

Le billet de Vostok

Jean Robert Petit : petit@lgge.obs.ujf-grenoble.fr

La signature biomoléculaire de bactéries de sources chaudes, dans le lac sous-glaciaire de Vostok en Antarctique, plusieurs fois confirmée par un groupe de biologistes franco-russes, pose la question des moyens de subsistance de ces niches de vie dans ce milieu très dilué, isolé de notre environnement depuis des millions d'années. La signature de la bactérie *Hydrogenophylus thermoluteolus* dans la glace d'accrétion Vostok, connue dans le geyser de Yellowstone par exemple, possède une physiologie optimale à 54°C et basée sur la consommation d'hydrogène. Dans le socle rocheux qui enclave le lac sous-glaciaire de Vostok, de l'hydrogène produit par une activité sismo-tectonique servirait de source d'énergie primaire aux niches de vie probablement installées dans les failles profondes.

C'est le défi des opérations de collecte de glace qui sont actuellement menées sur le site.

La campagne 2007-08 à Vostok est la seconde phase de l'opération réalisée en collaboration avec les Russes (53^e expédition antarctique russe). Elle bénéficie du soutien du GDRE Vostok (INSU), du programme Glaciolac de l'IPEV, et de l'USAR : ANR Vostok. Sont parties prenantes :

- côté français, le Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement, CNRS-UJF Grenoble, le CEA Saclay Université Versailles St Quentin, le Laboratoire des Environnement Extrêmes CNRS-Université Bretagne Occidentale, le laboratoire d'Ecologie Microbienne, CNRS- Université Claude Bernard Lyon.
- côté russe, les biologistes moléculaires de l'Institut de Physique Nucléaire de Gatchina.

L'objectif est de réaliser des prélèvements de glace du lac sous-glaciaire de Vostok en vue des analyses géochimiques classiques (isotopes stables, chimie) et plus particulièrement des gaz dissous dans la matrice de glace : isotopes de l'hélium (l'hélium 3 pouvant traduire une activité hydrothermale) et de l'hydrogène produit par une activité sismo-tectonique. Si les molécules d'air restent prisonnières de bulles ou de la matrice de glace, celles d'hélium et hydrogène sont très petites et diffusent, imposant la mise en container des échantillons dès que la glace est extraite. Les analyses sont prévues dans les laboratoires en France.

Le forage dans la glace à Vostok, trou numéro 5G1, se poursuit et a atteint des profondeurs records (3.623m en 1998 puis 3.666 m fin 2007) mais la perforation du lac pour y collecter de l'eau, objectif annoncé des Russes n'est

pas encore réalisé : les derniers 100 mètres de glace donnent depuis quelques années du fil à retordre, la glace proche du point de fusion est difficile à découper. La répétition des opérations de "montée-descente" et le travail dans le trou conduisent à la fatigue rapide du matériel, et même à la perte du carottier en janvier 2007, heureusement récupéré quelques semaines plus tard.

La recherche de la vie dans le lac sous-glaciaire de Vostok a animé les débats depuis une dizaine d'années entre les biologistes et les géochimistes qui ont eut accès aux échantillons de glace d'accrétion. Outre le très faible signal qui nécessitait l'application des traitements habituels en chambre sans poussière garantissant la qualité des analyses chimiques, il fallut appliquer des techniques de biologie moléculaire très poussées tant le signal est faible. Enfin, la validation des résultats n'a pu se faire qu'en réalisant l'inventaire des contaminations possibles lors de chaque étape et la duplication des analyses.

D'après le scénario franco-russe proposé depuis 2004, qui est à l'opposé des précédentes études américaines, le lac sous-glaciaire de Vostok est sans doute stérile : les très faibles concentrations en carbone ne sont pas compatibles avec une activité hétérotrophique et l'accumulation d'air dans les eaux du lac par le processus de fonte et regel de la glace conduit à des eaux chargées d'oxygène pouvant être létales aux microorganismes.

Les signatures en biologie moléculaire de bactéries de sources chaudes ont été obtenues dans les horizons de glace contenant des sédiments. Des indices, tels que de fortes concentrations en sel, suggèrent que ces sédiments n'ont pas été simplement raclés par le glacier mais injectés violemment, pour le moins inclus rapidement, dans la glace. Cette injection pourrait être consécutive à une activité sismo-tectonique détectée par ailleurs, pouvant en même temps lessiver voire éjecter les niches de vie installées dans les failles du socle rocheux.

Vostok est une de ces stations pionnières installées avec celle d'Admunsen-Scott South Pole en 1957 au moment de l'Année géophysique internationale, au pôle géomagnétique sud. Cette "grand-mère" qui n'a pas le look futuriste ni le confort de la station franco-italienne de Concordia, vient de fêter ses 50 ans le 16 décembre dernier et les récentes infrastructures plus que trentenaires disparaissent peu à peu sous la neige. L'Année polaire internationale est aussi l'occasion de la rénover : les premiers éléments de la nouvelle station sont arrivés en janvier 2008 avec le convoi de tracteurs venant de Mirny.

Souvenons-nous : la carotte de glace extraite à Vostok a fait la une des journaux scientifiques avec des premières retentissantes dans le domaine de la paléoclimatologie et la publication (en 1987) de la corrélation étroite entre climat et gaz à effet de serre sur plus de 150.000 ans, relation étendue à quatre cycles climatiques soit 400.000 ans (en 1999). Les résultats de Vostok

donnant quelques belles lettres de noblesse à la glaciologie ont permis d'initier d'autres projets européens comme celui d'Epica à Dôme C et à Dronning Maud Land qui rassemble les efforts de 10 nations : les enregistrements de la glace confirment ceux de Vostok mais, grâce aux progrès techniques, analytiques et de la synergie des laboratoires impliqués, les résultats sont à la hauteur et supplantent désormais ceux de Vostok par la durée de l'enregistrement produit (plus de 800.000 ans), la résolution temporelle (sur les 80.000 dernières années) et les centaines de milliers de mesures chimiques encore en cours d'exploitation.

L'étude du lac sous-glaciaire reste la motivation scientifique principale des expéditions russes et du maintien de la station. Mesures radar, prospection sismique, mesures géodésiques le long de traverses ont lieu tous les ans depuis une dizaine d'années. Et puis les Russes ont affiché leur volonté d'atteindre le lac en poursuivant les opérations de forages et cela est devenu un programme national prioritaire.

On savait depuis 1955 que l'eau pouvait en théorie se former sous la glace sous l'effet de la chaleur terrestre. En 1970, les sondages radar conduits par un groupe rassemblant Anglais, Danois et Américains ont suggéré la présence de lacs sous-glaciaires et de l'eau a été détectée sous la station de Vostok. Il fallut attendre 1993 et les mesures très précises des satellites altimétriques pour en avoir la dimension véritable : une surface du glacier très plane sur des kilomètres reflète une base de glacier lisse qui ne peut être donnée que par une étendue d'eau sous-glaciaire. Le lac sous-glaciaire de Vostok fut cartographié, il a la taille de la Corse (200 km par 50 km) sa profondeur atteint 1.200 m, la station de Vostok qui lui a donné son nom est localisée à son extrémité sud, séparée par une épaisseur de glace de 3.750 m. Depuis, on dénombre plus de 150 lacs sous-glaciaires en Antarctique de taille supérieure à 5 km et la liste ne cesse de s'allonger avec les nouvelles mesures. Le lac Vostok reste néanmoins à ce jour le plus grand.

En janvier 1998, dans le forage 5G1 vers 3.540 m, quelle ne fut pas la surprise de découvrir des sédiments du socle rocheux piégés dans la glace avec des cristaux de plus de 20 cm (au lieu de quelques cm), certaines carottes n'étant formées que d'un seul cristal de glace ! On sait maintenant qu'il s'agit de glace de regel qui a par endroit intégré des sédiments. Un sabot de glace d'accrétion de 200 m d'épaisseur est collé sous le glacier et avance avec lui.

Le regel de l'eau peut s'expliquer par des remontées d'eau de niveaux plus profonds dans le lac, la baisse de pression induisant une élévation du point d'équilibre eau-glace et dans certains cas le gel. Ce phénomène est bien connu pour les *ice-shelves*, ces plateformes de glace qui avancent dans l'océan : la partie profonde fond, le flot d'eau douce remonte le long de la paroi de glace et regèle contre elle plus haut.

Le lac sous-glaciaire de Vostok est enclavé dans une vallée orientée sud-nord, une tranchée qui ressemble à un effondrement : deux bords séparés de 50 km font une pente douce vers le nord en un dénivelé de 400 m environ, la partie centrale effondrée a une pente opposée, avec la partie profonde du lac (1.200 m) vers le sud.

Le glacier qui flotte au dessus du lac, traverse cette tranchée sous-glaciaire perpendiculairement. La région sud est donc un point haut qui domine de 400 m la partie Nord, à 200 km de là. La région nord où la glace est plus épaisse (4.100 m) correspond à la partie profonde de l'*ice-shelf*, c'est une zone de fusion. La région sud (3.750 m) et le site du forage de Vostok sont des zones de regel.

Cette glace d'accrétion est particulièrement isolante électriquement, ne contient pas d'air, elle a une composition isotopique et chimique différente de celle du glacier et les quelques 100 m de carottes extraites ouvrent une fenêtre sur le milieu sous-glaciaire.

L'exploration des lacs sous-glaciaires est un programme scientifique promu par le SCAR depuis les années 2000. Outre le volet « milieu extrême » et la recherche de signes de vie très ténus nécessitant la mise au point de protocoles de décontamination qui peuvent servir de référence à la recherche de la vie extra-terrestre, l'eau sous-glaciaire et le réseau hydraulique en général à l'interface glacier-socle rocheux est d'importance pour la dynamique et la stabilité à long terme des calotte glaciaires.

L'accès aux lacs sous glaciaires, leur exploration, la caractérisation des propriétés physico-chimiques du milieu sous-glaciaire, la dynamique des grandes étendue d'eau, les interactions avec le socle rocheux sont autant de questions qui demandent de nouveaux développement technologiques, une logistique importante et des moyens conséquents. Le projet « Lake Ellsworth » qui rassemble un consortium d'universités anglaises et américaines, vise dans les 5 ans à venir à forer dans un lac en utilisant une sonde à eau chaude, puis de lancer une série d'appareil d'exploration. Cette technique de forage, peu contaminante vis-à-vis du milieu sous glaciaire mais grande consommatrice d'énergie, n'est pas envisageable pour Vostok car il y fait trop froid, et il est fort à parier que le lac Vostok gardera ses secrets encore pour des lustres. Sans doute en reparlera-t-on lors de la prochaine Année polaire internationale.

Jean-Robert PETIT

Laboratoire de Glaciologie et de Géophysique de l'Environnement
LGGE - Grenoble
(CNRS, Université de Grenoble I)

Références

Bulat S. et al. (2004) DNA signature of thermophilic bacteria from the aged accretion ice of Lake Vostok: implications for searching life in extreme icy environments. *Int. Journal of Astrobiology* 3(1), 1-12, DOI: 10.1017/s147355040400189.

EPICA Community members. (2004) Eight glacial cycles from an Antarctic ice core. *Nature*, 429, 623-628.

EPICA Community members. (2006) One-to-one coupling of polar climate variability, *Nature*, 444, 195-198

Lavire, C. et al. (2006) Presence of *Hydrogenophylus thermoluteolus* DNA in accretion ice in the sub glacial Lake Vostok, Antarctica, assessed using rrs, cbb and hox. *Environmental Microbiology*, 8 (12), 2106-2114.

Petit J.-R., Alekhina, I., and Bulat, S. (2005) Lake Vostok, Antarctica: Exploring a sub glacial Lake and Searching for Life in an Extreme Environment. In *Advances in Astrobiology and Biogeophysics, Lectures in Astrobiology, Vol. 1* (ed. M. Gargaud, B. Barbier, H. Martin, J. Reisse), pp. 227-288. Springer.

Petit J.-R. et al. (1999) Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*, 399(6735), 429-436

Ridley J. F., Cudlip W., and Laxon S. (1993) Identification of sub glacial lakes using ERS-1 radar altimeter. *Journal of Glaciology* 39(133), 625-634.