

Bulletin n°15

ANTARCTIQUE
PRÉSERVER LES
ARCHIVES DES
GLACIERS MENACÉS

JUIN 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.

TRADUIT DE L'ANGLAIS : Lesley Jessop.

RÉVISION : Pascal-Raphaël Ambrogi

GRAPHISME ET MAQUETTE : Stéphane Hergueta, Guillaume Sciaux.

PUBLIÉ PAR : le Cercle Polaire – Juin 2026

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION : Laurent Mayet

CRÉDIT DE COUVERTURE : Laurence Medard/CNRS Images

IMPRIMEUR : Abon'Copies

Les choix des titres, légendes et notes de bas de page sont la responsabilité de l'Éditeur

Tous droits réservés

ISSN 2981-2720

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

Partenaires institutionnels



Partenaires opérationnels



Ice Memory : un sanctuaire mondial d'archives glaciaires en Antarctique

La livraison, en janvier 2026, de carottes de glace provenant de glaciers alpins dans un sanctuaire dédié en Antarctique, marque la concrétisation d'un programme de préservation d'échantillons de glaciers.

La fonte des glaciers est l'un des indicateurs les plus visibles du changement climatique, mais les glaciers constituent eux-mêmes de remarquables archives de l'histoire de l'atmosphère, du climat et de l'environnement de la Terre. Saison après saison, les chutes de neige incorporent des aérosols atmosphériques dont la taille varie du subnanomètre au micromètre. À mesure que la neige se tasse sous l'effet de son propre poids pour former de la glace, les pores ouverts des couches de *névé* (« neige pérenne subissant une densification et un métamorphisme en profondeur ») piègent les gaz atmosphériques, formant de minuscules bulles d'air qui jouent le rôle de capsules fossiles de la composition de l'atmosphère passée. Leur analyse permet de reconstituer, par exemple, l'évolution des concentrations en gaz à effet de serre. La composition isotopique des molécules d'eau révèle les températures passées et l'origine des masses d'air.



Figure 1 – Construction de la voûte de neige de la cave *Ice Memory*. Un ballon de trente-cinq mètres de long est inséré dans la tranchée puis gonflé, avant que de la neige ne soit fraisée sur le dessus. Une fois dégonflé, le ballon dévoile une voûte de neige. *Source : Rocco Ascione, ENEA-UTA, Italy.*

« Avec Ice Memory, nous tissons un lien entre les latitudes et les générations, par le biais de la science et de la diplomatie, pour faire de l’Antarctique, un sanctuaire universel. »

L'analyse chimique des éléments à l'état de traces présents dans les couches de neige et de glace permet également de retracer l'histoire des précipitations, des éruptions volcaniques, des tempêtes de poussière désertique, de la combustion de biomasse, ainsi que l'évolution des polluants d'origine anthropique, tels que les métaux lourds, les acides, la radioactivité, les polluants organiques persistants et bien d'autres encore. Au fil des millénaires, les strates glaciaires conservent une mémoire détaillée de l'atmosphère, des cycles biogéochimiques et du climat, reflétant les particularités régionales grâce à la répartition mondiale des glaciers. Bien que la science des carottes de glace soit relativement récente – elle a vu le jour vers la fin des années 1950 –, elle a profondément transformé notre compréhension du système climatique. Les analyses de carottes de glace provenant du Groenland et de l'Antarctique ont mis en évidence l'augmentation sans précédent des gaz à effet de serre depuis la révolution industrielle et ont permis de quantifier la relation entre le CO₂ et la température au cours des cycles glaciaires et interglaciaires, constituant un des fondements scientifiques des rapports du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).

Les glaciers qui conservent cette mémoire sont cependant en train de disparaître. Les glaciers de montagne et les petites calottes polaires reculent rapidement en raison du réchauffement d'origine anthropique. L'infiltration des eaux de fonte à travers le manteau neigeux a déjà altéré les enregistrements originaux dans les couches les plus profondes. Certaines archives glaciaires sont irréversiblement dégradées. Le glacier du Kilimandjaro en Tanzanie, par exemple, perd de la masse par *sublimation* (« changement direct d'une substance de l'état solide à l'état gazeux »). Les scientifiques mènent une course contre la montre pour sauver ce patrimoine scientifique unique. Dans ce contexte d'urgence, les fondateurs de l'initiative *Ice Memory* se sont donné pour objectif de constituer une bibliothèque mondiale de carottes de glace provenant des glaciers menacés, afin de les préserver pour les générations futures et les découvertes scientifiques à venir. En effet, le développement des technologies et des idées devrait enrichir dans le futur, le potentiel scientifique des carottes de glace. Par exemple, alors que leur contenu microbiologique (bactéries, virus, spores) est actuellement difficile à étudier en raison d'obstacles technologiques, de futures analyses pourraient permettre de découvrir de nouveaux antibiotiques et améliorer la santé mondiale (bioprospection).

L'initiative *Ice Memory* n'est pas née d'une conférence, mais plutôt d'une alerte lancée par la communauté scientifique. En février 2010, le Groupe de travail sur la neige et la glace du Programme hydrologique intergouvernemental pour l'Amérique latine et les Caraïbes (IHP-LAC) s'est réuni à Valdivia, au Chili. Une résolution a été adoptée,

soulignant l'urgence d'extraire des échantillons des glaciers andins en voie de disparition. En octobre 2013, lors d'un atelier sur la glaciologie andine à Porto Alegre, au Brésil, j'ai proposé à mes collègues sud-américains un projet consistant à stocker et à préserver ces échantillons de glace en Antarctique. Le principe était simple : aucun congélateur commercial ne peut garantir un stockage sans aléas pendant des décennies, voire des siècles¹. En revanche, le plateau antarctique, situé en Antarctique de l'Est offre des températures naturellement basses toute l'année, sans apport d'énergie, garantissant une conservation pendant des siècles en dépit du réchauffement climatique. De plus, le Système du traité sur l'Antarctique fournit un cadre juridique unique où les décisions sont prises par consensus entre les 58 États parties, un cadre idéal pour établir les meilleures pratiques en matière de préservation d'un patrimoine mondial de matériel scientifique.

Le projet a connu une nouvelle impulsion avec la participation de mon collègue professeur Carlo Barbante, de l'Université Ca' Foscari de Venise, en Italie, qui envisageait depuis 2012 un projet similaire concernant les glaciers alpins. Le Dr Patrick Ginot, de l'Institut de recherche pour le développement (IRD), qui avait cosigné la résolution de Valdivia en 2010, a rejoint ce petit groupe. Il a ensuite fallu trouver un soutien financier et politique. Le financement de la recherche repose généralement sur des engagements à court terme, alors que le programme *Ice Memory* constitue un investissement patrimonial à l'échelle des siècles. De plus, cette initiative peut concerner des glaciers pour lesquels les objectifs scientifiques à court terme ne sont pas une priorité.

Une rencontre décisive eut lieu à Grenoble, en France, en novembre 2014, lorsque le Prince Albert II de Monaco vint visiter le Laboratoire de glaciologie et géophysique de l'environnement (LGGE, actuel IGE), où je menais mes recherches. Une tempête retarda son vol vers Nice, transformant une brève rencontre en une longue discussion sur la fragilité de la cryosphère et le projet *Ice Memory*. Anne-Catherine Ohlmann, directrice de la toute nouvelle Fondation Université Grenoble-Alpes, eut vent de notre conversation et proposa d'aider Patrick Ginot et moi-même à réaliser ce rêve. Au printemps 2015, Barbante, Ginot, Ohlmann et moi-même transformions ce concept en un programme structuré et soumettions ce premier projet à la Fondation Prince Albert

¹ En général, les carottes de glace prélevées dans les glaciers de montagne et les calottes glaciaires sont conservées dans des congélateurs industriels situés à proximité des laboratoires de recherche spécialisés dans leur analyse. À Grenoble, par exemple, les carottes de glace sont stockées dans des installations gérées par la société privée *Stef Logistique*, en attendant d'être analysées dans les laboratoires de l'*Institut des Géosciences de l'Environnement* (IGE).

Il, qui, aux côtés d'autres donateurs², mobilisa les ressources privées nécessaires au lancement de l'initiative. Grâce à un premier financement et à un soutien en nature apportés par des institutions françaises et italiennes (Université Grenoble-Alpes, CNRS, IRD, Université Ca' Foscari de Venise et CNR), nous avons pu mener à bien la première opération de terrain sur les pentes du Mont-Blanc, dans les Alpes françaises. En août 2016, lors d'une expédition dirigée par Patrick Ginot, trois carottes de glace furent prélevées jusqu'au socle rocheux à une profondeur de 128 m sur le glacier du Col du Dôme, à 4300 m d'altitude ; l'une d'entre elles était destinée à être transférée vers le sanctuaire de stockage en Antarctique. Après le succès de 2016, une campagne de forage plus ambitieuse fut menée au printemps 2017 sur le glacier du Nevado Illimani, en Bolivie, à 6300 m d'altitude. Patrick Ginot coordonna de nouveau l'opération en collaboration avec l'Université de La Paz, permettant de prélever deux carottes de glace jusqu'au socle rocheux (à environ 135 m de profondeur), où la glace remonte au dernier maximum glaciaire, il y a 18000 ans. En 2017, l'UNESCO s'est associée à l'initiative et un atelier a été organisé en mars à Paris, réunissant des scientifiques de douze pays. Le Conseil exécutif de l'UNESCO publiait deux déclarations exhortant les États membres de l'ONU à soutenir l'initiative. La Suisse, représentée par la professeure Margit Schwikowski de l'Institut Paul Scherrer (PSI), a également rejoint le groupe de pilotage. Une entité juridique étant nécessaire pour assurer la gouvernance, les cinq membres fondateurs ont créé la Fondation *Ice Memory* (FIM) en 2021, placée sous la présidence d'honneur du Prince Albert II de Monaco. Ses sept membres fondateurs (l'Université Grenoble-Alpes, le CNRS, l'IRD, l'Université Ca' Foscari, le CNR, le PSI et l'Institut polaire français IPEV) ont adopté la charte suivante :

- sélectionner des glaciers présentant une grande valeur scientifique ;
- donner la priorité aux sites menacés dans l'immédiat ;
- prélever plusieurs carottes en parallèle lorsque cela est possible ;
- conserver au moins une carotte « patrimoniale » intacte ;
- créer des bases de données scientifiques en libre accès ;
- assurer une gouvernance internationale durable.

² À ce jour, Findus, Claude Lorius (le fondateur de la science des carottes de glace), Fondation Didier et Martine Primat, Thermo-Fisher Scientific, Fondation Air Liquide, Tupack Group, BNP Paribas, Fondation Petzl, Fondation Richard Lounsbery, Elcom, Alizentt, Decathlon, GMM, Pressario, Lexinnov Avocat, Aku, Karpos, Polibox.

Ce cadre a mis en évidence une difficulté fondamentale : trouver un équilibre entre le soutien à la recherche scientifique actuelle et la préservation des échantillons pour les générations futures.

De 2018 à 2025, les campagnes de forage se sont étendues aux glaciers des Alpes, du Caucase et de l'Altaï (Russie), du Svalbard et du Tadjikistan, grâce à la participation des scientifiques fondateurs de la FIM, mais aussi à celle d'autres spécialistes des carottes de glace qui souhaitent apporter leur contribution à l'occasion d'une expédition de recherche programmée par ailleurs. À ce jour, onze opérations de carottage *Ice Memory* ont été organisées sur toute la planète, permettant d'obtenir neuf carottes de glace patrimoniales. *Ice Memory* est à mi-chemin de son objectif initial de vingt glaciers carottés en vingt ans. La conservation en Antarctique, pour les siècles à venir, des archives glaciaires menacées constitue une dimension unique de cette initiative.

Le dépôt en Antarctique de glaces provenant de régions non antarctiques a déclenché des mécanismes juridiques complexes. L'introduction d'espèces non indigènes est régie par le Protocole au traité sur l'Antarctique relatif à la protection de l'environnement, signé à Madrid en 1991 (ou protocole de Madrid). Ce protocole interdit l'importation d'organismes non indigènes³, y compris, en principe, les bactéries, les virus et les spores piégés dans la glace qui ne sont pas naturellement présents dans la *zone du traité sur l'Antarctique* (« située au sud de la latitude 60° Sud »). Convaincre les Parties au Système du traité sur l'Antarctique n'est pas toujours une tâche aisée. En tant que directeur de l'Institut polaire français Paul-Émile Victor (IPEV) et membre de la délégation française à la Réunion consultative du Traité sur l'Antarctique (RCTA) de 2018 à Buenos Aires, je fis une brève présentation du projet *Ice Memory* aux autres délégations. Elle donna lieu à la mise en place d'un processus de discussion pluriannuel. Au cours des RCTA suivantes, à Prague, à Paris, à Berlin et à Helsinki, des *Documents d'information* détaillés traitant des questions de biosécurité furent soumis aux Parties consultatives avec le soutien des délégations française et italienne. En 2019, lors de la RCTA XLII, la France et l'Italie annoncèrent qu'elles mèneraient une étude d'impact environnemental afin d'évaluer les conséquences de la création d'un site de stockage à la station de recherche Concordia (RCTA XLII, WP41). Comme mentionné dans un document d'information présenté en

³ Aux termes du protocole de Madrid, annexe II, article 4 (introduction d'espèces non indigènes et de maladies), §1 : « Aucune espèce d'organisme vivant non indigène de la zone du Traité sur l'Antarctique n'est introduite sur le continent ou sur la plate-forme glaciaire ou dans les eaux de cette zone, à moins qu'un permis ne l'autorise. » Conformément à l'article 4, §7, les « espèces non indigènes et de maladies » comprennent « les micro-organismes (par exemple, virus, bactéries, levures et champignons) qui ne sont pas naturellement présents dans la zone du traité sur l'Antarctique. » (Note de l'éditeur)

2023 lors de la RCTA XLV, « le risque d'introduction ou de redistribution de micro-organismes piégés dans les carottes de glace concerne les cas suivants : fonte partielle ou totale des échantillons de carottes de glace, suivie d'une dispersion de l'eau de fonte dans l'environnement immédiat ; survenue d'un accident de fonte lors du transfert logistique sur la côte antarctique, où se trouvent des animaux endémiques » ; « Des procédures appropriées seront élaborées pour gérer ces risques à la source » (RCTA XLV, IP74). Enfin, en mars 2024, une évaluation préliminaire d'impact sur l'environnement signée par le responsable environnement du *Programma Nazionale di Ricerche in Antartide* (PNRA) a été mise en ligne dans la base de données EIE (étude d'impact sur l'environnement) du traité sur l'Antarctique, concluant que cette activité ne devrait avoir « pas plus qu'un impact mineur ou transitoire » et qu'elle « peut être entreprise »⁴.

Nous avons sélectionné le haut plateau antarctique, et plus précisément la station Concordia (gérée conjointement par l'IPEV pour la France et le PNRA pour l'Italie). Contrairement au pôle Sud, qui subit d'importantes accumulations de neige – risquant d'ensevelir rapidement la cave *Ice Memory* – Concordia offre un environnement stable et naturellement froid (−52 °C toute l'année), avec une accumulation de neige minimale (3 cm d'équivalent eau par an). Inspirés par nos collègues danois, pionniers de cette méthodologie au Groenland, et avec le soutien de Julien Brondex, chercheur postdoctoral en mécanique de la neige, nous avons conçu une cave en neige fraisée à dix mètres de profondeur à l'aide d'un ballon gonflable (figure 1). Cette structure est conçue pour durer plusieurs décennies avant que la déformation de la voûte ne nécessite une opération de reconstruction de deux semaines. La concrétisation de notre projet s'est avérée être un véritable marathon. Après un forage en haute altitude, la glace a été transportée par hélicoptère ou sur le dos de porteurs et de guides de montagne jusqu'à la vallée, puis par camions frigorifiques depuis le camp de base vers des congélateurs commerciaux ou un conteneur maritime réfrigéré, avant de traverser l'océan à bord d'un porte-conteneurs jusqu'au lieu de stockage intermédiaire situé à proximité des laboratoires de Grenoble, Venise et Villigen. En 2025, nous avons saisi une occasion unique : le brise-glace italien *Laura Bassi* se trouvait à Trieste. Nous y avons chargé deux carottes de glace (deux tonnes de glace) provenant des Alpes suisses et françaises. Le navire a transporté cette cargaison à travers trois océans pendant des semaines sans

⁴ « Si une évaluation préliminaire d'impact sur l'environnement indique qu'une activité envisagée n'aura vraisemblablement pas plus qu'un impact mineur ou transitoire, cette activité peut être entreprise, à condition que des procédures appropriées, pouvant inclure la surveillance, soient mises en place pour évaluer et vérifier l'impact de cette activité » (Protocole de Madrid, annexe I, article 2.2).

aucune rupture de la chaîne du froid, pour finalement atteindre la station côtière italienne Mario Zucchelli en Antarctique. De là, un avion Basler BT-67 équipé de skis a acheminé les carottes jusqu'à Concordia⁵. Le sanctuaire a été inauguré le 14 janvier 2026, marquant ainsi le passage du concept à la réalité. Après une décennie de travail sur le terrain, d'études juridiques et d'ingéniosité logistique, les premières carottes de glace patrimoniales provenant des Alpes ont été déposées dans la cave de neige *Ice Memory*.

Le transport et le stockage d'échantillons de glacier en Antarctique n'entraînent-ils pas une empreinte carbone excessive ? La FIM a évalué cet aspect crucial. Le principal facteur limitant cette empreinte réside dans l'exploitation des infrastructures logistiques existantes des deux opérateurs polaires. *Ice Memory* s'appuie sur des transports maritimes et aériens planifiés indépendamment de son implication. Les carottes de glace ne représentent qu'une fraction mineure du fret acheminé en Antarctique par l'IPEV et le PNRA. Nos estimations montrent que le transport de vingt carottes de glace patrimoniales depuis l'Europe jusqu'à Concordia générerait environ 100 tonnes de CO₂, soit l'empreinte carbone annuelle moyenne de 15 citoyens français. L'exploitation d'un congélateur industriel pendant 10 ans produit une empreinte carbone comparable. Ainsi, après une décennie de stockage en Antarctique, l'opération *Ice Memory* présente un impact carbone inférieur à celui d'un stockage dans des congélateurs commerciaux.

À la mi-2026, la feuille de route est claire : achever la collecte des carottes de glace patrimoniales, renforcer la gouvernance et garantir le financement. Le principal défi consiste à mener à bien les forages sur les dix glaciers restants afin d'assurer une couverture mondiale, en particulier dans les régions sous-représentées, telles que l'Himalaya et le plateau tibétain, l'Asie centrale, les chaînes côtières de l'ouest de l'Amérique du Nord, ainsi que certaines parties des Andes. Chaque année de retard augmente le risque que les glaciers ciblés ne se détériorent au point de ne plus permettre l'extraction d'un carottage de haute qualité et chronologiquement cohérent. Relever ce défi nécessite des équipes techniques et scientifiques hautement qualifiées, mais aussi des bailleurs de fonds prêts à investir dans un patrimoine mondial dont les retombées ne se feront peut-être sentir que dans un siècle. Une perspective inhabituelle dans une culture de financement scientifique concurrentiel. Un deuxième défi majeur réside dans

⁵ Étant donné que deux itinéraires sont envisagés dans l'évaluation environnementale préliminaire (brise-glace français L'Astrolabe – station Dumont d'Urville – station Robert Guillard – raid terrestre vers Concordia ou brise-glace italien Laura Bassi – station Mario Zuchelli – transfert aérien vers la station Concordia), dans l'hypothèse où la logistique et les infrastructures polaires françaises seraient mobilisées dans le cadre de l'activité *Ice Memory*, la partie française devra garantir, pour chaque transit via ses moyens logistiques, la conformité environnementale de cette activité auprès des autorités nationales françaises compétentes. (Note de l'éditeur)

la gouvernance. Comment garantir des accords internationaux contraignants, assurant la préservation à long terme de ces archives scientifiques et les protégeant contre les tensions géopolitiques ? En 2023, la FIM a commencé à financer une chaire dédiée au droit et à la gouvernance à l'Université Grenoble-Alpes, dirigée par la professeure Sabine Lavorel, afin d'explorer ces questions juridiques sans précédent. Qui décidera quels scientifiques pourront accéder aux carottes patrimoniales dans le futur, dans quelles conditions et selon quels critères de mérite scientifique ou d'équité nationale ? La FIM a pour objectif de transférer la gestion de ce patrimoine à une organisation internationale d'ici à dix ans. L'UNESCO, l'Organisation météorologique mondiale et le Système du traité sur l'Antarctique fournissent des cadres de référence pour un éventuel « *Traité Ice Memory* ». Ce dernier pourrait être signé par les États parties ayant contribué à alimenter ce patrimoine gelé, mené les opérations de sauvegarde, assuré le stockage sécurisé de ce patrimoine mondial, ou désireux de contribuer aux nouvelles sciences émergeant de ces glaces précieuses. La Décennie d'action des Nations unies pour les sciences de la cryosphère (2025-2034), lancée lors de la troisième Conférence des Nations unies sur les océans à Nice, en juin 2025, offre un contexte optimal pour les négociations politiques et la formalisation d'accords. En matière de gouvernance, un autre défi concerne la capacité de stockage en Antarctique. Si la station Concordia peut accueillir de nombreuses carottes de glace patrimoniales, le fait de disposer d'un seul site pourrait devenir un facteur limitant sur le plan géopolitique. Des installations de stockage parallèles pourraient être créées dans d'autres stations de recherche situées sur le plateau de l'Antarctique de l'Est, telles que la station Kunlun (Chine), la station Vostok (Russie) ou la station Dome Fuji (Japon).

Depuis mars 2025, le professeur Thomas Stocker, ancien coprésident du Groupe de travail I du GIEC, m'a succédé à la présidence de la FIM. Son expérience en matière de diplomatie scientifique constitue un atout majeur pour relever ces défis. Avec *Ice Memory*, nous tissons un lien les latitudes et les générations par le biais de la science et de la diplomatie, pour faire de l'Antarctique un sanctuaire universel.

Jérôme CHAPPELLAZ⁶ pour POLAR WATCH⁷

⁶ Professeur titulaire à l'École polytechnique fédérale de Lausanne, Suisse. Directeur de recherche au CNRS, France. Cofondateur de l'initiative *Ice Memory* et ancien président de la Fondation *Ice Memory* (2021-2025).

⁷ Les opinions exprimées dans cet article sont celles 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°15
ANTARCTIQUE
PRÉSERVER LES ARCHIVES DES GLACIERS MENACÉS



www.lecerclepolaire.com

POLAR WATCH

Veille et prospective sur les zones polaires

Tous droits réservés

ISSN 2981-2720