergences entre les différents scénarios, en particulier à partir du milieu du siècle, à mesure que les interactions entre la glace et l'océan s'intensifient, augmentant le potentiel d'instabilité des calottes glaciaires.

En fonction des trajectoires futures des émissions de carbone, l'élévation prévue du niveau moyen global des mers d'ici à la fin du XXI^e siècle variera entre environ 0,28 et 1,01 m, et pourrait atteindre 1,6 m si des instabilités se produisaient dans les secteurs marins de la calotte antarctique. La divergence entre les scénarios s'accroît encore au cours des siècles suivants, en grande partie en raison de la contribution incertaine de l'Antarctique. Celle-ci pourrait atteindre plusieurs mètres, voire beaucoup plus (jusqu'à 15 m), bien que cette limite supérieure soit peu fiable. Le sixième rapport d'évaluation (AR6) du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) identifie ainsi l'Antarctique comme la plus grande source d'incertitude dans les projections du niveau moyen global de la mer.

Les processus glaciologiques opèrent à des échelles de temps allant de quelques heures à plusieurs centaines de milliers d'années. La stratigraphie sismique marine de la marge continentale et la modélisation paléoclimatique ont montré que la sensibilité actuelle de la calotte glaciaire antarctique aux conditions océaniques, ainsi que l'incertitude qui entoure sa contribution future au niveau moyen des océans, sont le résultat d'une

érosion sur de longues échelles de temps, causée par les interactions entre la calotte et son substrat rocheux au cours des 34 derniers millions d'années (Ma).

L'Antarctique n'a pas toujours été isolé au pôle Sud. Il y a environ 180 Ma, il faisait partie du supercontinent Gondwana. La fragmentation progressive de ce supercontinent a ouvert les passages de l'océan Austral et modifié la circulation océanique à mesure que l'Antarctique dérivait vers le sud. À l'Éocène, des connexions peu profondes à travers les passages de Drake et de Tasmanie ont permis un échange circumpolaire partiel des eaux océaniques. À mesure que ces passages se sont approfondis, la circulation océanique est devenue plus zonale, réduisant le transport des eaux chaudes tropicales vers la marge antarctique et refroidissant les eaux de surface autour de l'Antarctique. Conjugués à une baisse importante du CO₂ atmosphérique (de plus de 1 000 ppm à moins de 900-700 ppm) et à un refroidissement global, ces changements tectoniques et climatiques ont culminé lors de la transition Éocène-Oligocène (~34 Ma), marquant la première preuve géologique d'une glaciation antarctique durable (Figure 3).

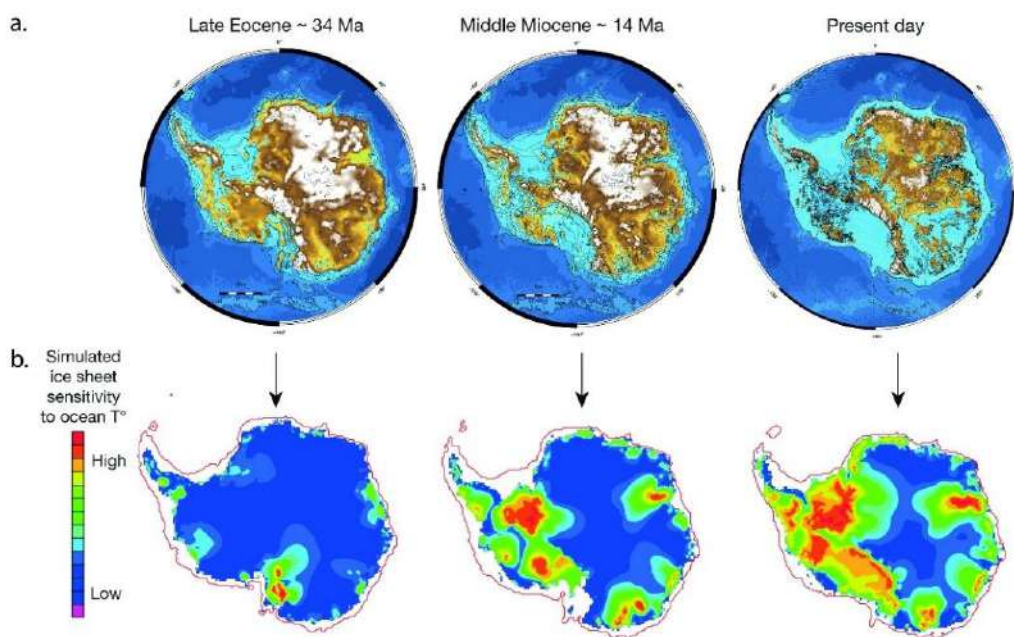


Figure 3.a : Reconstruction de l'évolution du socle rocheux antarctique illustrant l'approfondissement des secteurs marins de l'Antarctique au cours des 34 derniers millions d'années. *Source : Paxman et al., 2019.* (Le socle rocheux actuel est également représenté sur la Figure 2.b). **Figure 3.b : simulation de la sensibilité de la calotte glaciaire antarctique au réchauffement océanique** sur chacun de ces paléosocles rocheux. *Source : Colleoni et al., 2018.*

À la question de savoir si la glaciation de l'Antarctique a été principalement déclenchée par des changements tectoniques ou par la baisse des concentrations de gaz à effet de serre, les connaissances actuelles indiquent que les deux facteurs ont été nécessaires. Les modèles de la calotte suggèrent que la tectonique a préconditionné l'Antarctique

pour rendre possible la croissance de la glace, tandis qu'une diminution des niveaux de CO₂ atmosphérique de plus de 1000 ppm à environ 900 et 560 ppm, en fonction des hypothèses des modèles, a été nécessaire pour déclencher une glaciation à grande échelle. Ces conclusions soulèvent un paradoxe apparent : pourquoi s'inquiète-t-on autant aujourd'hui de la stabilité de la calotte glaciaire antarctique, même dans les scénarios d'atténuation les plus ambitieux, alors que les concentrations de CO₂ prévues pour 2100 restent égales ou inférieures à ces niveaux passés ?

Deux processus clés permettent de résoudre ce paradoxe. Le premier est l'hystérésis qui caractérise le comportement de la calotte glaciaire. Son état à un instant donné dépend non seulement des conditions climatiques à cet instant, mais aussi de son histoire passée ; un retour des températures à des niveaux plus bas ne sera pas nécessairement suivi d'une nouvelle croissance de la calotte. Les modèles de calotte glaciaire montrent que le réchauffement climatique actuel, d'environ +1,3 °C par rapport aux niveaux préindustriels, est déjà suffisant pour déclencher un recul potentiellement irréversible de la calotte glaciaire antarctique au cours des siècles à venir. La deuxième raison est que les interactions entre la glace et l'océan sont devenues de plus en plus importantes au cours des temps géologiques. L'érosion des secteurs marins a créé des bassins sous-glaciaires profonds qui facilitent désormais l'accès de l'océan aux lignes d'échouage, rendant possibles des instabilités de la calotte glaciaire en dépit de concentrations atmosphériques de CO₂ relativement faibles (<300 ppm). Cette évolution a laissé la calotte glaciaire antarctique actuelle dans sa configuration la plus sensible de son histoire géologique. Au moment de la transition entre l'Éocène et l'Oligocène (figure 3, gauche), les secteurs marins de la calotte glaciaire de l'ère moderne n'existaient pas encore, et la calotte glaciaire antarctique s'est d'abord développée principalement sous la forme d'une calotte terrestre, comme en attestent les analyses de pollens et de paléosols. Après cette transition, le volume de glace antarctique a fortement fluctué. Les calottes glaciaires antarctiques étant principalement à *base chaude*, l'érosion basale s'est accentuée et l'eau de fonte produite à l'interface entre la glace et le substrat rocheux a réduit la friction, permettant à la glace de glisser plus facilement et son écoulement d'accélérer. À la différence, une calotte glaciaire à *base froide* est gelée jusqu'au socle.

Aujourd'hui, la calotte glaciaire de l'Antarctique occidental est en grande partie à base chaude, tandis que l'intérieur de l'Antarctique de l'Est est principalement à base froide. L'érosion à la base de la calotte a progressivement façonné les plateaux continentaux et creusé des fosses et des bassins profonds qui contrôlent désormais l'accès de l'océan aux zones d'échouage (Figure 3). Au milieu du Pléistocène (~3,3 Ma), la géométrie des

secteurs marins et de la marge continentale antarctique était proche de sa configuration actuelle, renforçant le couplage glace-océan et augmentant la vulnérabilité au forçage océanique

La période chaude du Pléistocène moyen (~3,3-3,0 Ma) représente l'intervalle le plus récent au cours duquel la calotte glaciaire antarctique a été très instable dans des conditions climatiques comparables aux trajectoires d'émissions faibles à modérées du XXI^e siècle. Les concentrations atmosphériques de CO₂ (~400-450 ppm) et les températures globales (+2 à +3 °C au-dessus des niveaux préindustriels) étaient similaires à celles des projections en réponse à des scénarios de développement plus pessimistes. Les reconstitutions du niveau de la mer pour cette période varient entre environ 10 et 20 m au-dessus du niveau actuel, ce qui implique une perte importante de glace en Antarctique et au Groenland. Les résultats du projet PLISMIP (*Pliocene Ice Sheet Model Intercomparison Project*) indiquent un effondrement quasi complet de la calotte glaciaire de l'Antarctique de l'Ouest et un recul de certains secteurs marins de l'Antarctique de l'Est. Des indices géologiques et glaciologiques suggèrent en outre que l'Antarctique a également contribué pour plusieurs mètres à l'élévation du niveau des océans au cours des périodes interglaciaires plus récentes, lorsque les concentrations atmosphériques de CO₂ restaient inférieures à 300 ppm et que les températures globales, de 0,5 à 1,5 °C au-dessus du niveau préindustriel, étaient nettement plus froides que celles du Pléistocène moyen. La coévolution du climat et de la morphologie du substrat rocheux est à nouveau essentielle pour expliquer la sensibilité de la calotte glaciaire antarctique.

Si les conditions climatiques passées ne sont pas directement comparables aux variations rapides du forçage climatique que nous connaissons aujourd'hui, elles mettent en évidence néanmoins des contraintes essentielles sur le potentiel de recul irréversible de la calotte dans les bassins marins ainsi que les longues échelles de temps caractérisant la montée du niveau de la mer une fois franchis certains seuils. Les projections du niveau des océans pour les siècles, voire les millénaires, à venir sont cohérentes en matière d'amplitude avec les reconstructions et les simulations du Paléolithique. Les périodes passées mettent également en évidence les effets des changements de circulation dans l'océan Austral, façonnés par la bathymétrie, la circulation atmosphérique et le couplage interhémisphérique sur l'apport de chaleur aux zones d'échouage, effets qui se superposent à ceux de l'augmentation de la température moyenne globale ou du niveau de CO₂ atmosphérique. En ce sens, l'alignement sur l'Accord de Paris ne garantit pas la stabilité à long terme de l'Antarctique, même s'il permet de gagner un peu de temps pour prendre des mesures en faveur du climat et s'adapter à ses effets.

Les incidences à long terme sur les régions côtières du monde entier sont profondément et irréversiblement liées au sort de la calotte glaciaire antarctique. Sa contribution incertaine à l'élévation du niveau des océans a des conséquences sociétales directes. Ce qui est certain, c'est que, même dans le cadre de scénarios d'atténuation forte, une élévation d'environ 0,5 m du niveau moyen global est inévitable au cours de ce siècle. Pour de nombreuses communautés côtières et grandes villes, une telle élévation approche déjà ou dépasse les limites d'adaptation actuelles, et des dommages importants sont déjà observés dans certaines régions. Le risque côtier dépend toutefois du niveau relatif qui cumule l'élévation du niveau moyen global des océans (actuellement, 4,4 mm/an) avec les empreintes régionales du niveau de la mer, les mouvements verticaux du sol qui peuvent atteindre des taux comparables à l'élévation du niveau moyen des océans, et les phénomènes océaniques et atmosphériques extrêmes. Ces processus sont encore mal pris en compte dans les modèles et les évaluations des risques. À mesure que le niveau global des océans augmente et que les tempêtes deviennent plus fréquentes, les événements extrêmes, tels que les *ondes de tempête* (« élévation anormale du niveau de la mer générée par une tempête ») qui se produisaient historiquement une fois par siècle, devraient se produire au moins une fois par an dans de nombreuses régions d'ici la fin du siècle, même dans les scénarios à faibles émissions. L'élévation du niveau de la mer amplifie les effets des tempêtes et des marées, augmentant les inondations côtières ; d'ici à 2100, entre 424 et 755 millions de personnes dans le monde pourraient être affectés dans le cas de scénarios à fortes émissions sans adaptation supplémentaire.

Les données paléontologiques, les observations modernes et les modèles numériques convergent vers une conclusion claire : la perte des principales plateformes glaciaires de l'Antarctique entraînerait une élévation du niveau de la mer de plusieurs mètres au cours des siècles à venir, obligeant plusieurs générations à s'adapter. La coopération scientifique internationale, dans le cadre de dispositifs tels que le système du Traité sur l'Antarctique, est essentielle pour maintenir dans la durée des réseaux d'observation continus, des infrastructures de recherche polaire partagées et l'intégration des données. Toutes ces approches sont nécessaires pour éclairer une planification côtière efficace et une adaptation sur le long terme des générations à venir.

Florence COLLEONI¹ pour POLAR WATCH²

¹ Glaciologue et paléoclimatologue à l'Institut national d'océanographie et de géophysique appliquée, Italie.

² Les opinions exprimées dans cet article sont la responsabilité de l'auteur.

INSCRIVEZ-VOUS
AUX BULLETINS DE
POLAR WATCH

*Décryptage par des spécialistes des évolutions
et des tendances en zones polaires.*

RENDEZ-VOUS SUR :
WWW.LECERCLEPOLAIRE.COM



Bulletin n°11
ANTARCTIQUE
L'INSTABILITÉ DE LA CALOTTE GLACIAIRE
ET LA MONTÉE DU NIVEAU DES OCÉANS



www.lecerclepolaire.com

POLAR WATCH

Veille et prospective sur les zones polaires

Tous droits réservés