

CONTRIBUCIÓN DEL PROGRAMA “NIEVES Y GLACIARES TROPICALES” (NGT) AL CONOCIMIENTO DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LOS ANDES

Bernard POUYAUD *, *Bernard FRANCOU*, ** *Pierre CHEVALLIER* ***,
Pierre RIBSTEIN ****

Resumen

Los glaciares tropicales son excelentes indicadores de la evolución del clima por su extrema sensibilidad a las variaciones de los parámetros meteorológicos como las temperaturas, la radiación y las precipitaciones, etc. (Pouyaud *et al.*, 1995). Bajo este concepto, han registrado las implicaciones climáticas de los fenómenos El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) y pueden proporcionar valiosas informaciones sobre su frecuencia y su magnitud. Son también objetos hidrológicos, cuyos recursos son aprovechados por las sociedades andinas, susceptibles de evoluciones futuras muy rápidas. El actual retroceso, generalizado y acelerado, de los glaciares de los Andes centrales y sus consecuencias en términos de hidrología o de riesgos naturales, condujeron al ORSTOM y sus contrapartes científicas andinas a lanzar desde 1991 un amplio programa de monitoreo de estos glaciares en el conjunto de los Andes tropicales. Se está haciendo un balance sobre el avance de este programa hasta fines de 1997.

Palabras claves: *Glaciar, Trópicos, Andes, cambio climático, recursos hídricos, riesgos naturales.*

CONTRIBUTION DU PROGRAMME “NEIGES ET GLACIERS TROPICAUX” (NGT) À LA CONNAISSANCE DE LA VARIABILITÉ CLIMATIQUE DANS LES ANDES

Résumé

Les glaciers tropicaux sont d'excellents indicateurs de l'évolution du climat à cause de leur extrême sensibilité aux variations des paramètres météorologiques tels que les températures, la radiation, les précipitations etc... (Pouyaud *et al.*, 1995). Ils ont enregistré les implications climatiques des phénomènes El Niño (ENSO) et ils peuvent donner des informations précieuses

* IRD (ex-ORSTOM), CP 9214 La Paz, Bolivia.

** IRD (ex-ORSTOM), CP 1711.6596 Quito, Ecuador.

*** IRD (ex-ORSTOM), BP 5045, 34032 Montpellier Cedex 1, Francia.

**** IRD (ex-ORSTOM), 213 rue Lafayette, 75 480 Paris Cedex 10, Francia.

sur leur fréquence et leur amplitude. Ce sont aussi des objets hydrologiques et les populations andines exploitent leurs ressources. Ils peuvent évoluer très rapidement. Le recul actuel, accéléré et généralisé des glaciers des Andes centrales a des conséquences hydrologiques et peut constituer des risques naturels. L'ORSTOM et ses partenaires scientifiques andins ont mis en route depuis 1991 un vaste programme de suivi dans l'ensemble des Andes tropicales. On évalue les résultats de ce programme jusqu'à la fin 1997.

Mots-clés : *Glacier, Tropiques, Andes, changement climatique, ressources hydriques, risques naturels.*

CONTRIBUTION OF "SNOW AND GLACIERS IN THE TROPICS" PROGRAMME TO THE KNOWLEDGE OF CLIMATE VARIABILITY IN THE ANDES

Abstract

Glaciers are very sensitive to parameters as temperature, radiation, precipitation, etc... and are excellent indicators of climatic change (Pouyaud *et al.*, 1995). They record climatic forcing induced by El Niño Southern Oscillation (ENSO) events and can bring information about frequency and magnitude of this phenomena. As hydrologic objets, they concern the Andean population because they are susceptible to experiment in the future rapid evolution. The present retreat of glaciers in the Central Andes is widespread and very strong and its consequences on water resources and natural hazards have encouraged ORSTOM and its scientific partners to develop since 1991 a program aiming to monitor these glaciers. We present in this paper a progress report of this program up until the end of 1997.

Key words: *Glacier, Tropics, Andes, climatic change, water resources, natural hazards.*

INTRODUCCIÓN

¿Por qué vigilar el comportamiento de los glaciares tropicales?

La gran sensibilidad de los glaciares a las evoluciones climáticas es conocida desde hace mucho tiempo. Asimismo, las importantes variaciones seculares de los glaciares de las zonas templadas, han sido tempranamente descritas (Le Roy Ladurie, 1983; Ahlman, 1953), y principalmente han permitido la puesta en evidencia de la Pequeña Edad de Hielo en Europa y América del Norte. Los glaciares tropicales, siendo más difícilmente accesibles, eran menos conocidos hasta la publicación de los primeros trabajos sobre los glaciares de África (Hastenrath, 1984) y de los Andes Centrales (Francou *et al.*, 1995a; Ribstein *et al.*, 1995b), demostrando su extrema sensibilidad a las variaciones climáticas cortas, incluyendo la variación interanual.

De tal manera que la zona tropical andina de altura se revela *a priori* como un notable laboratorio natural, que permite seguir las evoluciones climáticas generales:

- A corto plazo, la variabilidad climática del área andina tropical, marcada por los fenómenos ENSO (El Niño Southern Oscillation), puede ser caracterizada a escala anual por el comportamiento de estos glaciares: los episodios ENSO (fase negativa) se manifiestan en altura con una elevación de las temperaturas medias y un descenso de las precipitaciones, que actúan ambas negativamente sobre el balance de los glaciares, acelerando su retroceso.

- A mediano plazo, el aumento previsto de la temperatura atmosférica y oceánica de la cintura tropical, 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 generalización del retroceso glacial (Hastenrath & Kruss, 1992), ya bastante observada durante los fenómenos ENSO (Francou *et al.*, 1995b).

Sin duda, este proceso ya empezó, si nos basamos en la excepcional rapidez de la desglaciación observada en alta montaña tropical, en todo el mundo, desde comienzos de los años 1980 (Hastenrath & Kruss, 1992; Ames & Francou, 1995).

Pero los glaciares tropicales andinos tienen, además, una importancia económica considerable. Sus aguas de deshielo alimentan con agua potable e industrial las principales capitales (La Paz, Quito, Lima) y algunas grandes ciudades andinas. Proporcionan una gran parte de la electricidad consumida por los países andinos. El agua de riego, indispensable sobre todo para la parte pacífica, particularmente árida, es generalmente de origen glaciar. Los glaciares juegan actualmente un papel de gigantescos reservorios, sellando la variabilidad climática infra e interanual.

Finalmente, los glaciares tropicales andinos representan riesgos considerables para las poblaciones que viven en los alrededores: riesgos de avalanchas glaciares, inducidas o no por temblores o erupciones volcánicas; y sobre todo vaciados catastróficos de muchos lagos naturales glaciares de los Andes. Desde hace 50 años, decenas de miles de muertes ocurridas en Bolivia, en Ecuador y sobre todo en Colombia y en el Perú son atribuibles a estos glaciares andinos tropicales (Ames & Francou, 1995).

Desde hace por lo menos dos decenios, los glaciares tropicales andinos están en una intensa fase de retroceso, que va acelerándose. Las reservas hídricas que constituyen los glaciares ya no se estiman como recursos renovables, por lo menos en lo que respecta a los pequeños aparatos glaciares. Su desaparición, o por lo menos su rápida disminución, vendría acompañada con seguridad de modificaciones drásticas del medio ambiente. Los riesgos sobre las poblaciones aumentarían considerablemente, dada la naturaleza inestable de las formaciones glaciares que dominan a veces en muchos miles de metros los valles poblados. Al no jugar el papel de almacenamiento de las precipitaciones, ya no regularían sus flujos y, para disponer todavía de recursos hídricos permanentes y paliar su desaparición, habría que construir grandes represas de regulación para todos los usos del agua, con los riesgos asociados para las poblaciones y el medio ambiente, particularmente en las zonas de fuerte sismicidad.

Por lo tanto, es particularmente importante, al nivel económico y científico, vigilar el comportamiento de los glaciares andinos tropicales, a fin de poder prever su devenir a mediano plazo. Al menos se espera poder prever su desaparición o su reducción para emprender a tiempo la construcción de infraestructuras que, en su momento, los sustituirán.

1. LA RED DE MONITOREO DE LOS GLACIARES TROPICALES ANDINOS

Desde 1991, en el marco del programa NGT (Nieves y Glaciares Tropicales), el ORSTOM con sus contrapartes sudamericanas instaló desde Bolivia (16° Sur) hasta el Ecuador una red de observación integrada de los glaciares (*cf.* Fig. 1) (Pouyaud *et al.*, 1995).

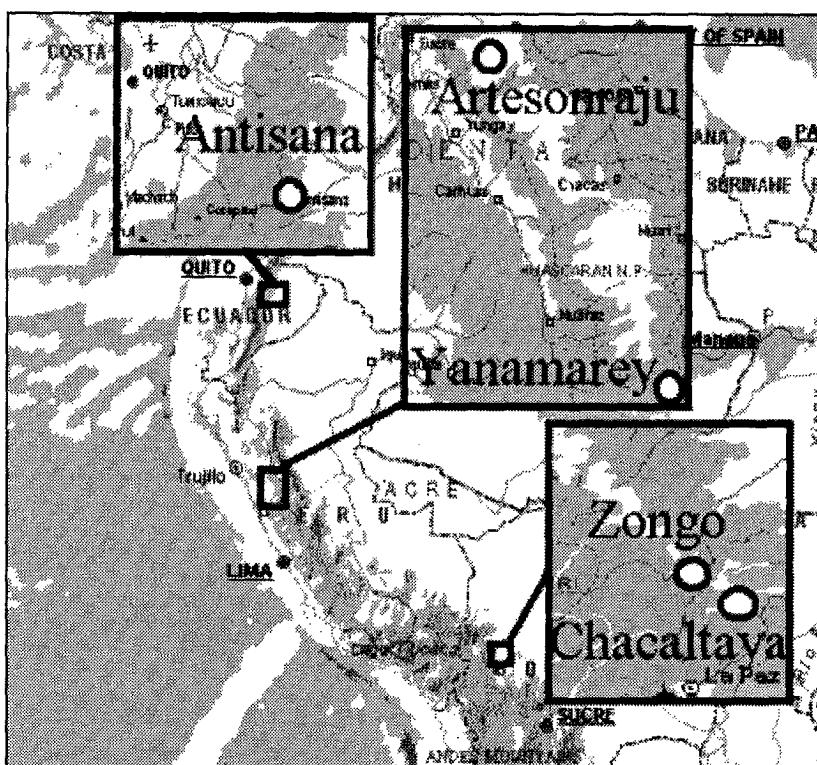


Fig. 1 - Red de monitoreo de los glaciares del ORSTOM en América del Sur.

El objetivo común, denominado “dispositivo standard”, es instalar en algunos glaciares representativos un dispositivo completo para estimar el balance de masa y el balance hídrico. Este comprende:

- una red de balizas de ablación en la zona baja del glaciar;
- un conjunto de pozos de nieve perforados dos veces por año en la zona de acumulación, acompañados de balizas de acumulación;
- una medición topográfica anual de las balizas y el contorno del frente;
- una estación limnigráfica en el torrente emisario del glaciar;
- una red de pluviómetros totalizadores cerca del glaciar hasta la altura de la línea de equilibrio (ELA, a aproximadamente 4 900 a 5 200 m según la latitud);
- estaciones termográficas permanentes situadas cerca de la ELA y a una altura más baja.

Paralelamente, se intenta proveer los medios para trazar la historia reciente de las oscilaciones del frente de los glaciares en estudio, aprovechando los archivos iconográficos (grabados y fotografías oblicuas) y las coberturas de fotografías aéreas, siendo las más

antiguas de 1948. Por medio de topografía en suelo y restitución fotogramétrica, se dibujan mapas de las extensiones glaciares desde hace unos cincuenta años, con cálculo de las superficies y de los volúmenes de agua perdidos.

Si bien los primeros resultados obtenidos con este "dispositivo standard" en los tres países fueron notables, apareció rápidamente una nueva exigencia, si verdaderamente se quería comprender y luego modelar el funcionamiento de los aparatos glaciares. Consistía en llevar a cabo nuevas mediciones que permitirían establecer un balance energético en la superficie del glaciar. Para lo cual convenía medir los perfiles de temperatura del aire y del hielo, de humedad del aire, de las velocidades del viento, así como de las radiaciones neta, global y reflejada. La espacialización de estas mediciones puntuales a escala del glaciar permiten la construcción de un modelo físico de funcionamiento del glaciar, único método que permite una previsión de la ablación y de los regímenes de deshielo. Este trabajo es objeto de una tesis en colaboración con el LGGE de Grenoble. Localmente, en el Glaciar de Zongo en Bolivia, luego en el Glaciar Antisana en Ecuador, el dispositivo meteorológico inicial fue completado con un equipo automático instalado en el mismo glaciar y destinado a medir el balance energético de algunos años completos.

El balance de los equipos establecidos a fines de 1997 se resume en el cuadro 1.

Cuadro 1 - Balance de las instalaciones glaciares realizadas en Bolivia, Perú y Ecuador en 1997.

Glaciares	Red de balizas de ablación	Red de balizas en zonas de acumulación. + snow pits	Topografía de las balizas y del frente	Estación limnigráfica	Pluviómetros (P) y estaciones con termógrafos (T)
Zongo (Bolivia)	X	X	X	X	P-T (XXX)
Chacaltaya (Bolivia)	X	X	X		P (XX)
Artesonraju (Perú)	X	X	X	X	P
Yanamarey (Perú)	X	X	X		P-T
Antisana (Ecuador)	X	X	X	X	P-T (XXX)
Cotopaxi (Ecuador)	X				P-T

(XX): Datos de más de 20 años

(XXX): Mediciones del balance energético en el glaciar

En los párrafos que siguen se proporcionan indicaciones más precisas sobre las contrapartes y los equipos existentes en cada país.

1. 1. En Bolivia

Se eligieron dos primeros glaciares representativos en la Cordillera Real (16° Sur) cerca de La Paz, los glaciares de Zongo (6 000 m) y de Chacaltaya (5 400 m) con, como contrapartes locales, la Compañía Boliviana de Energía Eléctrica (COBEE) por una parte, el Instituto de Hidráulica e Hidrología (IHH) de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) por otra parte. Dichos glaciares fueron rápidamente equipados con un dispositivo permanente que permite estimar el balance de masa (balizas implantadas en las zonas de acumulación y de ablación) y el balance hidrológico (estaciones de medición de regímenes líquidos que fluyen más abajo del glaciar y red de pluviógrafos y pluviómetros/nivómetros totalizadores). La velocidad superficial del glaciar y las oscilaciones de su frente son monitoreadas anualmente por medio de topografía en suelo. Además, los principales parámetros meteorológicos (temperaturas) son registrados o anotados según una periodicidad mensual en o cerca de los glaciares.

Este dispositivo, que constituye el “dispositivo standard” de observación que permite establecer los balances indispensables, glaciares e hidrológicos es, desde 1993, localmente complementado en el Glaciar de Zongo por un dispositivo de micro meteorología que comprende 2 estaciones meteorológicas completas, con anemómetros, balancímetros, termómetros e higrómetros con ventilación, una sonda de nieve que funciona por ultrasonido, etc., a 5 150 m y 5 550 m, y estaciones itinerantes episódicas, durante algunos meses, entre 4 900 m y 5 550 m. Las primeras estaciones meteorológicas clásicas en la Plataforma COBEE (4 800 m) y en la morrena oeste (5 200 m) se han visto de esta manera considerablemente reforzados.

En 1995, finalmente, se instaló una estación hidrológica que controla los flujos del Glaciar de Charquini, situado frente al Glaciar Zongo en condiciones de exposición opuestas, a fin de caracterizar el funcionamiento de cuencas de drenaje con coberturas glaciares variables de la Cordillera Real de Bolivia.

1. 2. En el Perú

Mucho antes de comenzar el programa NGT, los balances, en la zona de ablación, de los glaciares de Yanamarey y Uruashraju en la Cordillera Blanca, eran medidos de manera continua desde 1977 por la Oficina de Recursos Hídricos de Huaraz. Hoy en día, sus frentes y sus velocidades superficiales son monitoreados 2 veces por año, y los datos climáticos son anotados a menos de 10 kilómetros. Desde 1994, con su contraparte peruana, el ORSTOM ha reorientado y completado el sistema de medición, principalmente con la instrumentación de un nuevo glaciar, el Artesonraju, con la instalación de una red de balizas, de mediciones de acumulación, de pluviómetros totalizadores y de una estación hidrológica en la desembocadura de la laguna Artesoncocha.

1. 3. En Ecuador

Uno de los glaciares del volcán Antisana fue equipado, a partir de junio de 1994, gracias a la cooperación de la Empresa Municipal de Alcantarillado y Agua Potable de Quito (EMAAP-Quito), para el balance glaciológico, con un seguimiento de los movimientos de los frentes y de una red de balizas, y desde marzo de 1996 para el balance hidrológico con la instalación de una estación hidrológica y de una red de totalizadores (Sémiond & de la Cruz, 1997; Sémiond *et al.*, 1997). En febrero de 1995, fue equipado otro glaciar en el Cotopaxi, con la cooperación de la Escuela Politécnica Nacional (EPN), para los balances de masa y las oscilaciones del frente. Un inventario de las fuentes documentales, el cual permite fechar y cuantificar el retroceso de estos glaciares desde hace más de un siglo, particularmente notable en este país, también acaba de ser emprendido.

En el Glaciar 15 del Antisana (o Antillana), a 5 100 m de altura, desde fines de 1996, el ORSTOM instaló una estación meteorológica completa (análoga a las de Bolivia), con el fin de permitir el enfoque del balance energético del glaciar.

Una perforación de 13 m en la cima del Antisana (5 750 msnm) en enero de 1996 demuestra la posibilidad de practicar una perforación profunda análoga a la de junio y julio de 1997 en el Sajama (Sémiond *et al.*, 1997).

2. LOS RESULTADOS OBTENIDOS DESDE 1991

Desde 1993, se han publicado en Bolivia informes anuales de campaña, reuniendo todos los datos glaciológicos, hidrológicos y energéticos del funcionamiento del Glaciar Zongo (Rigaudière *et al.*, 1995a; Wagnon *et al.*, 1995; Berton *et al.*, 1997), así como informes técnicos particulares, haciendo referencia, por ejemplo, a la modelización del glaciar (Rigaudière *et al.*, 1995b; Ribstein *et al.*, 1995a).

Un informe referente al conjunto de datos disponibles en el Glaciar Chacaltaya (Francou *et al.*, 1998) acaba de ser publicado. En el Perú, la tesis defendida por Willy Tamayo hace un análisis parcial de los datos obtenidos en los glaciares peruanos (Tamayo, 1996). Finalmente, en Ecuador, acaba de ser publicado un primer informe sobre los datos glaciológicos e hidrológicos del Glaciar 15 del Antisana (Sémiond *et al.*, 1997). La recopilación de estos datos de base permitió la elaboración de muchos resultados sintéticos publicados en revistas internacionales o en coloquios (ver la bibliografía del programa NGT en anexo) y particularmente en este seminario de Quito, en la conferencia de Francou y Sémiond en cuanto al glaciar Antisana de Ecuador, y de Francou y Ramírez en cuanto al glaciar Chacaltaya de Bolivia. El Seminario “*Aguas, Glaciares y Cambios Climáticos en los Andes Tropicales*”, llevado a cabo en junio de 1995 en La Paz, fue ocasión de una primera presentación de los resultados del programa NGT (Ribstein *et al.* [ed.], 1995), así como el coloquio internacional de Antofagasta “*Recurso agua en los Andes - Su gestión en la segunda región de Chile*” de junio de 1997.

En los tres países donde se monitorean glaciares, los primeros resultados evidencian un comportamiento diferente de los glaciares tropicales, en relación con los glaciares de alturas medias, caracterizado por una fuerte variabilidad de los balances de un año a otro, y un retroceso importante de las superficies glaciares, sobre todo desde comienzos de los años 1980.

La decisión de hacer una lectura mensual de balances sobre algunos glaciares (Zongo, Chacaltaya y Antisana) ha mostrado por primera vez cómo se reparte la ablación a lo largo del año. Ella pone de manifiesto la importancia de los meses de septiembre a diciembre, meses de verano antes de las precipitaciones, así como el papel de la variabilidad de las precipitaciones durante los meses más húmedos, enero-marzo. Esto se debe a la gran cantidad de energía disponible en este período del año, y al nivel elevado de las temperaturas y de la humedad que permite que el deshielo se produzca hasta una altura elevada.

Por otro lado, la irregularidad de las precipitaciones y la reducción del número de días de las precipitaciones en época húmeda, es un factor determinante que explica los balances negativos obtenidos en fase negativa ENSO (El Niño Southern Oscillation). En efecto, la variabilidad de los balances obtenidos sobre los glaciares es fuertemente controlada por los episodios ENSO/anti ENSO (El Niño/La Niña), particularmente en Bolivia y en el Perú. A las perturbaciones del régimen de las lluvias se agrega el hecho de que las temperaturas máximas y mínimas son siempre más elevadas en período ENSO en altura, con diferencias en la media, consistiendo en 1 a 2 desviaciones standard. En más de 15 años de datos obtenidos sobre la zona de ablación de 2 glaciares, en el Perú, se mostró que el balance de los glaciares es sistemáticamente negativo durante los eventos ENSO (Francou *et al.*, 1995b).

La aceleración del retroceso de los glaciares desde comienzos de los años 1980, observado en otras partes del mundo, es particularmente nítida bajo los Trópicos andinos, tanto en el Perú como en Bolivia, con velocidades 3 a 5 veces superiores que durante los tres decenios anteriores. Este retroceso generalizado de todos los glaciares andinos puede conducir a la desaparición rápida de los más pequeños durante los próximos decenios, con todas las consecuencias previsibles en términos de recursos hídricos, de baja de los potenciales hidroeléctricos y de riesgos para las poblaciones.

En Bolivia, el equipo instalado permite realizar balances glaciológicos precisos de los glaciares Zongo y Chacaltaya durante los últimos años. Las diferentes posiciones de los frentes son accesibles desde hace 50 años (Ramírez & Francou, 1997; Francou *et al.*, 1998). Los resultados de las mediciones de balance de estos 2 glaciares responden a las normas mundiales y actualmente son publicados de manera regular por el *World Glacier Monitoring Service* (Glacier Mass Balance Bulletin; IAHS/ICSI). En cuanto al glaciar Zongo, los archivos hidrológicos de la COBEE han permitido reconstruir el balance del glaciar en los dos primeros decenios, poniendo de manifiesto la influencia de los eventos ENSO (Ribstein *et al.*, 1995b; 1995c). El mismo trabajo se emprendió con los flujos que provienen de la cuenca del Charquini, claramente menos glaciar, con resultados muy contrastados (Tamayo, 1996).

En 1996, fue puesto a punto un primer programa de modelización hidrológica, relativamente robusto, del Glaciar Zongo, a partir del balance energético (Rigaudière *et al.*, 1995b). Con los resultados esperados de las nuevas estaciones instaladas a diferentes alturas en el Glaciar Zongo y las nuevas mediciones puntuales itinerantes que se hicieron, se está elaborando un nuevo modelo, con el cual se espera poder explicar mejor la temporalidad de los regímenes, apreciar el papel de la sublimación en la

ablación y precisar la influencia del factor humedad, que conduce a creer que podría ser mayor en el retroceso acelerado actual de los glaciares bajo esas latitudes, como fue demostrado en Kenia en el Glaciar Lewis (Hastenrath & Kruss, 1992).

Finalmente, cierto número de perforaciones, en los más altos casquitos de las cumbres de los glaciares de estos tres países, ya han proporcionado interesantes informaciones, por medio de los análisis isotópicos de los testigos de nieve extraídos, sobre la abundancia de las precipitaciones de los últimos decenios y también han puesto en evidencia la influencia de los eventos ENSO (Wagnon *et al.*, 1995). En junio y julio de 1997, el ORSTOM participó en Bolivia en la perforación de tres testigos (49, 144 y 150 m) en la cima del volcán Sajama (6 545 m) realizada por el equipo norteamericano de L. G. Thompson. La reconstrucción de las variaciones climáticas de los últimos 15 a 20 000 años será probablemente posible (puesto que las muestras fueron, por primera vez en zona tropical, llevadas al laboratorio en forma sólida), completando los resultados obtenidos por este mismo equipo en el casquete glaciar de Quelccaya y en el Huascarán en el Perú (Thompson, 1995).

En el análisis de estos testigos, el ORSTOM y sus contrapartes pretenden implicarse particularmente en el reconocimiento y la caracterización de los eventos ENSO de los últimos siglos, a fin de particularmente evidenciar la Pequeña Edad de Hielo en esta parte del mundo.

3. CONCLUSIÓN

3. 1. El futuro del programa NGT

Los ejes prioritarios del programa NGT en los años venideros serán desarrollados en el marco de una nueva Unidad de Investigación “*Variabilidad climática Tropical y sus consecuencias regionales*” de un nuevo departamento del ORSTOM: consistirá en comprender mejor el funcionamiento de los hielos y de los glaciares tropicales, a fin de poder prever escenarios de evolución realistas de estos glaciares y de su hidrología en función de datos proporcionados por los modelos de previsión del clima para el próximo siglo.

Para alcanzar este objetivo, es necesario completar la red que permite obtener los balances de masa y los balances hidrológicos en los glaciares de Bolivia, Perú y Ecuador, y garantizar un manejo de rutina. Paralelamente al manejo integrado de esta red, en la cual la contraparte local debe jugar un papel esencial, es necesario afinar la modelización del Glaciar Zongo en Bolivia y luego probar los modelos hidrológicos elaborados en otros glaciares, primero en Ecuador y después en el Perú. Conocer la parte real de las aguas glaciares a nivel de las altas cuencas de drenaje andinas y saber cuál puede ser su futura evolución en la hipótesis, probable, de una fuerte reducción, incluso de una desaparición total de las superficies cubiertas de hielo, es el objetivo prioritario del programa. Para ello, una modelización completa del funcionamiento hidrológico del valle del río Zongo, de alrededor de 500 km², acaba de ser emprendida bajo la dirección de Pierre Chevallier, del Laboratorio de Hidrología de Montpellier. Esta porción de valle, para la cual disponemos de datos históricos desde 1971, gracias a la COBEE, comprende en la parte alta un funcionamiento hidrológico esencialmente glaciar, y en

la baja, un funcionamiento mixto (nieves y lluvias). Una buena modelización actual del funcionamiento del valle del río Zongo permitirá, después de activar por medio de modelos climatológicos de circulación general, predecir el comportamiento hidrológico futuro (menos glaciar y más nivo pluvial) del valle según diferentes hipótesis de cambio climático global. Este primer enfoque debería extenderse a otras situaciones comparables, en el Perú y en Ecuador.

Como objetivo secundario, nos orientamos hacia un estudio de la evolución de estos glaciares en la historia, concentrándonos en el período transcurrido desde el final de la Pequeña Edad de Hielo, que tendemos a fijar en los Andes centrales al final del último siglo. Se intentará de esta manera comprender si hubo paralelismo estricto con las tendencias registradas en los glaciares extratropicales durante el siglo XX, y evaluar qué papel juegan las fases negativas del ENSO, especialmente las de larga duración (comienzo de los años 1940, comienzo de los años 1990) en esta evolución. La conferencia de Pierre Ribstein en este seminario es una nueva contribución para esta temática. Para ello, la utilización de los instrumentos clásicos (datación de morrenas, utilización de archivos, cartografía de extensiones pasadas por restitución fotogramétrica, modelización *in fine* de los glaciares) debe ir a la par con el estudio de los archivos del clima hecho a partir de la extracción de testigos profundos. En este sentido es que hay que comprender la participación de nuestro equipo en operaciones previstas en los Andes centrales para los próximos años por el Byrd Polar Research Center, dirigidas por L.G. Thompson.

Otros objetivos glaciares, presentes en las zonas áridas, cuyo papel en la hidrología andina es aún casi completamente desconocido, merece un estudio específico. NGT considera, con el impulso de una primera evaluación de los recursos hídricos realizada en la parte más árida de los Andes, lanzar un estudio de las formas del permafrost de alta montaña rica en hielo, comúnmente llamadas glaciares de escombros (*rock glaciers*). El desarrollo de este nuevo eje, pero formando parte siempre de los objetivos de NGT (estudio de objetivos hidrológicos propios de la alta montaña tropical frente a una posible evolución rápida del clima en el sentido del recalentamiento) podría facilitarse con la participación del ORSTOM en un programa PEP1 (Pole-Equator-Pole, americano) sobre la evolución de los permafrost de montaña, financiado por el IAI (*Inter American Institute*).

Referencias citadas

- AHLMAN, H.W., 1953 - Glacier variations and climatic fluctuations. *American Geographical Society*, : ;New York.
- AMES, A. & FRANCOU, B., 1995 - Cordillera Blanca, Perú. Glaciares en la Historia. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 24(1): 37-64.
- BERTON, P., WAGNON, P., FRANCOU, B., POUYAUD, B. & BALDIVIESO MONTAÑO, H., 1997 - Mesures météorologiques, hydrologiques et glaciologiques sur le glacier de Zongo, année hydrologique 1995-96, 119p.; La Paz: ORSTOM, rapport de campagne.
- FRANCOU, B., RIBSTEIN, P., SARAVIA, R. & TIRIAU, E., 1995a - Monthly balance and water discharge of an inter-tropical glacier: Zongo Glacier, Cordillera Real, Bolivia, 16°S. *J. Glaciol.*, 42(137): 61-68.

- FRANCOU, B., RIBSTEIN, P., SÉMIOND, H., PORTOCARRERO, H. & RODRIGUEZ, A., 1995b - Balances, glaciares y clima en Bolivia y Perú. Impacto de los eventos ENSO. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, **24(3)**: 697-706. Bulletin thématique: "Eaux, glaciers et changements climatiques dans les Andes Tropicales" (Ribstein, P. & Francou, B., ed.). Seminario internacional, 13-16 de junio de 1995, La Paz (Bolivia).
- FRANCOU, B., RIBSTEIN, P. & POUYAUD, B., 1997 - La fonte des glaciers tropicaux. *La Recherche*, N° 302, octobre; Paris.
- FRANCOU, B., MENDOZA, J., GUERECA, J., MIRANDA, G., NORIEGA & RAMÍREZ, E., 1998 - Glaciar de Chacaltaya (Cordillera Real, Bolivia). Investigaciones glaciológicas (1991-1997); La Paz: ORSTOM, Informe NGT.
- HASTENRATH, S., 1984 - *The glaciers of equatorial East Africa*, Boston, Lancaster: Reidel Publishing Co., Dordrecht, D.
- HASTENRATH, S. & KRUSS, P.D., 1992 - The dramatic retreat of Mount Kenya's glaciers 1963-87: greenhouse forcing. *Annals Glaciology*, **16**: 127-133.
- LE ROY LADURIE, E., 1983 - *Histoire du climat depuis l'an mil* (2 vol.), 287+257p., Flammarion, coll. Champs.
- POUYAUD, B., FRANCOU, B., & RIBSTEIN, P., 1995 - Un réseau d'observation des glaciers dans les Andes tropicales. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, **24(3)**: 707-714. Bulletin thématique: "Eaux, glaciers et changements climatiques dans les Andes Tropicales" (Ribstein, P. & Francou, B., ed.). Seminario internacional, 13-16 de junio de 1995, La Paz (Bolivia).
- RAMÍREZ, E. & FRANCOU, B., 1997 - El glaciar de Chacaltaya (Bolivia): tendencia del balance de masa y retroceso medido desde 1940. in: *Montañas, glaciares y cambios climáticos. Memorias del Encuentro Científico de Quito* (Galaraga, R. & Ibarra, B., Ed.): 63-73; Quito: EPS-ORSTOM-FUNDACYT (28 octubre - 1 noviembre 1996).
- RIBSTEIN, P., FRANCOU, B., RIGAUDIÈRE, P. & SARAVIA, R., 1995a - Variabilidad climática y modelización hidrológica del Glaciar de Zongo, Bolivia. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, **24(3)**: 639-649. Bulletin thématique: "Eaux, glaciers et changements climatiques dans les Andes Tropicales" (Ribstein, P. & Francou, B., ed.). Seminario internacional, 13-16 de junio de 1995, La Paz (Bolivia).
- RIBSTEIN, P., TIRIAU, E., FRANCOU, B. & SARAVIA, R., 1995b - Tropical climate and glacier hydrology: a case study in Bolivia. *J. Hydrol.*, **165**: 221-234.
- RIBSTEIN, P., FRANCOU, B., COUDRAIN-RIBSTEIN, A. & MOURGUIART, P. (ed.), 1995 - Eaux, glaciers et changements climatiques dans les Andes Tropicales. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, **24(3)**: 714p.; Lima: IFEA. Seminario internacional, 13-16 de junio de 1995, La Paz (Bolivia).
- RIGAUDIÈRE, P., RIBSTEIN, P., FRANCOU, B., POUYAUD, B. & SARAVIA, R., 1995a - Mesures météorologiques, hydrologiques et glaciologiques sur le glacier Zongo. *Année hydrologique 1993-1994*, 69p.; La Paz (Bolivia): ORSTOM.
- RIGAUDIÈRE, P., RIBSTEIN, P., FRANCOU, B., POUYAUD, B. & SARAVIA, R., 1995b - Un modèle hydrologique du Glacier Zongo, 90p.; La Paz - Bolivia: ORSTOM, informe ORSTOM Bolivie.
- SÉMIOND, H. & DE LA CRUZ, A., 1997 - La red de monitoreo glacio-hidrológico en el Ecuador: investigación fundamental y aplicaciones. in: *Montañas, glaciares y cambios climáticos. Memorias del Encuentro Científico de Quito* (Galaraga, R. & Ibarra, B., Ed.): 53-62; Quito: EPS-ORSTOM-FUNDACYT (28 octubre - 1 noviembre 1996).
- SÉMIOND, H., FRANCOU, B., AYABACA, E., DE LA CRUZ, A. & CHANGO, R., 1997 - El Glaciar 15 del Antizana. Investigaciones glaciológicas 1994-1997, 95p.; Quito: ORSTOM, informe NGT.

- TAMAYO, W., 1996 - Influencia de los glaciares en el comportamiento hidrológico de cuencas de alta montaña, estudio de casos en Perú y Bolivia. Memoria, Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Ancash "Santiago Antunez de Mayolo", Huaraz, Perú, 151p.
- THOMPSON, L.G., 1995 - Late Holocene ice core records of climate and environment from the Tropical Andes, Perú. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 24(3): 619-629. Bulletin thématique: "Eaux, glaciers et changements climatiques dans les Andes Tropicales" (Ribstein, P. & Francou, B., ed.). Seminario internacional, 13-16 de junio de 1995, La Paz (Bolivia).
- WAGNON, P., RIBSTEIN, P., FRANCOU, B., POUYAUD, B. & VALDIVIESO, H., 1995 - Mesures météorologiques, hydrologiques et glaciologiques sur le Glacier Zongo. Année hydrologique 1994-1995, 82p.; La Paz: ORSTOM, informe n° 49.

1998

BULLETIN

de l'INSTITUT FRANÇAIS
d'ÉTUDES ANDINES

Tome 27
N° 3



*Variations climatiques et ressources en eau
en Amérique du Sud: Importance et
conséquences des événements
El Niño*

COLOMBIE
ÉQUATEUR
PÉROU
BOLIVIE



Institut de recherche
pour le développement

CINQUANTENAIRE
1948
1998

IFEA