

Résultats préliminaires du carottage de glace profond au sommet du Chimborazo (6 280 m), Équateur

Jean-Denis Taupin¹
Marcos Villacís¹
Patrick Ginot²
Jean-Philippe Eissen¹
Ulrich Schotterer³
Edson Ramírez⁴
Bolívar Cáceres Correa⁵
Luis Maisincho⁵
Ramón Chango⁵

Mots-clés : carotte de glace – isotopes de l'eau – chimie – climatologie – âge – Équateur

Après les forages profonds au sommet du Sajama (1997) et de l'Illimani (1999) tous deux situés en Bolivie, une nouvelle campagne de carottage de glace a été effectuée par une équipe franco-suisse en Équateur en novembre 2000 au Chimborazo (1°30'S, 79°45'W, 6 268 m d'altitude). Quatre forages ont été faits, 17 m, 25 m, 40 m et 54 m, ce dernier ayant atteint le *bedrock*. L'un des objectifs principaux du programme GreatIce (Glaciers et Ressources en Eau, Indicateurs Climatiques et Environnementaux) est la reconstitution climatique des 300 dernières années à l'échelle régionale à partir de carottes de glace. Cette période recouvre la dernière avancée glaciaire du PAG (Petit Âge de Glace) et le réchauffement actuellement constaté. Dans le cas où les

carottes de glace remontent beaucoup plus loin dans le passé, ce qui a été le cas pour le Sajama et l'Illimani (25 000 ans et 18 000 ans), la reconstitution climatique va porter aussi sur la transition du Dernier Maximum Glaciaire et de l'Holocène (12 000-14 000 ans). Pour l'actuel, la compréhension du comportement du phénomène ENSO (*El Niño Southern Oscillation*) en relation avec le

1 IRD-Équateur, Whymper 442 y Coruña, Quito, Équateur

2 LGGE, Université de Saint-Martin d'Hère, 38041 Grenoble, France

3 Dept. für Chemie und Biochemie, Universität Bern, 3000 Bern 9, Suisse

4 IHH, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia

5 INAMHI, Iñaquito 770 y Corea, Quito, Équateur

réchauffement global est aussi une des clés du recul des glaciers dans cette région.

Pour reconstituer le climat, l'analyse des carottes va porter principalement sur :

- le signal chimique (ions majeurs, traces et conductivité) marqueur de l'origine des masses d'air, du volcanisme stratosphérique et troposphérique (datation absolue de la carotte), de la pollution, des feux de forêts ;
- le signal isotopique stable de l'eau (oxygène 18 de deutérium), marqueur de l'origine des masses d'air et des paramètres climatologiques et outil de datation du cycle annuel puisque dans le cas de la Sierra équatorienne, le signal isotopique dans les précipitations est de forme bimodale en relation avec le passage de la ZITC (Zone Intertropicale de Convergence) (figure 1) ;
- les niveaux de cendres, marqueur du volcanisme local (datation absolue de la carotte) ;
- le tritium (^3H) et le ^{210}Pb , isotope radioactif pour la datation absolue.

En situation normale, les sites de carottage choisis se situent sur des zones en cuvette qui présentent une accumulation successive des couches de neige sans processus notable de fonte, ce qui préserve les signaux inclus dans la neige. Dans le cas du carottage au Chimborazo en 2000, des conditions particulières ont perturbé les couches de neige. En

effet, en janvier 2000, le volcan Tungurahua, situé à 50 km à l'est du Chimborazo, s'est réveillé et est actif encore actuellement, et a commencé à émettre des nuages de cendres à intervalles réguliers, qui se sont déposées sur le Chimborazo. La conséquence visible en 2000 fut la présence de pénitents au sommet dus à une fonte importante en surface en relation avec le changement d'albédo (les cendres favorisant l'absorption du rayonnement solaire) et la présence d'eau circulante dans le forage de 25 m à la limite névé-glacé. En décembre 2003, on a constaté l'existence de nombreuses crevasses au sommet ce qui suggère que l'on n'est plus en phase d'accumulation mais en phase d'ablation.

Ces différents processus vont bien évidemment altérer les marqueurs inclus dans la neige, ce que l'on a pu constater en comparant le forage test de 18 m effectué en 1999, donc non altéré par la présence de cendre, et les 20 premiers mètres du forage de 2000. Il en ressort que la plupart des éléments chimiques sont lixiviés vers le bas du profil puisque les éléments chimiques entourent le flocon de neige (figure 2), tandis que la composition en deutérium de la neige reste peu altérée car constitutif de la matrice neigeuse. Seuls les isotopes de l'eau, dans ce cas, peuvent donc être utilisés comme marqueur climatique. Mais qu'en est-il de la capacité de datation de l'isotope stable de l'eau dans la mesure où les dépôts de cendre peuvent être signe de disparition de couches

annuelles, comme on peut le constater actuellement ? L'évaluation de l'âge de la carotte par le deutérium jusqu'à 30 m (1963) semble cohérente avec les mesures de tritium et de ^{210}Pb , mais en dessous la carotte révèle plus de 50 niveaux de cendres dont 25 aussi importants que la couche déposée en 2000 et le comptage des couches annuelles par le deutérium ne coïncide plus avec l'historique connu des éruptions volcaniques dans la région. Pour essayer de

résoudre ce problème, on espère reconstituer la datation de la carotte à partir du chimisme des dépôts, différenciant ainsi les trois volcans susceptibles de déposer des cendres sur le Chimborazo (Tungurahua, Sangay et Cotopaxi). Mais, l'interprétation reste complexe en raison des signatures chimiques différentes d'une éruption à l'autre pour un même volcan et de la différence de composition chimique entre dépôts volcaniques et cendres.

Figure 1 - Comparaison du signal isotopique de la carotte du Chimborazo et des précipitations de la Sierra
 Comparación de la señal isotópica en el testigo de hielo del Chimborazo y de las lluvias de la Sierra

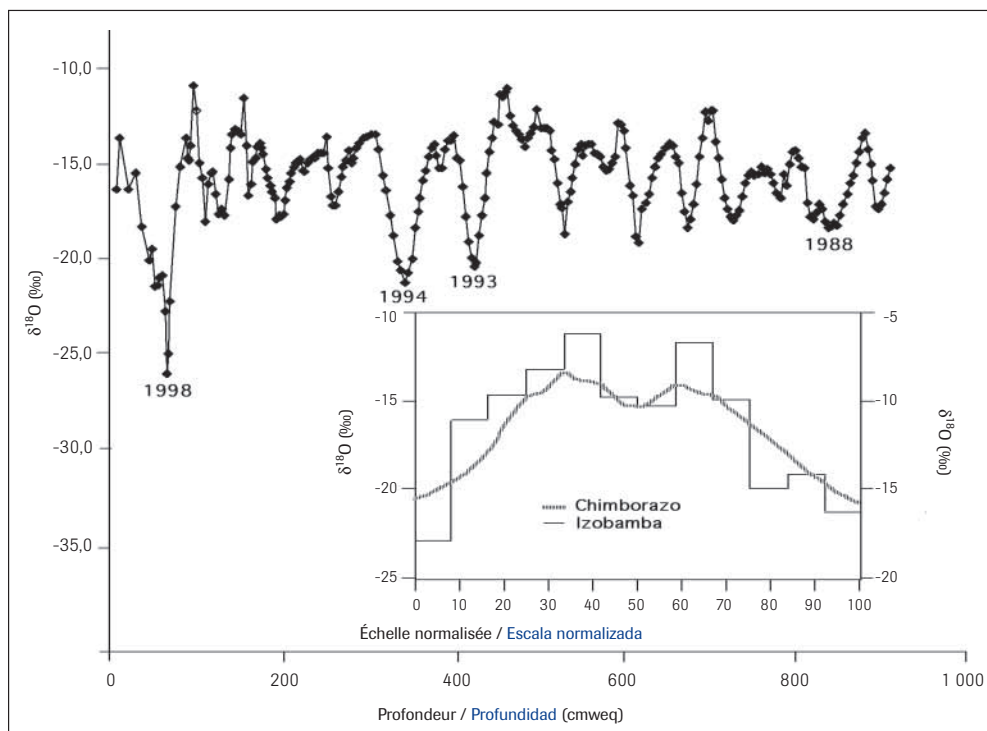
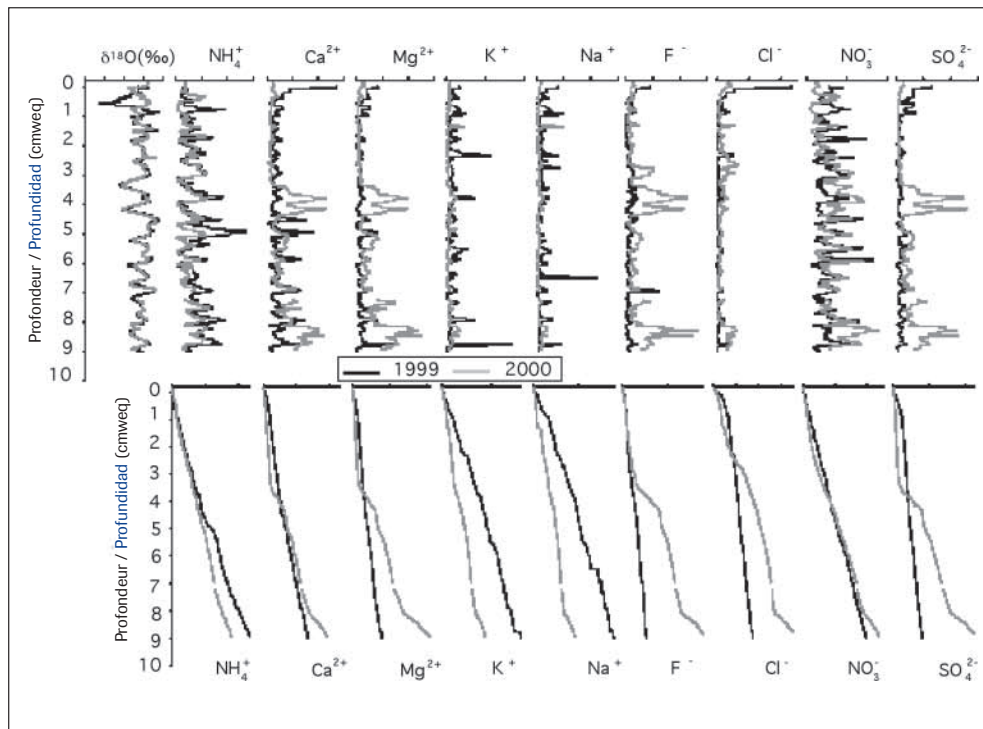


Figure 2 – Comparaison des profils isotopiques et chimiques au sommet du Chimborazo en 1999 et 2000
Comparación de los perfiles isotópicos y químicos en la cumbre del Chimborazo en 1999 y 2000



Resultados preliminares del muestreo de hielo profundo en la cima del Chimborazo (6.280 m.s.n.m.), Ecuador

Palabras clave: testigo de hielo – isotopos del agua – química – climatología – edad – Ecuador

Después de las perforaciones profundas realizadas en la cima del Sajama (1997) y del Illimani (1999), ambos situados en Bolivia, un equipo franco-suizo efectuó en noviembre de 2000 en Ecuador una nueva campaña de muestreo de hielo en el Chimborazo (1°30'S, 79°45'W, 6.268 m de altura). Se hicieron 4 perforaciones a 17 m, 25 m, 40 m y 54 m, habiendo este último alcanzado el *bedrock*. Uno de los objetivos principales del programa GreatIce (Glaciares y Recursos Hídricos, Indicadores Climáticos y Ambientales) es la reconstrucción climática de los últimos 300 años a nivel regional, a partir de testigos de hielo. Este período cubre el último avance glacial de la Pequeña Edad de Hielo y el calentamiento actual constatado. Si los testigos de hielo se remontan mucho más al pasado, lo que fue el caso del Sajama y el Illimani (25.000 y 18.000 años), la reconstrucción climática va a cubrir igualmente la transición del Último Máximo Glaciar al Holoceno (12.000-14.000 años). Para el período actual, la comprensión del comportamiento del fenómeno ENSO (*El Niño South Oscillation*)

en relación con el calentamiento global es también una de las claves del retiro de los glaciares en esta región.

Para reconstruir el clima, el análisis de los testigos concierne principalmente:

- la señal química (iones mayores, elementos trazos y conductividad) marcador del origen de las masas de aire, del volcanismo estratosférico y troposférico (datación absoluta del testigo), de la contaminación, del fuego de los bosques;
- la señal isotópica estable del agua (oxígeno 18 de deuterio), marcador del origen de las masas de aire y de los parámetros climatológicos y herramienta de datación del ciclo anual puesto que en el caso de la Sierra ecuatoriana, la señal isotópica en las precipitaciones es de forma bimodal en relación con el paso de la Zona InterTropical de Convergencia (ZITC) —figura 1—.
- las capas de ceniza, marcador del volcanismo local (datación absoluta del testigo);

- el tritio (^3H) y el ^{210}Pb , isótopo radiactivo para la datación absoluta.

En situación normal, los sitios de muestreo escogidos se sitúan en zonas de depresión que presentan una acumulación sucesiva de capas de nieve sin proceso notable de fusión, lo que preserva las señales incluidas en la nieve. En el caso del muestreo del Chimborazo en 2000, hubo condiciones particulares que perturbaron a las capas de nieve. En efecto, en enero de ese año el volcán Tungurahua, situado a 50 km al Este del Chimborazo, despertó estando aún activo actualmente, y comenzó a emitir nubes de ceniza a intervalos regulares, que se depositaron sobre el Chimborazo. La consecuencia visible en 2000 fue la presencia de láminas de nieve seca en la cima debidas a una fusión importante en la superficie, relacionada con el cambio de albedo (las cenizas favorecen la absorción de los rayos solares) y la presencia de agua circulante en la perforación de 25 m, en el límite nevero-hielo. En diciembre de 2003 se constató la existencia de numerosas grietas en la cima, lo que sugiere que ya no se está en fase de acumulación sino en fase de ablación.

Estos diferentes procesos van evidentemente a alterar los marcadores incluidos en la nieve, lo que se pudo constatar comparando la perforación de prueba de 18 m efectuada en 1999, y por tanto no alterada por la presencia de ceniza, con los 20 primeros metros de

la perforación de 2000. De ello se desprende que la mayoría de elementos químicos están lixiviados hacia la parte baja del perfil puesto que rodean al copo de nieve (figura 2), mientras que la composición de deuterio de la nieve se conserva poco alterada por tratarse de un elemento constitutivo de la matriz de nieve. Así, solamente los isótopos del agua, en este caso, pueden ser utilizados como marcador climático. ¿Qué sucede con la capacidad de datación del isótopo estable del agua en la medida en que los depósitos de ceniza pueden ser señal de desaparición de capas anuales, como se puede constatar actualmente? La evaluación de la edad del testigo mediante el deuterio hasta 30 m (1963) parece coherente con las medidas de tritio y de ^{210}Pb , pero por debajo el testigo revela más de 50 capas de ceniza, de las cuales 25 son tan importantes como la capa depositada en 2000 y el conteo de las capas anuales mediante el deuterio ya no coincide con el historial conocido de las erupciones volcánicas en la región. Para tratar de resolver este problema se espera reconstruir la datación del testigo a partir de la química de los depósitos, diferenciando así los tres volcanes capaces de depositar ceniza en el Chimborazo (Tungurahua, Sangay y Cotopaxi). Pero la interpretación sigue siendo compleja debido a las firmas químicas diferentes de una erupción a otra para un mismo volcán y a la diferencia de composición química entre depósitos volcánicos y ceniza.