

**LA RED DE MONITOREO GLACIO-HIDROLOGICO DE ORSTOM Y DE SUS
CONTRAPARTES EN BOLIVIA, PERU Y ECUADOR :**
**Una herramienta para el estudio del recalentamiento global
y de sus consecuencias en los trópicos.**

B. POUYAUD¹, B. FRANCOU² y P. RIBSTEIN¹

Résumé - Depuis quelques années, avec ses partenaires sud-américains de Bolivie, du Pérou et d'Equateur, l'ORSTOM entretient un réseau de mesure sur quelques glaciers représentatifs de ces 3 pays. Les glaciers tropicaux sont en effet des objets hydrologiques qui intègrent particulièrement bien les effets d'un changement climatique. Les premiers résultats ont ainsi mis en évidence l'influence des événements ENSO sur l'hydrologie glaciaire, avec des effets contrastés en Cordillère Royale de Bolivie et en Cordillère Blanche du Pérou. De même, les modifications du comportement des glaciers tropicaux exercent une influence considérable sur la ressource en eau de ces pays. Le programme en cours attend beaucoup de ses extensions, déjà partiellement opérationnelles, en Equateur et en Colombie, notamment en ce qui concerne les répercussions d'un changement climatique sur les risques glaciologiques et leur prévision. Cette recherche fait enfin partie intégrante d'un projet soumis au Programme "Environnement et Climat" de la Communauté Européenne, ce qui, le cas échéant, pourrait lui apporter un soutien financier appréciable autorisant tous les développements souhaités.

Resumen - Desde hace algunos años, junto con sus contrapartes sudamericanas de Bolivia, de Perú y de Ecuador, ORSTOM mantiene una red de mediciones en algunos glaciares representativos de estos 3 países. Los glaciares tropicales son, en efecto, objetos hidrológicos que integran particularmente bien los efectos de un cambio climático. Es así que los primeros resultados evidenciaron la influencia de los acontecimientos ENSO sobre la hidrología glaciaria, con efectos contrastados en la Cordillera Real de Bolivia y en la Cordillera Blanca del Perú. Asimismo, las modificaciones del comportamiento de los glaciares tropicales ejercen una influencia considerable sobre el recurso hídrico de estos países. El programa en curso espera mucho de sus extensiones, particularmente ya operacionales, en Ecuador y en Colombia, sobre todo en lo que concierne a las repercusiones de un cambio climático sobre los riesgos glaciológicos y su previsión. Esta investigación forma parte de un proyecto sometido al Programa "Medio ambiente y Clima" de la Comunidad Europea, lo que, llegado el caso, podría aportarle un apoyo financiero apreciable permitiendo todos los desarrollos deseados.

INTRODUCCION : el interés de monitorear los glaciares tropicales

La comunidad científica internacional está de acuerdo en reconocer en los glaciares una sensibilidad particular a las evoluciones climáticas. Las importantes variaciones seculares de los glaciares templados, europeos o norteamericanos, son muy bien conocidos y desde hace tiempo han permitido evidenciar La Pequeña Edad de Hielo de los siglos XVII y XVIII. Los glaciares tropicales, más difícilmente accesibles, eran hasta hace poco casi desconocidos. Pero desde hace algunos años, diferentes trabajos en Perú (Thompson et al., 1984; Thompson et al., 1986), en

¹ ORSTOM, Bolivia.

² ORSTOM-CNRS

Kenya (Hastenrath et al., 1992) y en Bolivia (Francou et al., 1995) han mostrado su extrema sensibilidad a los cambios climáticos en escalas de algunos decenios.

Tres razones principales pueden explicar esta sensibilidad particular del funcionamiento de los glaciares tropicales:

- En las bajas latitudes intertropicales, la amplitud térmica estacional es inferior a 5° C y las partes bajas de los glaciares están todo el año en régimen de ablación, de manera que el balance glaciar evoluciona rápidamente con la altura, con un importante coeficiente de actividad. Los glaciares son de corta longitud y, sometidos a cambios climáticos, su frente reacciona rápidamente, en un breve tiempo de respuesta, con un avance o un retroceso.
- En época húmeda, durante el paso de la Zona de Convergencia InterTropical (ZCIT) hay coincidencia entre el período de acumulación y el máximo anual de energía radiativa recibida. La variabilidad interanual que caracteriza a esta época se traduce por una variabilidad acentuada de los balances glaciares.
- En las regiones más húmedas, con precipitaciones superiores a 800 mm, el aumento de las temperaturas medias se traduce en los balances según dos causalidades : el calor sensible proporcionado por la radiación crece, así como el cantidad de calor disponible relacionado en el glaciar con el ascenso altitudinal del límite lluvia/nieve. En cambio, en las regiones más secas, con precipitaciones inferiores a 400 mm, la disminución de las precipitaciones continúa siendo el principal factor limitante del balance : el aumento simultáneo de la radiación, de la evaporación y de la sublimación compensa las bajas temperaturas y no permite la presencia permanente de aparatos glaciares, aun en las cimas que pasan de los 6000 m.

La zona tropical de altura superior a los 4000 m muestra ser *a priori* una zona geográficamente muy sensible a las evoluciones climáticas generales :

- A corto plazo, la variabilidad climática del área andina tropical, marcada por acontecimientos singulares mayores como los fenómenos ENSO, puede ser caracterizada a escala anual por el comportamiento de los glaciares : los episodios ENSO se traducen en altura por una anomalía térmica positiva y eventualmente (Perú) un déficit pluviométrico que reaccionan negativamente sobre el balance de los glaciares, iniciando o acelerando su retroceso.
- Un aumento de la temperatura atmosférica y oceánica en los trópicos, previsto a mediano plazo, debería traducirse en un aumento de la evaporación y de la humedad relativa, acompañada de una activación de las transferencias de calor, cuya consecuencia debería ser la banalización del retroceso glaciar observado durante los fenómenos ENSO. Este proceso ya comenzó sin duda, fundándose en la excepcional rapidez de la desglaciación observada en alta montaña tropical, en cualquier parte del mundo, desde comienzos de los años 1980.

Estos desequilibrios, evidenciados en aparatos glaciares tropicales, afectan también de manera marcada los recursos hídricos a los cuales están relacionados. Las reservas de agua, que constituyen los glaciares, ya no aparecen actualmente como recursos renovables, al menos en lo que concierne a los pequeños aparatos glaciares. Al mismo tiempo, aumentan los riesgos asociados al retroceso acelerado de los glaciares, avalanchas y, sobre todo, vaciados catastróficos de las lagunas glaciares.

Observando la evolución de los glaciares y de las capas de nieve temporales, gracias a una

red de observación apropiada que se extiende entre el Trópico de Capricornio (norte de Chile y Bolivia) y el norte del Ecuador (Ecuador y Colombia), se dan los medios para disponer de un instrumento incomparable y multi-objetivos que permite a la vez :

- Caracterizar a mediano plazo las consecuencias de un recalentamiento atmosférico general, en lugares de altura donde la aridez aumenta yendo hacia el Sur y según procesos gradualmente variables.
- Estudiar los efectos de la variabilidad climática local, en particular de la que está asociada en esta área meridiana con acontecimientos ENSO y anti ENSO.
- Finalmente, analizar las consecuencias hidrológicas y económicas de una evolución tal, primero a nivel de los grandes tanques endorreicos andinos (lagos, como el Titicaca; capas y salares del Sur), y también a nivel de instalaciones puntuales que alimentan con agua potable los grandes centros urbanos (cuyas las tres capitales Lima, La Paz y Quito), con agua de riego los confines áridos del Pacífico en Perú y en Chile y, finalmente, con energía hidroeléctrica regiones enteras de Chile, Bolivia, Perú y Ecuador.

LA RED DE OBSERVACION EXISTENTE

Desde 1991, ORSTOM, junto con sus contrapartes bolivianas, peruanas y ecuatorianas, ha emprendido la instalación de una red de observaciones glaciológicas.

Fueron elegidos dos primeros glaciares representativos de la Cordillera Real de Bolivia (16° Sur), los glaciares de Zongo (6000 m) y de Chacaltaya (5400 m), junto con, como contraparte boliviana, la Compañía Boliviana de Energía Eléctrica (COBEE) por una parte, la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) , por otra parte.

Estos glaciares fueron rápidamente equipados con un dispositivo que permite medir el balance de masa (balizas instaladas en las zonas de acumulación y de ablación), el balance hidrológico (estaciones de medición y registro de los caudales líquidos escurridos abajo del glaciar), los principales parámetros meteorológicos (temperaturas y precipitaciones), registrados o sacados según una periodicidad mensual. La velocidad superficial del glaciar y las oscilaciones de su frente son observadas anualmente realizando una topografía a nivel del suelo. Este dispositivo constituye el "dispositivo standard" de observación, que permite establecer balances glaciares.

Aunque los primeros resultados fueron importantes, aparecieron rápidamente dos exigencias nuevas :

- Empezar mediciones nuevas que permitan establecer un balance energético en la superficie del glaciar (mediciones de las temperaturas del aire y del hielo, de la humedad del aire, de la velocidad del viento, de la radiación neta, global y reflejada), único método que permite una previsión de la ablación y de los caudales de derretimiento a partir de un modelo físico de funcionamiento del glaciar. Este trabajo ha empezado desde 1993 en el Glaciar de Zongo, gracias a una estación climática completa instalada a 5200 m de altura.
- Extender el "dispositivo standard" que permita estimar balances, descritos anteriormente, a otros glaciares de los Andes centrales, particularmente en Perú, en Ecuador y en Colombia.

Actualmente, como lo han presentado las comunicaciones a este Seminario de Bernard Francou *et al.*, y de Pierre Ribstein *et al.*, la red de observación de los glaciares tropicales en los Andes Tropicales está constituida como sigue (Fig. 1), donde figura también la estación meteorológica (no glaciar) de Quisquiro en el Norte del Chile :

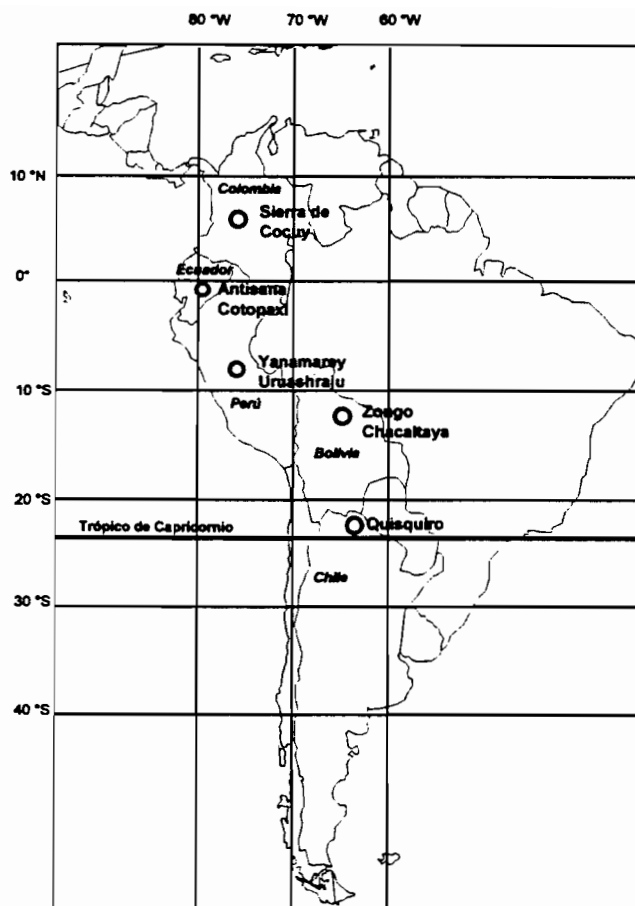


Fig. 1: Posición de los glaciares estudiados

En Bolivia

Desde 1991, dos glaciares son controlados, según una periodicidad mensual, el Glaciar de Zongo (balances de masa, hidrológico, energético, variaciones del frente y velocidades superficiales) y el Glaciar de Chacaltaya (balance de masa, variaciones del frente, velocidades superficiales). Son reunidos datos meteorológicos cerca del frente hasta la línea de equilibrio, que luego son comparados con los de las estaciones de la red nacional situadas en altura y que presentan series de más de 30 años.

Los resultados de las mediciones de balance de estos 2 glaciares responden a las normas mundiales y son publicados por el World Glacier Monitoring Service (Glacier Mass Balance Bulletin, IAHS/ICSU). Se establecieron reconstituciones de 20 años, a partir de datos hidrológicos (Glaciar de Zongo), donde aparecen eventos ENSO (Ribstein *et al.*, 1995). Las diferentes posiciones de los frentes pueden ser fechadas desde 50 años (Glaciar de Chacaltaya).

En Perú

Los balances, en la zona de ablación de los Glaciares de Yanamarey y Uruashraju, en la Cordillera Blanca, son medidos desde 1977 continuamente por la Oficina de Recursos Hídricos de Huaraz. Su frente y sus velocidades superficiales son observados 2 veces por año y los datos climáticos son tomados a menos de 10 km. Por otro lado, una muestra de otros 3 pequeños glaciares tiene su término topografiado cada año. Un retroceso acelerado desde 1980 y una influencia notable de los acontecimientos ENSO son los rasgos más característicos de estos glaciares de la Cordillera Blanca (Fig. 2).

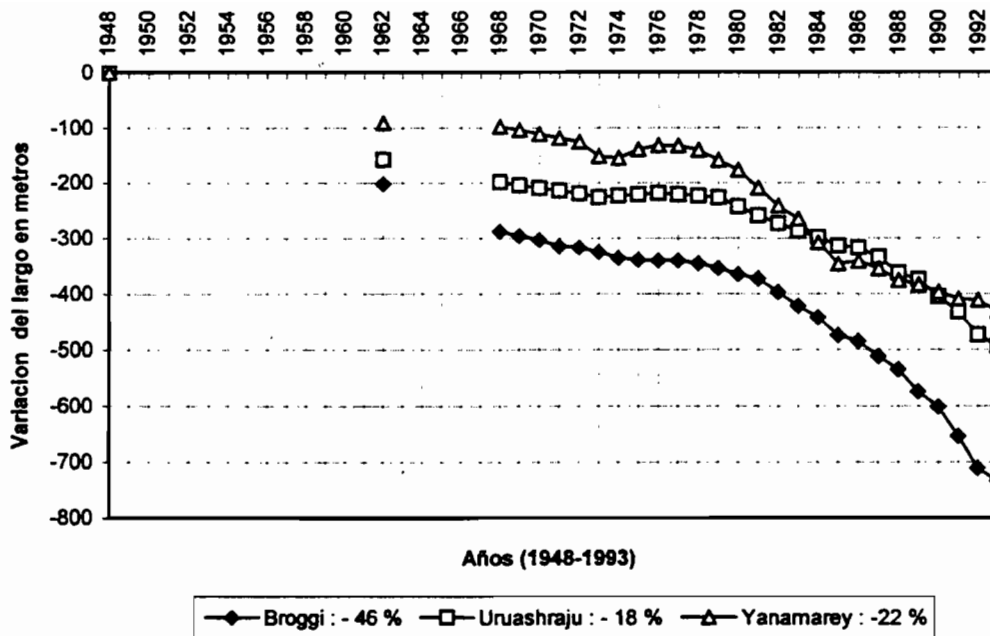


Fig. 2: Fluctuación de los glaciares de la Cordillera Blanca (Perú).
En porcentaje pérdida de longitud desde 1948

Desde 1994, ORSTOM reorienta y completa el sistema de medición para permitir estimar los balances hidrológicos de estos glaciares.

En Ecuador

El glaciar Antisana está siendo equipado desde junio de 1994 para los balances glacio/hidrológicos; los movimientos de los frentes son monitoreados. Otro glaciar en el Cotopaxi acaba de ser equipado, en febrero de 1995, para los balances de masa y las oscilaciones del frente. También se está empezando a hacer un inventario de las fuentes documentales que permita fechar y cuantificar el retroceso de estos glaciares desde hace más de un siglo.

El nuevo proyecto "Andes y Cambios climáticos"

Si bien ya fue posible, para ORSTOM y sus contrapartes nacionales, empezar a equipar en algunos glaciares con esta red de observación, éstos no son suficientes todavía y la red en otras partes no está bastante extendida. El objetivo actual es suplir la insuficiencia actual de los medios materiales y de los recursos humanos ya reunidos.

Por otro lado, el programa y su estapa actual deja aún aparecer algunas lagunas en sus temáticas, sobre todo en lo que concierne a las direcciones de investigación que podrían permitir establecer relaciones entre la dinámica de los glaciares actuales y la comprensión de las

glaciaciones antiguas así como de las paleohidrologías a las que están asociadas.

ORSTOM y diferentes contrapartes europeas acaban de someter un proyecto al Programa "Medio ambiente y Clima" de la Comisión Europea, Dirección General XII: "Ciencia, Investigación y Desarrollo", que fue titulado: "Cambio Climático en los Andes Tropicales: Glaciares, Recursos Hídricos y Riesgos Asociados", abreviando: "Andes y Cambios Climáticos". Las contrapartes europeas, asociadas dentro del marco del proyecto, son las siguientes :

Coordinador:

1) ORSTOM, Departamento de Aguas Continentales (DEC), UR 21, Pierre Ribstein.

Contrapartes :

- 2) CNRS, GDR 0970, "Paléo-2", París Orsay, Françoise Gasse.
- 3) CNRS, LEGGE, Grenoble, Michel Vallon - Louis Reynaud.
- 4) Universidad de Turín, Departamento de Ciencias de la Tierra, Gian Maria Zuppi.
- 5) Universidad de Berne, Instituto de Geografía, Bruno Messerli.
- 6) Universidad de Innsbruck, Departamento de Geografía, Georg Kaser.
- 7) Universidad de Düsseldorf, Departamento de Geografía, Ekkehard Jordan.

Este proyecto es, desde luego, ambicioso más que un simple monitoreo de los glaciares tropicales, se propone continuar y desarrollar las investigaciones ya emprendidas desde hace varios años por ORSTOM y sus diferentes asociados en Chile, en Bolivia, en Perú, en Ecuador y en Colombia sobre algunos hidrosistemas relevantes, testigos de climas pasados y del clima actual. El proyecto preve :

- Equipar cierto número de glaciares tropicales de la Cordillera Real y de la Cordillera Blanca y monitorear sus balances de masa glaciar e hidrológica en relación con las evoluciones climáticas modernas y sobre todo los acontecimientos ENSO.
- Retomar el balance del lago Titicaca, de su cuenca de drenaje y de las capas de su afluente, el Desaguadero, y modelizarlo, e interesarse también en las lagunas y salares norte-chilenas, en los ríos y sistemas de fuentes que los alimentan, modelizando su complejo funcionamiento.
- Analizar los comportamientos paleoclimatológicos de estos mismos hidrosistemas, proponer un sistema basado en una cronología mejorada, apoyándose en la confrontación de los datos existentes, o por producir, del norte y del sur de la región.
- Unir estas tres pistas de investigaciones, glaciológica, hidrogeológica y paleoclimática, a fin de proponer una modelización robusta e intemporal del funcionamiento hidrológico pasado y actual del conjunto de esta región intertropical.

El objetivo final sería entonces intentar de evidenciar y caracterizar las evoluciones climáticas de los 20 últimos millares de años y tratar, para un período reciente, de separar el rol del cambio climático natural del de los efectos antrópicos. Paralelamente, forzando este modelo por las condiciones climáticas resultantes de los modelos de dinámica general del clima, sería posible prever la evolución probable del funcionamiento hidrológico regional y por lo tanto de los recursos hídricos y de los riesgos relacionados con los grandes aparatos glaciares existentes. Enseguida detallaremos únicamente las proposiciones del primer aspecto de estudio glaciares del proyecto.

LA NECESARIA STANDARDIZACION DE LA RED DE MONITOREO GLACIOLOGICO EN LOS ANDES TROPICALES

En efecto, aún queda mucho por hacer para disponer de una red de largo alcance y homogénea en los diferentes países de la zona andina. En los párrafos que siguen está trazado el programa prioritario que debería comenzarse desde el primer año y continuarse en los años que siguen.

En Bolivia

Se trata, en primer lugar, de completar las mediciones hechas en los glaciares de Zongo y de Chacaltaya :

- Estaciones automáticas complementarias que midan las temperaturas del aire, del suelo (en perfil), la radiación, la humedad, el viento, las precipitaciones al pie del Glaciar de Zongo (4770 m) y en el Observatorio de Chacaltaya (5220 m).
- Prospección radar en los dos glaciares, completa para el Glaciar de Chacaltaya.
- Restitución fotogramétrica a partir de fotografías aéreas disponibles (4 desde 1948), en relación con la contraparte alemana, el Departamento de Geografía de la Universidad de Düsseldorf.

Se planea luego la implementación de un seguimiento de los frentes glaciares en 40 glaciares seleccionados en las diversas Cordilleras (Cordilleras Apolobamba, Real, Quimsa Cruz, Occidental), así como continuar realizando las otras mediciones de rutina emprendidas en 1991. Finalmente, ORSTOM seguirá contribuyendo, en la continuación del programa de perforación profunda (# 113 m) en el casquete glaciar en la cima del Volcán Sajama (6545 m), con el equipo del Prof. L.G. Thompson del Byrd Polar Research Center (Ohio University).

En Perú

A pesar de todos los esfuerzos de nuestra contraparte peruana (la Oficina de Recursos Hídricos de Huaraz) por organizar un monitoreo glaciológico en la Cordillera Blanca en relación con la problemática de los riesgos de desborde de los lagos, solamente los dos glaciares antes mencionados, el Uruashraju y el Yanamarey, pudieron ser parcialmente equipados y medidos desde 1977. ORSTOM junto con su contraparte austríaca, el Departamento de Geografía de la Universidad de Innsbruck, desean darle un nuevo impulso a este programa, sobre todo orientando el monitoreo de los glaciares hacia la evaluación de sus reservas hídricas.

La prioridad anunciada actualmente es :

- Equipar los dos glaciares parcialmente monitoreados (Glaciares Yanamarey y Uruashraju) de un dispositivo completo (estaciones hidrológicas río abajo) para determinar el balance de masa y el balance hidrológico.
- Instalar una red completa de estaciones hidrológicas y climatológicas, que sirvan para determinar el balance de energía y modelizar el escurrimiento, en un nuevo glaciar, el Artesonraju, que es un aparato glaciar que presenta un gran interés en el campo del almacenamiento de las aguas (cuena de drenaje del complejo hidroeléctrico de Parón/Cañón del Pato), y también un riesgo cierto a nivel de su lago proglaciar (el Artesoncocha). Este objetivo coincide con el de nuestra contraparte austríaca, que trabaja en el macizo desde algunos años para reconstituir las oscilaciones glaciares de este siglo. Una modelización robusta, fundada en una adquisición de datos sobre varios años, es el único método capaz de prever el futuro de los glaciares en función de una evolución.

posible en el futuro, de las condiciones climáticas bajo estas latitudes.

- Efectuar una restitución fotogramétrica de los tres glaciares Urushraju, Yanamarey y Artesonraju a partir de las fotos aéreas más recientes.

En Ecuador

Asimismo, el interés se ha dirigido muy pronto hacia los glaciares de Ecuador, debido a la particularidad climática de este sector : ya no se observan épocas secas prolongadas, la amplitud térmica estacional es nula, y sin embargo existe una fuerte variabilidad de precipitaciones interanuales que hace importante la contribución de las aguas glaciares en el régimen de los ríos.

Pero este interés se apoya también en las posibles aplicaciones en el campo de los riesgos. Estos últimos están relacionados con la presencia de los glaciares en volcanes activos, situación que representa un peligro permanente de deshielos, generadores de flujos de lavas volcánicas (lahars) en caso de erupción. ORSTOM realizó un primer estudio, desde 1994, de dos volcanes activos cubiertos de nieve, cerca de Quito, el Antisana y el Cotopaxi, con, como contrapartes, EMAAP-Q (Empresa Municipal de Agua Potable de Quito) e INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) con la finalidad de medir el balance de masa de los glaciares.

Se trata entonces de acabar el equipamiento de los glaciares Antisana y Cotopaxi con la instalación de dos estaciones limnimétricas río abajo del primero, y de una estación río abajo del segundo. Debería ser instalada una estación meteorológica completa, para reemplazar la que está fallando del Cotopaxi. Por último, convendría efectuar la restitución fotogramétrica de los glaciares de los dos macizos a partir de las 3 a 4 cubiertas fotográficas existentes.

En Colombia

Las mismas razones nos condujeron a prever la extensión del programa en Colombia, donde nuestra contraparte alemana, el Departamento de Geografía de la Universidad de Düsseldorf, ya echó las bases de un programa glaciológico en relación con el riesgo glaciovolcánico. Es evidente que, en el caso de estos volcanes, tanto en Bolivia como en Ecuador, la estimación de los balances debe redoblar con una medición de los volcanes de hielo presentes. Se contribuiría así, en el marco de una colaboración interdisciplinaria, a mejorar los modelos existentes sobre la dinámica de los lahars.

Esto justifica el interés de dotar a nuestro equipo del medio de prospección geofísico actualmente de mayor alcance en este tipo de terreno, el geo-radar, ya que la prospección entra también en la determinación de los balances de masa de los glaciares y permitiría rápidamente modelizar la evolución del almacenamiento hídrico contenido en los numerosos pequeños glaciares de los Andes, que están en proceso de rápido retroceso.

Se pretende entonces equipar al menos un glaciar tropical situado al Norte del Ecuador, en la Sierra de Cocuy o el Parque de los Volcanes.

Continuación del programa

Después de esta etapa de instalación o de complementos de instalación, se daría la prioridad a una cartografía general de los diferentes sitios de estudio (8 glaciares) a partir de las restituciones aerofotogramétricas realizadas, y a un manejo de rutina de los equipos, apoyándose en la formación de las contrapartes en las diversas técnicas puestas en práctica :

- Monitoreo "estrecho" de rutina de los glaciares observados (mediciones mensuales, registros) :

- . Zongo y Chacaltaya en **Bolivia**,
- . Artesonraju, Uruashraju y Yanamarey en **Perú**,
- . Antisana y Cotopaxi en **Ecuador**,
- . 1 glaciar en **Colombia**.

- Modelos numéricos de terreno en estos glaciares.
- Prospección geofísica (radar).
- Manejo y análisis de estos datos en red por parte de las contrapartes.

Entonces sería posible emprender trabajos de síntesis a escala del conjunto de los Andes Tropicales, que comprenderían :

- . La correlación a nivel del conjunto de los Andes Centrales de los balances glaciológicos e hidrológicos.
- . La modelización de la ablación y del escurrimiento para los Glaciares Zongo y Artesonraju, a través de la calibración y la puesta a punto de los modelos empleados, que permitiría una comparación entre Cordillera Real y Cordillera Blanca.
- . Una reconstitución del conjunto de los balances glaciares a partir de las restituciones fotogramétricas.
- . El aporte de la liquenometría sería utilizado y calibrado para el fechado de las morrenas desde la Pequeña Edad de Hielo.
- . Un estudio de las series climáticas disponibles en los diferentes países (para el (medio) siglo transcurrido), paralelamente con las reconstituciones de los balances glaciares, permitiría una evidenciación de las variables "sensibles" del clima para los glaciares.
- . Debería ser posible una simulación de las variaciones futuras de los glaciares, a partir de los parámetros climáticos proporcionados para las latitudes bajas por los modelos generales sobre dinámica del clima ("inversión" de los modelos).
- . Así, el rol de los glaciares en la hidrología andina y su posible evolución bajo el efecto de un cambio climático, se volvería accesible.

Los resultados del programa podrían servir de base para el lanzamiento de un futuro programa de observación de los glaciares en los Andes centrales, basado en una toma de conciencia de los gobiernos, programa cuya integración habría que asegurar en los programas internacionales como PEP/Américas, WGMS, etc.

CONCLUSION: La utilidad de describir la historia de las oscilaciones de los glaciares andinos desde fines del siglo XIX.

Todavía no se conoce bien la evolución de los glaciares andinos durante el reciente período.

La documentación histórica en abundancia sólo existe en Ecuador desde hace por lo menos dos siglos, y en Perú desde más de medio siglo, pero todos los países cubiertos por el programa tienen una cobertura de fotografías aéreas, renovada con bastante regularidad, desde fines de los años 1940. El método fotogramétrico, utilizado en una muestra de glaciares de los 4 países, comenzando por los glaciares monitoreados, permitiría constituir una base cartográfica de los retrocesos sucesivos y, con modelos numéricos de terreno, evaluar los volúmenes de agua perdidos. A través de la fotogrametría, es posible hoy en día, para glaciares bien conocidos, reconstituir las altitudes de las líneas y también los balances en varios decenios.

Al mismo tiempo, es interesante pensar los datos meteorológicos disponibles en las

estaciones de altura de las redes nacionales, hacer una crítica de éstos y utilizarlos tratando de correlacionarlos a los datos de balance.

Nuestros estudios en curso, en Perú y en Bolivia, mostraron el rol determinante de las temperaturas en la evolución de los glaciares actuales, es importante disponer en el futuro de una red de mediciones fiable y permanente de este parámetro en el aire y en el suelo a gran altura. Dado que las estaciones existentes son generalmente deficientes y de un número reducido, se ha propuesto un programa de instalación de nuevas estaciones o de rehabilitación de las antiguas.

Finalmente, la medición de movimientos de los glaciares en su frente demuestra siempre ser un dato interesante, si se la realiza sobre una buena muestra de individuos, de ahí la proposición de seleccionar unos cuarenta glaciares en los cuales se haría regularmente cada año un posicionamiento preciso del frente. Esta medición es costosa si se la realiza por medio de topografía clásica, pero se vuelve rápida y económica si se la realiza con un posicionamiento a través del sistema GPS, en su versión que ofrece una precisión decimétrica.

En conclusión, el montaje de una red de observación sobre el clima, basado en los dos glaciares tropicales es de gran interés para el conocimiento del clima mundial. Vendría a paliar una falta a nivel de los Trópicos y de todo el hemisferio Sur, asegurando el necesario acoplamiento entre los dos hemisferios. La orientación de la cadena andina permite una comprensión meridiana de las variaciones del clima y de anomalías climáticas reconocidas por su importancia a escala regional y mundial (acontecimientos ENSO). La permanencia de ORSTOM en América del Sur y sus vínculos con contrapartes regionales implicadas en aplicaciones económicas, como a través de este proyecto con los mejores equipos mundiales de glaciología, es una garantía del monitoreo de una red de observación del clima a largo plazo. En su punto de desarrollo actual, esta red de observación de los glaciares andinos sólo puede desarrollarse con recursos complementarios, financieros y humanos, externos a los de las contrapartes ya implicadas.

REFERENCIAS

- Francou B., Ribstein P., Saravia R. y Tiriau E., 1995 : Monthly balance and water discharge of an inter-tropical glacier : Zongo Glacier, Cordillera real, Bolivia, 16°S. *Journal of Glaciology*, 41, 137, : 61-67.
- Hastenrath S. y Kruss P.D., 1992 : The dramatic retreat of Mount Kenya's glaciers between 1963 and 1987 : greenhouse forcing. *Ann. Glaciology*, 16 : 127-133.
- Ribstein P., Tiriau E., Francou B. y Saravia R., 1995 : Tropical climate and glacier hydrology : a case study in Bolivia. *Journal of Hydrology*, 165 : 221-234.
- Thompson L.G., Mosley-Thompson E. y Morales Arnao B., 1984 : El Niño-Southern Oscillation events recorded in the stratigraphy of the tropical Quelccaya ice cap, Peru. *Science*, 226, 4670 : 50-53.
- Thompson L.G., Mosley-Thompson E., Dansgaard W. y Grootes P.M., 1986 : The Little Ice Age as recorded in the stratigraphy of the tropical Quelccaya ice cap. *Science*, 234 : 361-364.