

### **3. Contribución al proyecto:**

#### **PLIO-CUATERNARIO DE BOLIVIA**

##### **INFORME FINAL**

**Jaime ARGOLLO**  
**Responsable del Proyecto**

**Philippe MOURGUIART**  
**Co-responsable del Proyecto**

Las actividades de investigación iniciadas el año 1974 en el marco del Convenio UMSA-ORSTOM, a través del Instituto de Geodinámica y Limnología, dependiente en principio de la Facultad de Ciencias Puras y Naturales (hasta 1982) y posteriormente de la Facultad de Ciencias Geológicas de la UMSA, han contribuido al conocimiento de la geología del Cuaternario de Bolivia y de los recursos asociados a los mismos.

El presente informe no corresponde a la totalidad de las actividades de investigación llevadas a cabo desde el inicio del proyecto, ya que nuestra participación efectiva en el Instituto de Geodinámica y Limnología comienza a partir del año 1983 (J. Argollo) y 1984 (Ph. Mourguiart). Por lo que solamente presentamos una síntesis de las actividades de investigación posteriores a 1983, referentes a los sitios estudiados, materiales estudiados, metodologías empleadas, algunos resultados generales, y las nuevas tendencias de investigación.

Los resultados científicos han sido publicados en diferentes medios de difusión científica nacional e internacional en forma periódica. Ha sido escrito un libro en ocasión del año sabático de J. Argollo, el cual será finalmente publicado en los próximos meses.

El convenio UMSA-ORSTOM ha permitido además la formación de estudiantes y profesionales bolivianos y franceses, a través de la elaboración de tesis de grado, tesis de doctorado, cursos de especialización, etcétera.

#### **EL PROYECTO CUATERNARIO DE BOLIVIA (1974-1983)**

El estudio general de las formaciones cuaternarias de Bolivia fue iniciado en el año 1974 con la creación del Instituto de Geodinámica y Limnología de la UMSA, en el marco del convenio UMSA-ORSTOM. La geología del Cuaternario de Bolivia, poco estudiada hasta entonces, recibió un impulso muy importante con los trabajos del Dr. M. Servant (investigador ORSTOM), permitiendo caracterizar la geodinámica reciente de los Andes bolivianos, a través de estudios geomorfológicos, sedimentológicos, paleoecológicos, geoquímicos y neotectónicos.

La importancia económica de estos depósitos, determinada por su vasta extensión, impuso por sí misma el establecimiento de conocimientos de base, por

ejemplo: las cuencas evaporíticas del salar de Uyuni, mineralización en depósitos aluviales del río Suches y depósitos glaciares de la Cordillera Real, así como suelos y paleosuelos de la región de Cochabamba y Altiplano Norte. Conocimientos que permitieron la implementación de futuros proyectos relacionados con la mineralización en depósitos recientes.

Por otra parte, la fuerte actividad tectónica de los Andes en esta época, acompañada de grandes variaciones climáticas, poco o nada estudiados todavía, fueron también objeto de investigación.

Los resultados de estas investigaciones están traducidos en publicaciones científicas en revistas nacionales e internacionales, libros, tesis, etcétera.

## **EL PROYECTO PLIO CUATERNARIO DE BOLIVIA (1984-1995)**

En base a las investigaciones geológicas, geoquímicas y biológicas anteriores realizadas por un equipo boliviano-francés (UMSA y ORSTOM) sobre el conjunto del Plio-Cuaternario (medios lacustres, medios evaporíticos, medios glaciares y fluviales), el proyecto Plio-Cuaternario de Bolivia ha sido replanteado en sus alcances y objetivos el año 1984.

Precisamente cuando la comunidad científica mundial emprendía un esfuerzo sin precedentes para coordinar las investigaciones iniciadas sobre los cambios climáticos y más concretamente sobre el funcionamiento del sistema planetario, este gran esfuerzo comienza con el lanzamiento del **Programa Internacional Geosfera Biosfera (IGBP)**, siendo uno de los principales proyectos **Cambios Globales del Pasado**, cuyo estudio se centra en el último gran ciclo climático (150 000 años).

Los últimos cambios mayores, registrados a escala del globo, fueron focalizados sobre el estudio de los 20 000 últimos años, revelando que:

- a los 18 000 años AP (Antes del Presente), un máximo de extensión de los hielos continentales indica una perturbación mayor del ciclo del agua en el planeta;
- entre los 15 000 y 10 000 años AP, una elevación de la temperatura estuvo asociada a un aumento de los tenores en gases de efecto invernadero de la atmósfera;
- entre 10 000 años AP y el período actual, un máximo recalentamiento (+1 a 2°C) es observado en la globalidad del hemisferio Norte.

En 1984, el insuficiente conocimiento de los medios en latitudes tropicales del Sud no permitía establecer las interacciones entre el hemisferio Norte y el hemisferio Sur de la dinámica del clima tropical a escalas largas.

Todas las observaciones realizadas en medio tropical se limitaron a descripciones cualitativas y a la medida de ciertos indicadores (niveles lacustres, polen en sedimentos, etc.) sin ningún soporte estadístico. Existían limitaciones más marcadas a nivel de indicadores geoquímicos y sedimentológicos, particularmente sobre los medios actuales.

La posición geográfica de Bolivia y los resultados previamente alcanzados justificaron el replanteamiento del proyecto Plio-Cuaternario de Bolivia.

## MOTIVACION CIENTIFICA DEL PROYECTO

El proyecto estaba focalizado en el estudio de algunas regiones todavía poco estudiadas a nivel general y particularmente en el estudio paleoclimático en base a las siguientes preguntas científicas:

- ¿Cuáles fueron los cambios mayores durante el último máximo glacial y el período interglacial actual?
- ¿Cuáles han sido los cambios mayores durante el mismo período de los ambientes en latitudes tropicales del continente Sud americano en alta y baja altitud?
- ¿Cómo evaluar cuantitativamente los parámetros lacustres (niveles lacustres, salinidad, temperatura, etc.) que han podido registrar las modificaciones del clima?

## CONDICIONES DE EJECUCION

El proyecto Plio-Cuaternario de Bolivia fue coordinado por el Instituto de Geodinámica y Limnología hasta 1992; posteriormente, pasó a ser una unidad de investigación del Instituto de Investigaciones Geológicas de la Facultad de Ciencias Geológicas de la UMSA, siempre en el marco del convenio UMSA-ORSTOM.

El Instituto de Geodinámica y Limnología y posteriormente el Instituto de Investigaciones Geológicas han realizado la mayor parte de los trabajos de campo y la recolección de muestras. Mientras que la mayor parte de los análisis sedimentológicos, geoquímicos, micropaleontológicos y dataciones por radiocarbono se realizaron en los laboratorios de ORSTOM, Bondy, Francia.

Durante el desarrollo del proyecto, se realizó una serie de reuniones de coordinación de trabajo, agrupando a los participantes franceses, bolivianos y otros investigadores que participaron en la ejecución del proyecto.

Al margen del aporte al conocimiento de la evolución de los ambientes cuaternarios y del hombre, las acciones del proyecto estuvieron también dirigidas hacia tres actividades prioritarias:

- 1) Formación de personal,
- 2) Inserción de los investigadores nacionales en grandes programas internacionales (PICG de la UNESCO, INQUA, IGBP, etc.),
- 3) Organización de seminarios científicos internacionales.

## REGIONES Y MATERIAL DE ESTUDIO

El proyecto Plio-Cuaternario se realizó en diferentes sitios repartidos sobre un gradiente climático actual Norte-Sud, donde las precipitaciones son de 800 mm/año al Norte (cuenca del Lago Titicaca) y 100 mm/año al Sur (cuencas de Uyuni y Coipasa). Estos sitios corresponden a estas dos cuencas.

**Sedimentación lacustre** - En la cuenca lacustre del Titicaca, las perforaciones de poca profundidad realizadas en un principio indicaron variaciones importantes del nivel de las aguas (Vargas, tesis, 1981). Una nueva campaña de perforaciones (1984) permitió obtener una decena de testigos a diferentes profundidades (entre 5 y 60 metros

aproximadamente). Dos de estos testigos han sido estudiados de manera exhaustiva (TD y TD1 de aproximadamente 25 000 años en la base). Los otros han sido analizados de manera menos completa, referentes a: análisis sedimentológicos, estudios de ostrácodos, palinología, diatomeas y sedimentación reciente por el método del Plomo 210.

En las cuencas de Uyuni y Coipasa, los primeros reconocimientos efectuados en los años 70 (Servant & Fontes, 1978) han sido completados por el proyecto, particularmente en el curso de los últimos años; el estudio de la cuenca, se ha retomado en los sitios de Coipasa y Tauca (borde Sud del salar de Coipasa), Churacari y Negrojahuira (borde norte del salar de Uyuni). En todos estos sitios se estudiaron las terrazas ligadas a altos niveles lacustres cuaternarios.

**Sedimentación fluvial** - Numerosos sitios han sido objeto de un levantamiento geológico detallado, con el objeto de precisar la relación entre los flancos y los sedimentos del fondo de los valles, en el Altiplano, en algunos valles (de Cochabamba, Potosí y Santa Cruz) y en las Cordilleras (Oriental y Occidental).

Algunos de ellos han sido objeto de estudios detallados en el laboratorio: Chuquiaguillo, Sorechata, Chiarjahuira, Jichhu Kota en la región de La Paz, Alianza en la región del salar de Uyuni.

**Actividad glaciar** - Se ha realizado un esfuerzo en la prospección y la cartografía de un gran número de valles glaciares en las Cordilleras Oriental (Apolobamba, Muñecas, Real, Tres Cruces, Tunari, Tiraque) y Occidental (Azanaques, Tunupa, Tata Sabaya).

Paralelamente, se ha prospectado un número considerable de valles glaciares a fin de obtener elementos de datación de las morrenas, a través de perforaciones o levantamiento de columnas geológicas.

Igualmente, los lagos de los valles glaciares y las turberas, situados a diferentes alturas, han merecido un estudio detallado, particularmente en el valle de Jichhu Kota, donde se han efectuado varias perforaciones.

**Sedimentación actual** - A fin de establecer una calibración de los indicadores ecológicos, se realizaron una serie de campañas para recolectar sedimentos actuales en función de las diferentes especialidades:

1. Ha sido efectuado un muestreo para el estudio de diatomeas en las siguientes regiones:

- en el valle glaciar de Jichhu Kota con el objeto de establecer la relación diatomeas/altitud;
- en Sud Lipez, con el objeto de estudiar la relación diatomeas/salinidad.

2. Se ha realizado un muestreo para el estudio de ostrácodos a diferentes profundidades del Lago Titicaca, igualmente en los lagos salados del Sud del Altiplano, con el objetivo de estudiar la relación ostrácodos/batimetría y ostrácodos/salinidad.

3. Se efectuó un muestreo para el estudio de polen en los valles glaciares de Jichhu Kota y en los lagos Titicaca y Poopó, con el objetivo de conocer mejor la

distribución de polen en función de la altura y en función de la distancia respecto a la línea de costa.

4. Se llevaron a cabo muestreos botánicos en el valle de Jichhu Kota a fin de proporcionar una referencia actual a los estudios de macrorestos vegetales en los sedimentos del Holoceno de este mismo valle y otros de la Cordillera.

## **METODOS DE ESTUDIO**

Los métodos de estudio son los siguientes:

- Análisis geomorfológicos y geológicos (observación de campo, fotointerpretación), con el objeto de realizar reconocimientos de los cambios mayores de los ambientes a escalas regionales.
- Estudios paleoecológicos, particularmente sobre testigos lacustres ya que los indicadores biológicos (polen, diatomeas, ostrácodos etc.) son conocidos por su gran sensibilidad a las modificaciones ambientales.
- Establecimiento de un calendario apoyado principalmente sobre dataciones por radiocarbono.

### **Evaluación cronológica**

La cronología de los eventos fue establecida por cuatro métodos:

Radiocarbono - El laboratorio de Geoquímica de isótopos del Centro ORSTOM de Bondy (M. Fournier) ha realizado la mayor parte de las dataciones por radiocarbono, que son la base de la evaluación cronológica.

Plomo 210 - El laboratorio de glaciología y geofísica del medio ambiente del CNRS de Grenoble (M. Pourchet) ha intervenido para la evaluación cronológica de los sedimentos muy recientes del lago Titicaca y los lagos glaciares de la Cordillera Real (Jichhu Kota). Gracias a este método fue posible obtener para cada uno de los lagos las tasas de sedimentación reciente.

Uranio/Torio - El laboratorio de geoquímica isotópica (GEOTOP) de la Universidad de Montreal (C. Hillaire-Marcel) realizó dataciones U-Th. Este método ha sido aplicado a los carbonatos de las cuencas cuaternarias del Altiplano Sud.

Paleomagnetismo - Se realizó el registro de las modificaciones seculares del campo geomagnético en los sedimentos lacustres del Titicaca (C. Barton). Sin embargo, la naturaleza de los sedimentos no fue apropiada para los análisis.

El estudio de paleomagnetismo de los sedimentos Plio-Cuaternarios de la Formación La Paz fue realizado por N. Thouveny del Laboratorio de Geología del Cuaternario de Marseille (France).

### **Análisis especiales**

Palinología - La palinología ha sido aplicada para definir cualitativamente los grandes tipos de formaciones vegetales presentes en los bordes del lago Titicaca y otros

medios de sedimentación (turberas) en diferentes épocas, con el objeto de reconstruir las variaciones de los niveles de agua. Este esfuerzo ha sido particularmente llevado a cabo sobre espectros palinológicos de los sedimentos actuales del lago Titicaca.

**Micropaleontología** - Los Andes bolivianos ofrecen una larga gama de medios acuáticos en función de la morfología de las cuencas (lagos profundos, lagos superficiales, turberas, etc.) de la altitud (gradiente térmico) y las condiciones geológicas (facies hidroquímicas). Las investigaciones se realizaron sobre dos grupos de organismos: las diatomeas (S. Servant-Vildary) y los ostrácodos (Ph. Mourguiart).

**Otros métodos** - Análisis de composición de los sedimentos al espectrómetro infrarrojo. Caracterización de la materia orgánica, etc.

## **RESULTADOS ALCANZADOS**

### **1. Estudio de los medios actuales**

#### **Relación diatomeas/altitud/temperatura y vegetación de alta altitud -**

Se estableció una función de transferencia diatomeas/altitud sobre el flanco occidental de la Cordillera Real de los Andes (Servant-Vildary & Roux, 1990). La integración de la temperatura en el seno de esta relación está establecida en un gradiente altitudinal local determinado por las medidas obtenidas de los suelos (donde la temperatura es estable a 80 cm de profundidad) y los medios acuáticos (donde la temperatura varía de acuerdo a las horas del día).

Paralelamente al estudio de las diatomeas, se ha realizado una observación de la zonación altitudinal de la vegetación actual (Ostria, 1987) y de los espectros polínicos de los sedimentos superficiales (Ybert, 1992).

**Relaciones diatomeas/composición química de las aguas** - Estas relaciones han sido analizadas en el Sudoeste de los Lipez, donde los estudios hidroquímicos detallados mostraron que los lagos muy superficiales de esta región, actualmente árida, presentaban una larga gama de salinidades y de composiciones químicas. Estas condiciones se modificaron muy levemente a escalas plurianuales.

Los tratamientos estadísticos revelan que las diatomeas están más fuertemente ligadas a la composición iónica que a los tenores en sales (Servant-Vildary & Roux, 1990; Roux *et al.*, 1991).

**Relaciones ostrácodos/batimetría y ostrácodos/salinidad** - Estas relaciones han sido analizadas sobre bases estadísticas de la repartición de las faunas en los sedimentos muestreados a diferentes profundidades en el lago Titicaca y en los diferentes lagos superficiales del sud del Altiplano (Mourguiart, 1987; Mourguiart & Roux, 1990; Mourguiart *et al.*, 1992). Se otorgó una atención particular a la representatividad de las asociaciones de individuos muertos en vías de fosilización en relación a la asociación de los individuos vivientes.

**Relación polén/batimetría/altitud** - Estas relaciones han sido definidas sobre bases no estadísticas por el momento, en muestras tomadas en tres lagos glaciares de alta altitud, igualmente en dos transectas en el lago Titicaca y dos en el lago Poopó (Ybert, 1992). Estos estudios revelan que los pólenes son buenos indicadores de las fluctuaciones de los niveles de agua en medios de poca profundidad.

**Balances en agua/meteorología** - El proyecto Plio-Cuaternario ha dado origen a diversos estudios que conciernen al funcionamiento de los hidrosistemas actuales:

- A partir de 1990, se montó una operación orientada a la evaluación del balance de los glaciares.
- Se llevó a cabo otra operación sobre las oscilaciones del lago Titicaca desde el año 1900 en relación con la variaciones plurianuales del clima.
- Una tercera operación se llevó a cabo sobre la dinámica atmosférica del clima actual.

## **2. Estudio de los medios del pasado**

**Modificaciones pasadas del lago Titicaca** - Las variaciones del nivel del Lago Titicaca durante los últimos 25 000 años han sido en principio definidas en sus grandes tendencias por la sedimentología (Wirrmann & Oliveira Almeida, 1986), luego de manera más detallada por la palinología (Ybert, 1992). La aplicación de la función de transferencia ostrácodos/batimetría sobre una decena de testigos lacustres muestreados a diferentes profundidades ha terminado en una estimación cuantitativa de las variaciones del nivel de las aguas durante los 8 000 últimos años (Mourguiart *et al.*, 1992, 1993). El resultado principal de estos estudios es haber mostrado que el nivel del Lago Titicaca ha sido por períodos largos más bajo que actualmente, con excepción de dos períodos (14 000 y 10 500 años AP). Intensas oscilaciones cortas dieron cambios bruscos (3900 años AP) durante el interglaciar actual.

**Modificaciones de la distribución altitudinal de la vegetación acuática. Estimación de las temperaturas** - El estudio de las diatomeas de una perforación realizada en un valle glaciar ha permitido estimar en base a una función de transferencia diatomeas/altitud las grandes tendencias de la temperatura entre 10 000 y 2000 años AP aproximadamente. Se observa que las temperaturas próximas a los valores actuales al principio del Holoceno han disminuido durante los últimos 4000 años (Servant-Vildary & Roux, 1990). Un estudio más detallado mostrará que los últimos 4000 años se caracterizan por variaciones muy cortas que se superponen.

**Fluctuación de los glaciares** - La observación de las morrenas en muchos valles de las Cordilleras Oriental y Occidental ha llegado a tres principales resultados:

- 1) el último máximo glaciar se subdivide en dos oscilaciones positivas datadas en aproximadamente 20 000 y 14 500 años AP (Gouze *et al.*, 1987, Argollo *et al.*, 1995);
- 2) el retroceso de los glaciares después de 14 500 años ha sido accidentado por dos reavances que muestran una posición relativamente más baja del frente de los glaciares durante la última transición glaciar/interglaciar;

3) un retroceso muy abrupto de los glaciares tuvo lugar alrededor de los 10 000 años AP (Argollo *et al.*, 1987, 1995).

**Escurrecimientos superficiales** - Los levantamientos geológicos realizados en los valles fluviales han mostrado que fuertes modificaciones del régimen de escurrimiento han tenido lugar durante el Cuaternario reciente: los escurrimientos torrenciales que caracterizan el clima actual han existido durante cortos períodos, principalmente alrededor de 14 000 años AP y durante el último milenio. Estas modificaciones indican que los mecanismos atmosféricos de las precipitaciones han sido muy diferentes a los mecanismos actuales, principalmente durante la mayor parte del interglaciar actual.

El estudio palinológico (Ybert, 1984, 1987) de dos sitios Holocénicos ha permitido precisar el registro de las modificaciones de los escurrimientos por la vegetación local o regional.

**Fluctuaciones lacustres de las cuencas del Sud** - Una estimación de la composición química de los lagos de la última época glacial ha sido efectuado en una pequeña cuenca de sud Lipez (laguna Ballivián) sobre la base de una función de transferencia diatomeas/composición química de las aguas (Servant-Vildary & Roux, 1990; Roux *et al.*, 1991). Esta estimación ha sido completada por una evaluación de las variaciones del nivel lacustre (Servant-Vildary & Mello e Sousa, 1993).

Más de 40 dataciones por radiocarbono sobre los depósitos del borde de los salares de Uyuni y Coipasa son la base de una reconstrucción detallada de las variaciones de los niveles lacustres durante la última transición glacial/interglaciar (Servant *et al.*, 1995). Estos datos indican que el último máximo lacustre tuvo lugar entre 13 000 y 12 000 años AP y que una fase abrupta de descenso del nivel de las aguas es datado un poco antes de 11 000 años AP. Las cronologías por radiocarbono han sido asociadas a los análisis U/Th sobre las biohermas calcáreas y estromatolitos (Rondeau, 1990).

**Modificaciones de medios fluviales en las cuencas del Sud** - Una reconstrucción detallada de los ambientes del Holoceno se realizó en el sitio de Alianza en base a estudios sedimentológicos y diatomológicos. Los resultados indican que las lluvias torrenciales, características del clima actual, no han existido durante la mayor parte del Interglaciar actual entre 10 000 años y menos de 3000 años AP. Los escurrimientos estuvieron desprovistos de crecidas bien marcadas. Sin embargo, algunas variaciones significativas de corta duración han sido registradas por la flora de diatomeas.

## LAS GRANDES TENDENCIAS

**Precipitaciones** - En la actualidad está bien establecido que las regiones tropicales situadas a latitudes y altitudes diferentes se caracterizaron durante la parte superior de la última época glacial (20 000 - 10 000 años AP) por una evolución



similar de las precipitaciones. En cambio, se ha revelado que el clima ha evolucionado de manera diferente según las regiones durante el interglaciar actual (10 000 años AP).

**Temperatura** - La extensión de los taxones vegetales de montaña a revelado importantes cambios de la temperatura en bajas latitudes de las regiones ecuatoriales.

### **Principales resultados:**

1. Ha sido posible establecer la evolución de los balances de agua a través de las fluctuaciones lacustres que han sido reconstruidas de manera continua para los últimos 20 000 años AP:

- Las condiciones climáticas más secas que actualmente caracterizan el último máximo glacial.
- Las precipitaciones, superiores a sus valores actuales, caracterizan la última transición glacial/interglaciar (15 000 - 10 000 años AP). Estas han alcanzado su máximo entre 13 000 y 12 000 años AP. Un evento seco muy abrupto se observa un poco antes de 11 000 años AP, que parece ser un poco anterior a la fase del Dryas reciente.
- Las condiciones secas han aparecido en el Altiplano un poco antes de 8000 años AP y se han mantenido hasta una época reciente (1500 años AP). Fuertes oscilaciones climáticas de corta duración, al igual que cambios bruscos, se superponen a esta evolución.

2. Las fluctuaciones glaciares mayores son comparables, en sus grandes líneas, a aquellas que han sido observadas en las montañas del Norte y Sud del continente americano. Sin embargo, el retroceso de los glaciares después de 15 000 años AP ha sido menos acentuado y solamente al final de la última transición glacial/interglaciar han retrocedido bruscamente. No ha sido posible observar ningún avance glacial notable durante el Holoceno, con excepción del de la Pequeña Edad del Hielo (menos de 500 años AP).

3. Las modificaciones de los regímenes de escurrimiento superficiales han registrado cambios cualitativos del clima: el último interglaciar se ha caracterizado por precipitaciones no tormentosas y de bajo poder erosivo hasta una época muy reciente (menos de 1500 años AP).

4. Los registros de la zonación altitudinal de las diatomeas indica que las grandes tendencias de la evolución de la temperatura después de 10 000 años AP han sido comparables a las observadas en latitudes medias y altas. Las temperaturas eran cercanas a los valores actuales entre 10 000 y 5000 años AP. Las temperaturas bajaron después de 5000 años AP; sin embargo, esta tendencia se complicó por variaciones de corta duración.

## **NUEVAS DIRECCIONES DE INVESTIGACIÓN**

### **Funcionamiento de grandes cuencas continentales.**

Las observaciones realizadas dejan ver la posibilidad de conocer la evolución de las grandes cuencas continentales tomando en cuenta todo los componentes (glaciares, escurrimiento y lagos).

Parece posible, realizar una simulación de los balances en agua para las diferentes épocas del Cuaternario reciente de estas grandes cuencas continentales.

### **Perspectivas de aplicación a los estudios biológicos y estudios pedológicos**

Considerando que los ambientes de bosques actuales han sido perturbado varias veces, inclusive durante el interglaciar actual, el proyecto proporciona nuevos elementos de reflexión al estudio de la biodiversidad.

Igualmente, los cambios climáticos observados por medio del análisis de los archivos sedimentarios, refuerzan las observaciones pedológicas que ya fueron detectadas en antiguas modificaciones ambientales. El interés es proporcionar un cuadro cronológico del estudio de los suelos.

### **Paleoecología cuantitativa**

Los trabajos de ecología realizados en Bolivia han mostrado que los parámetros físicos o químicos de los ambientes acuáticos pueden ser evaluados cuantitativamente por los métodos de la micropaleontología cuantitativa.

La realización de este objetivo pasa principalmente por un análisis profundo de las relaciones polen/vegetación/clima o microfósiles/clima.

## **PROGRAMAS PLURIDISCIPLINARIOS**

Los resultados del proyecto Plio-Cuaternario de Bolivia justifican una reorientación de las investigaciones sobre objetivos más interdisciplinarios.

Los geólogos del cuaternario encuentran la posibilidad de reforzar su colaboración con los pedólogos (comparación entre los registros sedimentarios y los registros pedológicos de las variaciones pasadas del clima) y los biólogos (estudio de la relación indicador biológico/clima).

Estas colaboraciones son indispensables para hacer progresar los métodos paleoclimáticos (que significa precisamente un indicador biológico o geoquímico en relación a la vegetación) e hidrólogos (estudio del ciclo del agua), así como para reforzar las evaluaciones cronológicas en el conocimiento de las variaciones climáticas a una resolución temporal de 50 años en los registros sedimentarios.

La relación de la historia del hombre con las modificaciones del ambiente es una abertura de la geología del Cuaternario que merece ser reforzada en los próximos años.

**PARTICIPANTES EN EL PROYECTO PLIO-CUATERNARIO ,  
(investigadores o tesistas)**

**Personal boliviano**

Luis A. Rodrigo  
Oscar Ballivian  
Marcelo Arduz  
Carlos Vargas  
Fernando Ortuño  
Mario Blanco  
Germán Rivera  
Yolanda Miranda  
Jaime Argollo  
Luis de Oliveira Almeida  
Gonzalo Quenta  
Leocadio Ticlla  
Sonia Perez  
Claudia Gonzales  
Silvia Estensoro  
Wilge Mansilla  
Eduardo Soria

**Personal francés (ORSTOM u Organismos asociados)**

Michel Servant  
Simone Servant-Vildary  
François Risacher  
Alain Lavenu  
Bruno Boulangé  
Jean-Pierre Ybert  
Denis Wirrmann  
Philippe Mourguiart  
Cécile Ostria  
Philippe Gouze  
Marc Fournier  
Florence Sylvestre  
Michel Pourchet  
Aïcha Badou  
Naïma Miskane  
Claude Hillaire-Marcel  
Pascal Rondeau

**BIBLIOGRAFIA**

- ARGOLLO, J., 1982. Evolution du piémont Ouest de la Cordillère Royale (Bolivie) au Quaternaire. *Unpublished PhD*, Univ. Aix-Marseille, 110p.
- ARGOLLO, J., GOUZE, Ph., SALIEGE, J-F. & SERVANT, M., 1987. Fluctuations des glaciers de Bolivie au Quaternaire récent. *Géodynamique*, 2 (2), 103-104.
- ARGOLLO, J., MOURGUIART, Ph., PINGLOT, J-F., POURCHET, M., PREISS, N. & WIRRMANN, D., 1994. Sedimentación reciente en el lago Titicaca (Bolivia). *7º Congreso Geológico Chileno, Actas Volumen 1*: 225-229.
- ARGOLLO, J. & SERVANT, M., 1995. La última transición Glaciar/Interglaciar de los Andes sud tropicales (Bolivia). *Seminario "Aguas, Glaciares y Cambios Climáticos en los Andes Tropicales"*, La Paz, 13-16 Junio 1995, p. 145-149.
- BALLIVIAN, O., BLES, J. L. & SERVANT, M., 1978. El Plio-Cuaternario de la región de La Paz (Andes Orientales, Bolivia). *Cahiers ORSTOM, Série Géologie*, 10 (1), 101-113.
- BOUYASSE, Th., MORLON, P., MOURGUIART, Ph. & WIRRMANN, D., 1992. Agricultura, sociedad y medio natural en la cuenca del Titicaca: tres mil años de relaciones. *Actas del VII congreso internacional sobre cultivos andinos*, D. Morales & J.J. Vacher (eds.), La Paz: 383-388.
- CARBONEL, P., MOURGUIART, Ph & PEYPOUQUET, J-P., 1990. The external mechanism responsible for morphological variability in Recent Ostracoda, seasonality and biotope situation: an example from Lake Titicaca. In: Whatley, R. & Maybury, C. (eds.), *Ostracoda and Global Events*, Chapman & Hall. London: 331-340.
- FOUCAULT, A., 1987. Mise en évidence d'une périodicité de 640 ans dans la variation de la température estimée dans la vallée d'Hichu Kkota (Bolivie). *Géodynamique*, 2 (2), 120.
- GOUZE, Ph., 1987. La cordillère orientale de Bolivie: glaciations plio-pléistocènes; essai de paléohydrologie (30 000 ans BP - Actuel) d'après les oscillations des glaciers et la composition isotopique des macrorestes végétaux. *Unpublished PhD*, Univ. Paris-Sud, 173p.

- GOUZE, Ph., ARGOLLO, J., SALIEGE, J-F. & SERVANT, M. 1986. Interprétation paléoclimatique des oscillations des glaciers au cours des 20 derniers millénaires dans les régions tropicales; exemple des Andes boliviennes. *C. R. Acad. Sc. Paris*, Série II, 303 (3), 219-224.
- GOUZE, Ph., FERHI, A., FONTES, J-Ch. & ROCHE, M-A., 1987. Composition isotopique ( $^{18}\text{O}$ ) de la matière organique des tourbières actuelles et holocènes en Bolivie. Résultats préliminaires et perspectives d'application en paléoclimatologie. *Géodynamique*, 2 (2), 113-116.
- ILTIS, A. & MOURGUIART, Ph., 1991. Repartición y biomasa. In: Dejoux, C. & Iltis, A. (eds), *El lago Titicaca. Síntesis del conocimiento limnológico actual*, 251-262, ORSTOM, Hisbol, La Paz.
- MARTIN, L., TURCQ, B., ABSY, M-L., LEDRU, M-P., MOURGUIART, Ph. & SIFEDDINE, A., 1991. Some different records of El Niño-like conditions in different south american regions during the last 6500 years. *XIII I.N.Q.U.A., Beijing*, 2-9 August 1991, p. 231.
- MARTIN, L., ABSY, M-L., FOURNIER, M., MOURGUIART, Ph., SIFEDDINE, A., TURCQ, B. & VOLKMER RIBEIRO, C., 1992a. In: ORTLIEB, L. & MACHARE, J. (eds), *Paleo-ENSO Records, international symposium, Extended Abstracts*, Some climatic alterations recorded in South America during the last 7 000 years may be expounded by long-term El Niño like conditions, 187-191.
- MARTIN, L., ABSY, M-L., FLEXOR, J-M., FOURNIER, M., MOURGUIART, Ph., SIFEDDINE, A. & TURCQ, B., 1992b. Enregistrements de conditions de type El Niño, en Amérique du Sud, au cours des 7000 dernières années. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 315, Série II, 97-102.
- MARTIN, L., ABSY, M-L., FLEXOR, J-M., FOURNIER, M., MOURGUIART, Ph., SIFEDDINE, A. & TURCQ, B., 1993. Southern Oscillation signal in South American palaeoclimatic data of the last 7000 years. *Quat. Research*, 39, 338-346.
- MOURGUIART, Ph., 1987a. Les ostracodes actuels de l'Altiplano bolivien. Modèle de répartition. *Géodynamique*, 2 (2), 101-103.
- MOURGUIART, Ph. 1987b. Les ostracodes lacustres de l'Altiplano bolivien. Le polymorphisme, son intérêt dans les reconstitutions paléohydrologiques et paléoclimatiques de l'Holocène. *Unpublished PhD, Univ. Bordeaux I*, 263p.
- MOURGUIART, Ph., 1991. Los ostrácodos. In: Dejoux, C. & Iltis, A. (eds), *El lago Titicaca. Síntesis del conocimiento limnológico actual*, 345-352, ORSTOM, Hisbol, La Paz.
- MOURGUIART, Ph & ARGOLLO, J., 1992. Historias separadas de los lagos Huiñaimarca y Chucuito durante el Holoceno. *X Congreso Geológico Boliviano, La Paz*, 26-30 Octubre 1992, p. 107-110.
- MOURGUIART, Ph., ARGOLLO, J. & WIRRMANN, D., 1995. Evolution paléohydrologique du bassin du lac Titicaca au cours de l'Holocène. *Seminario "Aguas, Glaciares y Cambios Climáticos en los Andes Tropicales"*, La Paz, 13-16 Junio 1995, p. 161-169.
- MOURGUIART, Ph., ARGOLLO, J., SERVANT-VILDARY, S., YBERT, J-P. & WIRRMANN, D., 1991. Upper quaternary lake levels in Bolivia ( $16^{\circ}$ - $20^{\circ}$  S. Lat.) and climatic changes in tropical South America. *XIII I.N.Q.U.A., Beijing*, 2-9 August 1991, p. 247.
- MOURGUIART, Ph. & CARBONEL, P., 1994. A quantitative method of palaeolake-level reconstructions using ostracod assemblages: an example from the Bolivian Altiplano. *Hydrobiologia*, 288: 183-193.
- MOURGUIART, Ph., CARBONEL, P., PEYPOUQUET, J-P., WIRRMANN, D. & VARGAS, C., 1986. Late quaternary paleohydrology of Lake Huiñaymarca (Bolivia): scenarios based on ostracods fauna. *Hydrobiologia*, 143: 191-197.
- MOURGUIART, Ph. & ROUX, M., 1990. Une approche nouvelle du problème posé par les reconstructions des paléoniveaux lacustres : utilisation d'une fonction de transfert basée sur les faunes d'ostracodes. *Géodynamique*, 5 (2), 151-165.
- MOURGUIART, Ph., WIRRMANN, D., FOURNIER, M. & SERVANT, M., 1992. Reconstruction quantitative des niveaux du petit lac Titicaca au cours de l'Holocène. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 315, Série II, 875-880.

- OSTRIA, C., 1987a. Végétation actuelle et fossile de haute altitude (exemple d'une vallée glaciaire: Hichu Kkota, Cordillère Royale des Andes de Bolivie). *Géodynamique*, 2 (2), 109-111.
- OSTRIA, C., 1987b. Phytoécologie et paléoécologie de la vallée alto-andine de Hichu-Kkota (Cordillère Orientale, Bolivie). Unpublished PhD, Univ. P. et M. Curie, 180p.
- OSTRIA, C., 1987c. La végétation d'une vallée alto-andine de Hichu-Kkota (Cordillère Orientale, Bolivie). I-Données générales. *Bull. Soc. Bot. Fr., Lettres bot.*, 134 (4/5), 385-397.
- PIERRE, J. F. & WIRRMANN, D., 1986. Diatomées et sédiments holocènes du lac Khara Kkota (Bolivie). *Géodynamique*, 1 (2), 135-145.
- PIERRE, J-F., 1987. Inventaire des diatomées de la carotte JK1 et implications paléoclimatiques à Hichu-Kkota. *Géodynamique*, 2 (2), 112-113.
- POURCHET, M., MOURGUIART, Ph., PINGLOT, J-F., PREISS, N., ARGOLLO, J. & WIRRMANN, D., 1994. Sédimentation récente dans le lac Titicaca (Bolivie). *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 319, Série II: 535-541.
- POURCHET, M., MOURGUIART, Ph., PINGLOT, J-F., PREISS, N., ARGOLLO, J. & WIRRMANN, D., 1995. Evaluation des vitesses de sédimentation récente dans les hautes vallées des Andes boliviennes. Son intérêt dans l'estimation des paléo-pollutions atmosphériques. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 320, Série IIa: 477-482.
- RODRIGO, L. A. & WIRRMANN, D., 1991. Aspecto general de la sedimentación actual. In: Dejoux, C. & Iltis, A. (eds), *El lago Titicaca. Síntesis del conocimiento limnológico actual*. 39-43, ORSTOM, Hisbol, La Paz.
- ROUX, M. & SERVANT-VILDARY, S., 1984. Comparaisons statistiques de peuplement de diatomées fossiles et actuelles provenant des montagnes de Bolivie. *Cahiers ORSTOM, Série Géologie*, 14 (1), 3-13.
- ROUX, M., SERVANT-VILDARY, S. & MELLO E SOUSA, S., 1987. Diatomées et milieux aquatiques de Bolivie. Application des méthodes statistiques à l'évaluation des paléotempératures et des paléosalinités. *Géodynamique*, 2 (2), 116-119.
- SERVANT, M., 1977. Le cadre stratigraphique du Plio-Quaternaire de l'Altiplano des Andes tropicales en Bolivie. *Bulletin AFEQ, Recherches françaises sur le Quaternaire*, INQUA, 1 (50), 323-327.
- SERVANT, M., ARGOLLO, J. & FOURNIER, M., 1987. Dépôts fluviatiles en Bolivie. Variations du régime des écoulements au cours du Quaternaire récent. *Géodynamique*, 2 (2), 105-107.
- SERVANT, M. & FONTES, J-Ch., 1978. Les lacs quaternaires des hauts plateaux des Andes boliviennes. Premières interprétations paléoclimatiques. *Cahiers ORSTOM, Série Géologie*, 10 (1), 9-23.
- SERVANT, M. & FONTES, J-Ch., 1984. Les basses terrasses fluviatiles du quaternaire récent des Andes boliviennes. Datations par le <sup>14</sup>C. Interprétation paléoclimatique. *Cahiers ORSTOM, Série Géologie*, 14 (1), 15-28.
- SERVANT, M., FOURNIER, M., ARGOLLO, J., SERVANT-VILDARY, S., SYLVESTRE, F., WIRRMANN, D. & YBERT, J-P., 1995. La dernière transition glaciaire/interglaciaire des Andes tropicales sud (Bolivie) d'après l'étude des variations des niveaux lacustres et des fluctuations glaciaires. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 320, série IIa, 729-736.
- SERVANT-VILDARY, S., 1978. Les diatomées des dépôts lacustres quaternaires de l'Altiplano bolivien. *Cahiers ORSTOM, Série Géologie*, 10 (1), 25-35.
- SERVANT-VILDARY, S., 1978. Les diatomées des sédiments superficiels d'un lac salé, chloruré, sulfaté sodique de l'Altiplano bolivien, le lac Poopó. *Cahiers ORSTOM, Série Géologie*, 10 (1), 79-89.
- SERVANT-VILDARY, S., 1984. Les diatomées des lacs sursalés boliviens. Sous-classe pennatophycidées. I - Famille des Nitzschiacées. *Cahiers ORSTOM, Série Géologie*, 14 (1), 35-53.

- SERVANT-VILDARY, S., 1986. Les diatomées actuelles des Andes de Bolivie (taxonomie, écologie). *Cah. Micropaléont.*, 1 (3-4), 99-124.
- SERVANT-VILDARY, S., 1991. Las diatomeas. In: Dejoux, C. & Iltis, A. (eds), *El lago Titicaca. Síntesis del conocimiento limnológico actual*, 181-191, ORSTOM, Hisbol, La Paz.
- SERVANT-VILDARY, S. & BLANCO, M., 1984. Les diatomées fluvio-lacustres plio-pléistocènes de la formation Charaña (Cordillère occidentale des Andes, Bolivie). *Cahiers ORSTOM, Série Géologie*, 14 (1), 55-102.
- VARGAS, C., 1982. La sédimentation lacustre subactuelle d'un bassin intramontagneux : la lac Titicaca (partie lac Huinamarca-Bolivie). *Thèse 3ème cycle*, Université de Bordeaux I, 91 p.
- WIRRMANN, D., 1982. Primeros resultados sobre el estudio de los testigos del lago Huiñaimarca. *Document ORSTOM*, La Paz, 34p.
- WIRRMANN, D., 1987. El lago Titicaca: sedimentología y paleohidrología durante el Holoceno (10 000 años BP - Actual). *Informe UMSA-ORSTOM*, La Paz, 6, 61p.
- WIRRMANN, D., 1990. The Lake Titicaca. Bolivia-Peru. In: Kelts, K., Gierlowski-Kordesh (eds), *Global geological record of lake basins*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- WIRRMANN, D., 1991. Morfología y batimetría. In: Dejoux, C. & Iltis, A. (eds), *El lago Titicaca. Síntesis del conocimiento limnológico actual*, 31-37, ORSTOM, Hisbol, La Paz.
- WIRRMANN, D. & MOURGUIART, Ph., 1987. Oscillations et paléosalinités des lacs du Quaternaire récent en Bolivie. *Géodynamique*, 2 (2), 98-101.
- WIRRMANN, D. & MOURGUIART, Ph., 1988 - El lago Titicaca: ambiente actual. Relación con la distribución de los ostrácodos. *Actas del Congreso iberoamericano y del Caribe*. 17p.
- WIRRMANN, D. & MOURGUIART, Ph., 1995 - Late Quaternary spatio-temporal limnological variations in the Altiplano (South America). *Quaternary Research*, 43 (3).
- WIRRMANN, D., MOURGUIART, Ph. & de OLIVEIRA ALMEIDA, L-F., 1988. Holocene, sedimentology and ostracodes repartition in Lake Titicaca. Paleohydrological interpretations. In: Rabassa, J. (ed.), *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, 6, 89-127, Balkema, Rotterdam.
- WIRRMANN, D., YBERT, J-P. & MOURGUIART, Ph., 1991. Una evaluación paleohidrológica de 20 000 años. In: Dejoux, C. & Iltis, A. (eds), *El lago Titicaca. Síntesis del conocimiento limnológico actual*, 61-67, ORSTOM, Hisbol, La Paz.
- YBERT, J-P., 1981-1982. Analyse palynologique de la coupe holocène du río Chiarjahuira sur l'Altiplano bolivien. *Cahiers ORSTOM, Série Géologie*, 12 (2), 125-133.
- YBERT, J-P., 1984. Diagramme sporoplinique de la coupe holocène du río Chuquiaguillo sur l'Altiplano bolivien. *Cahiers ORSTOM, Série Géologie*, 14 (1), 29-34.
- YBERT, J-P., 1987. Spectres palynologiques de tourbières et de sédiments lacustre de la fin du Pléistocène et de l'Holocène des Andes de Bolivie. *Géodynamique*, 2 (2), 108-109.
- YBERT, J-P., 1988. Apports de la palynologie à la connaissance de l'histoire du lac Titicaca (Bolivie-Pérou) au cours du Quaternaire récent. *Inst. fr. Pondichery, Trav. sec. sci. techn.*, 25, 139-150.
- YBERT, J-P., 1991. Los paisajes lacustres antiguos según el análisis palinológico. In: Dejoux, C. & Iltis, A. (eds), *El lago Titicaca. Síntesis del conocimiento limnológico actual*, 69-79, ORSTOM, Hisbol, La Paz.
- YBERT, J-P. & MIRANDA, Y., 1984. Análisis palinológico de un corte del Sajama. *II Congreso geológico de Bolivia*, 691-695.
- YBERT, J-P. & MIRANDA, Y., 1984. Análisis palinológico de un corte del Sajama. Resultados preliminares. *Document inédit*.

ORSTOM BOLIVIA

INFORME N° 47

Noviembre 1995

## CONVENIO ORSTOM - UMSA



ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL MARCO DEL  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES GEOLOGICAS

compilación por  
Michel Fornari  
Co-Director

**ORSTOM**

L'INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION