

trations extrêmement faibles, de l'ordre du picogramme (millième de milliardième de gramme) par gramme. Pour doser le cadmium, par exemple, on doit être capable de trouver un gramme de cadmium dans 20 millions de tonnes de glace ! Cette faiblesse des concentrations à doser a deux conséquences : d'une part, la moindre contamination

des carottes anéantit les informations stockées dans les glaces ; d'autre part, les carottes doivent être analysées par des méthodes ultra-sensibles, capables de trouver une aiguille dans une botte de foin.

Les méthodes de prélèvement sur le terrain sont de plusieurs types, selon la profondeur que l'on veut atteindre.

Pour récupérer des échantillons proches de la surface, tout d'abord, on met en œuvre des protocoles de prélèvement qui ne contaminent pas les échantillons : des opérateurs munis de combinaisons spéciales, non contaminantes, de gants en polyéthylène, de pelles ou de scies propres creusent des puits dont ils extraient la



**1. LES NEIGES ET GLACES** du Groenland sont prélevées à l'aide de techniques variées : grâce à de petits carottiers ultra-propres, pour les faibles profondeurs (*en haut à gauche*) ; grâce à des carottiers électromécaniques de moyenne profondeur (*en haut à droite*) ; grâce à des carottiers de grande profondeur. À droite, on voit la récupération d'une carotte au cours du carottage européen GRIP, qui a atteint plus de trois kilomètres. Ces carottes sont ramenées, congelées, au laboratoire, emballées dans des sacs étanches en polyéthylène. Sauf pour les échantillons proches de la surface, le prélèvement contamine l'extérieur de la carotte et impose une décontamination.



Claude Rado

neige. Puis, pour récupérer des carottes à des profondeurs comprises entre cinq et une vingtaine de mètres (soit plusieurs décennies d'accumulation des neiges au Groenland), on emploie des carottiers mécaniques propres, entièrement construits en matières plastiques, tel le polycarbonate. Ces carottiers sont préalablement nettoyés à l'acide, en laboratoire.

Les carottiers utilisés pour atteindre les profondeurs supérieures contaminent les échantillons. Des carottiers de moyenne profondeur, tel celui qui apparaît sur la figure 1, atteignent quelques centaines de mètres, soit quelques siècles à quelques millénaires ; le carottage se fait alors « à sec », sans fluide dans le trou.

Pour atteindre des profondeurs encore supérieures, on doit employer de grands carottiers métalliques, dans un trou rempli d'un liquide.

Ces appareils sont soit électromécaniques (un moteur électrique, alimenté par l'intermédiaire d'un câble qui descend dans le trou, fait tourner un cylindre métallique de dix centimètres de diamètre intérieur et de quelques mètres de longueur, muni de couteaux), soit thermiques (une résistance électrique chauffante, à la base du carottier, fond la glace sur une couronne circulaire). Ils contaminent doublement la glace : d'une part, parce qu'ils sont métalliques ; d'autre part, parce que l'on doit remplir le trou avec un fluide qui équilibre la pression considérable qui s'exerce sur les parois et

qui le ferait se refermer ; ce fluide, souvent à base de kérosène d'aviation, accroît la contamination de l'extérieur des carottes.

Naturellement, les échantillons obtenus par ces diverses méthodes doivent être traités différemment : les échantillons prélevés proprement dans les puits peuvent être analysés directement. En revanche, on a dû mettre au point des méthodes spéciales de traitement des carottes profondes, dont la partie externe est contaminée.

## Des glaces d'âge connu

Un point particulièrement important est celui de la datation des échantillons obtenus. Des méthodes variées sont utilisées. Celles qui exploitent les variations saisonnières de composition de la neige ou de la glace permettent de compter les années une à une à partir de la surface : on mesure par exemple les variations des rapports d'abondances isotopiques de l'oxygène 18 et de l'oxygène 16, ou du deutérium et de l'hydrogène (les isotopes d'un élément chimique ont le même nombre de protons, mais des nombres de neutrons différents ; par exemple, le noyau de l'oxygène 16 est composé de 8 protons et de 8 neutrons, tandis que celui de l'oxygène 18 renferme 8 protons et 10 neutrons).

Une autre famille de méthodes repose sur l'identification « d'horizons repères », c'est-à-dire de couches où

des événements importants ont laissé des signatures caractéristiques : il s'agit par exemple des éruptions volcaniques majeures, telles celles du Vésuve en l'an 79 de notre ère, du Tambora en 1815, du Krakatoa en 1883.

Dans le cas de Summit, ce type d'approche permet d'obtenir une datation très précise des glaces déposées au cours des 10 000 dernières années : la précision est meilleure que dix ans pour des périodes inférieures au millénaire ! Pour les parties plus profondes des carottes, toutefois, on doit également utiliser des modèles qui décrivent l'écoulement de la glace ; la précision devient moins bonne.

## La hantise de la contamination

La manipulation des échantillons impose des précautions draconiennes. Tout d'abord, les échantillons sont maintenus, de Summit jusqu'au laboratoire, à une température toujours bien inférieure à 0°C, afin d'éviter la migration des contaminants, de l'extérieur vers le cœur. Au laboratoire (spécialement conçu pour éviter les contaminations), les échantillons sont placés en chambre froide dans une enceinte à flux laminaire d'air purifié, où nous effectuons une décontamination mécanique à l'aide d'un tour entièrement construit en matières plastiques : nous éliminons des couches successives, de l'extérieur de la carotte jusqu'à son centre, ce qui permet, en fin d'opération, d'accéder au cœur, qui est généralement exempt de contamination.

Toutes les précautions doivent être prises pour éviter que les contaminants externes n'atteignent le cœur. Lors de la décontamination, notamment, on doit éviter que le couteau qui découpe la carotte ne reporte sur la partie dégagée une fraction de la contamination qui était présente dans la partie éliminée. Au cours de ces opérations de décontamination, on récupère les diverses couches éliminées, afin de vérifier ultérieurement que l'on est bien parvenu à un cœur propre : on trace les courbes de concentration, de l'extérieur jusqu'au centre ; quand un plateau se dessine, on conclut que la concentration mesurée représente vraiment ce qu'il y avait dans la neige ou dans la glace.



**2. DÉCONTAMINATION d'une carotte de glace en chambre froide à l'intérieur d'une enceinte à flux laminaire d'air ultra-filtré. La carotte, maintenue horizontalement dans un tour entièrement construit en polyéthylène, est découpée à partir de son extérieur. Chaque couche annulaire est récupérée séparément pour analyse. On isole ainsi la partie centrale, généralement vierge de toute contamination.**

Claude Bourton