

LE PROGRAMME MULTIDISCIPLINAIRE SUR L'ÉVOLUTION RÉCENTE DES HAUTS PLATEAUX ANDINS (BOLIVIE)

Institut de Géodynamique et Limnologie (Convention U.M.S.A.-O.R.S.T.O.M.)

INTRODUCTION

Au cours des dernières années, l'Université Majeure de San Andrés (U.M.S.A.) de La Paz et l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (O.R.S.T.O.M.) ont mis en place, avec la participation de divers organismes boliviens et français, un programme d'études géodynamiques sur les hauts plateaux des Andes boliviennes (1). Ces hauts plateaux (ou Altiplano) sont situés vers 4 000 m d'altitude entre deux hautes chaînes de montagnes qui culminent vers 7 000 m. Ils correspondent à un ensemble endoréique de bassins d'effondrement qui se sont individualisés vers la fin du Pliocène ou au début du Quaternaire. Ce système naturel s'étend sur 150 000 km² environ. Son étude, limitée aux périodes récentes plio-quaternaires, est abordée sous les angles géochimique, sédimentologique, paléoclimatique et néotectonique avec le souci d'en dégager les incidences pratiques immédiates.

1. GÉOCHIMIE ET SÉDIMENTOLOGIE

Les recherches géochimiques et sédimentologiques ont débuté par une reconnaissance des milieux actuels de dépôt : milieux lacustres au Nord de l'Altiplano (Lacs Titicaca et Poopó), milieux évaporitiques au Sud (Salars de Uyuni, Empexa et Sud-Ouest bolivien).

Les travaux de RISACHER opposent schématiquement deux provinces géochimiques majeures. La première se situe dans la moitié septentrionale de l'Altiplano en terrains essentiellement sédimen-

taires. Les eaux douces superficielles y évoluent par évaporation vers des faciès chloro-sulfaté-sodiques (Lac Poopó). La deuxième province correspond à la partie méridionale de l'Altiplano où dominent les roches volcaniques acides. La composition initiale des eaux douces laisse prévoir une évolution par évaporation vers des saumures carbonatées sodiques. En fait, de nombreux facteurs interviennent pour dévier l'évolution des eaux de sa direction théorique : présence de soufre dans certains bassins versants, dissolution de gypse ou interaction avec un matériel volcanique amorphe dans le fond des salars, etc., de telle sorte que les saumures finales sont le plus souvent chloro-sulfaté-sodiques.

Les recherches de CARMOUZE, ARZE et QUINTANILLA, centrées sur les Lacs Titicaca et Poopó, se placent dans une optique quantitative de bilans hydrologiques et hydrochimiques. Elles évaluent d'un côté les apports en éléments dissous et de l'autre l'évacuation de ces éléments par infiltration ou dans les exécutoires superficiels. Cela permet de définir, par différence, la quantité de chacune des substances qui se maintient dans le milieu en étant pour l'essentiel incorporée dans les sédiments. Par exemple, il est montré que la totalité des apports en silice au Lac Titicaca se dépose de même qu'une fraction importante des carbonates, sulfates et calcium.

Les études de BOULANGÉ, VARGAS et RODRIGO ont mis en évidence une large extension des dépôts calcaires sur les fonds lacustres et le rôle important, si ce n'est largement prépondérant, des mécanismes biogéniques dans le dépôt du carbonate de calcium (mollusques, algues, etc.). Ces observations sont en

* *Cajón Postal 8714, La Paz, Bolivia.*

(1) La composition de l'équipe est la suivante :

O.R.S.T.O.M. : BOULANGÉ, CARMOUZE, LAVENU, RISACHER, SERVANT, SERVANT-VILDARY, YBERT.

U.M.S.A. : ARZE, BALLIVIÁN, QUINTANILLA, RODRIGO, VARGAS, ORTUÑO, MIRANDA.

bon accord avec les données du bilan hydrochimique. Mais la nature et la répartition des sédiments ne sont pas seulement liées à la composition des eaux : elles sont compliquées par les héritages du Quaternaire sur la nature et la forme des fonds ou par les oscillations récentes des plans d'eau. Outre l'abondance du carbonate de calcium, les autres caractéristiques des sédiments actuels résident dans les forts pourcentages en matières organiques (1) et par la faible importance de la sédimentation détritico-sableuse ou graveleuse. Ce dernier point était assez inattendu compte tenu du contexte montagneux dans lequel se situent les milieux étudiés.

Dans le Sud de l'Altiplano, l'évolution des eaux conduit à des précipitations de carbonate de calcium, de sulfates, de chlorures et localement de carbonates sodiques. Dans certaines régions et en association avec le gypse, il y a dépôt de borates. Les saumures de ces mêmes régions peuvent être assez riches en lithium pour constituer des gisements potentiels très importants (RISACHER).

La transposition à l'échelle du Quaternaire des données hydrochimiques obtenues sur les paysages actuels se fait par le biais des études sur les diatomées. Ces organismes sont de bons indicateurs de paléosalinités globales ou spécifiques. Les travaux de SERVANT-VILDARY sur la flore du Lac Poopó en donnent la confirmation : cette flore est caractéristique, dans ses espèces dominantes, d'eaux salées et chloro-sulfaté-sodiques. Les grands lacs quaternaires de la moitié sud de l'Altiplano présentaient des salinités (10 à 40 g/l ou plus) comparables à celles du Lac Poopó, mais les associations de diatomées soulignent que le chimisme des eaux était assez différent. Cela peut s'expliquer par le fait que les apports liquides avaient une double origine : une partie provenant de la province géochimique nord, une autre partie de la province sud. Il serait de ce fait particulièrement intéressant d'examiner, par sondages, les séquences évaporitiques qui sont issues de l'assèchement de ces lacs.

L'étude sédimentologique des lacs anciens en est seulement à une phase de reconnaissance sur le terrain (SERVANT). Elle souligne le rôle important pendant le Quaternaire et au Sud de l'Altiplano de la sédimentation calcaire, les mécanismes de fixation biogéniques étant déterminants. Ces processus biogéniques sont notamment matérialisés par des constructions stromatolithiques spectaculaires. La très grande extension des dépôts sableux ou caillouteux au débouché des anciennes rivières montre que les apports détritiques étaient certainement plus importants qu'actuellement.

(1) La mise en place récente d'un programme d'étude sur la production primaire devrait faciliter la compréhension des dépôts de la matière organique.

2. PALÉOCLIMATOLOGIE

L'évolution quaternaire de l'Altiplano est caractérisée par de grandes extensions lacustres dans les bassins et par des avancées glaciaires en amont dans les chaînes montagneuses. Les nappes d'eau pléistocènes étaient 5 à 10 fois plus étendues que les Lacs Titicaca et Poopó réunis. Les glaciers sont descendus de plus de 1 000 m par rapport à leur position actuelle. Ces changements paléogéographiques posent en premier lieu un problème paléohydrologique : il s'agit de comprendre les relations qui existent entre les bilans glaciaires et les bilans lacustres. Ce problème qui nécessite de longues études stratigraphiques préalables et des corrélations spatio-temporelles très précises, peut être abordé dans les tranches de temps qui correspondent au domaine d'application des datations par le ^{14}C . Les résultats obtenus (SERVANT, FONTES) dégagent une première interprétation : pendant le Quaternaire récent, les variations d'extension des lacs en aval et des glaciers en amont peuvent s'expliquer, compte tenu de l'évolution paléoclimatique mondiale, par une répartition variable des précipitations au cours de l'année sans qu'il soit indispensable de faire intervenir de grandes modifications au niveau des moyennes annuelles. Les changements ainsi envisagés dans le régime des précipitations impliquent une organisation différente de l'actuelle des circulations atmosphériques, et ils débouchent de ce fait sur un problème paléométéorologique global.

Pour les périodes antérieures au Quaternaire récent, deux faits essentiels ont été dégagés : l'Altiplano est caractérisé par un développement remarquable des glacis d'ablation et, par une importance inattendue dans cette partie haute des Andes des phénomènes d'altération et de pédogenèse.

3. NÉOTECTONIQUE

L'évolution des Andes est marquée, pendant le Plio-Quaternaire, par une tectonique très active. Celle-ci s'est vraisemblablement traduite par un soulèvement absolu qui semble pour l'essentiel antérieur au Quaternaire (BALLIVIÁN et SERVANT) mais qu'il n'est pas possible, pour le moment, d'évaluer et de dater avec précision. Les mouvements verticaux relatifs sont mieux apparents : ils ont entraîné de grandes modifications topographiques. Les observations de SERVANT suggèrent, par exemple, un soulèvement relatif de la Cordillère Orientale pendant le Pliocène et au cours de la même période une subsidence très rapide (0,1 mm/an

au moins) des bassins sédimentaires situés au pied de la chaîne montagneuse. Ultérieurement, il y a eu ouverture, par effondrement, des dépressions quaternaires et en particulier celle du Lac Titicaca. Le phénomène, qui a dû se poursuivre par étapes pendant tout le Pléistocène, est marqué par de nombreuses anomalies morphologiques actuellement en cours d'étude (témoins de glacis en positions anormalement élevées, réorganisation du réseau hydrographique, etc.).

La définition précise des déformations se dégage des études microtectoniques faites par LAVENU. Les sédiments pliocènes et quaternaires du Nord de l'Altiplano sont affectés par des déformations en compression et en distension. Une phase de compression de direction EW à NE-SW se développe à la fin du Pliocène. Durant le Quaternaire on a pu mettre en évidence une phase de compression de direction NW-SE encadrée par deux phases importantes de distension de direction N-S. Les bassins plio-quaternaires intracordilleraux sont eux aussi affectés de déformations en compression E-W à SE-SW (Sucre-Cochabamba) et de déformation en distension de direction E-W et N-S (Sucre-Cochabamba-Tarija). Toutefois, la chronologie de ces déformations n'est pas encore établie. Au Pérou, au SW du Lac Titicaca et dans des séries plio-quaternaires volcaniques et lacustres on retrouve ces principales directions de déformation en compression et en distension.

4. LES PROBLÈMES DÉGAGÉS PAR LA PREMIÈRE ÉTAPE DU PROGRAMME

Les résultats obtenus dégagent, dans chaque spécialité, diverses directions particulières de recherches. Nous citerons : la géochimie du soufre, du bore et du lithium dans les salars du Sud bolivien ; la signification écologique des associations de diatomées au niveau des espèces non dominantes ; la biogéochimie des matières organiques des sédiments lacustres ; les corrélations stratigraphiques précises entre les oscillations glaciaires, les phénomènes de morphogenèse et les oscillations lacustres, etc.

Mais au-delà de ces questions particulières, les problèmes dont l'examen peut être envisagé en priorité, sont ceux qui se situent au carrefour des différentes spécialités et qui, de ce fait, nécessitent d'être abordés de manière pluridisciplinaire. Les

principaux thèmes de recherche qui apparaissent à ce niveau sont les suivants : rôle des organismes et en particulier des algues benthiques et du plancton dans la sédimentation lacustre actuelle et quaternaire ; relations entre la morphologie du fond des lacs ou la répartition des sédiments et l'évolution paléohydrologique et néotectonique des bassins lacustres ; relations entre le chimisme des nappes d'eau quaternaires et les séquences évaporitiques des grands salars comme celui de Uyuni ; relations entre les déformations tectoniques avec les modifications topographiques et corrélativement la sédimentation continentale, etc.

L'objectif est finalement de suivre, suivant quelques itinéraires thématiques, l'évolution plio-quaternaire de l'Altiplano bolivien. Cet objectif impose, sur le plan méthodologique, d'effectuer une étude comparée des différents éléments qui constituent le système naturel étudié. Cette comparaison s'effectue sur le plan géographique. Elle a par exemple permis de dégager une première vue globale sur la géochimie de l'Altiplano. Elle s'effectue aussi entre l'Actuel et les différentes périodes du Plio-Quaternaire. Il est en particulier nécessaire de définir en les confrontant, les caractères chimiques et sédimentologiques des lacs actuels et récents.

Certaines limites apparaissent dans le développement du programme. La transposition des observations d'une échelle de temps à une autre nécessiterait une observation continue des séries sédimentaires situées dans le fond des bassins, ce qui imposerait une reconnaissance géophysique et la réalisation d'au moins un ou deux sondages. De plus, et pour disposer d'un panorama complet, il apparaîtrait nécessaire de susciter une étude des formations volcaniques récentes en relation avec les migrations de matières dans les paysages et avec l'évolution tectonique.

CONCLUSION

Le programme d'étude développé sur les hauts plateaux andins trouve son unité dans le fait que les recherches spécialisées portent sur le même système naturel. A long terme, c'est en replaçant l'évolution de ce système dans un contexte mondial (paléoclimatologie) ou en le comparant avec d'autres systèmes continentaux endoréiques situés dans des contextes différents, que seront dégagées des interprétations à caractère plus général.

КОМПЛЕКСНАЯ ПРОГРАММА ИЗУЧЕНИЯ НЕДАВНЕГО РАЗВИТИЯ АНДИЙСКИХ ВЫСОКОГОРИЙ (БОЛИВИЯ)

Институт геодинамики и лимнологии*
(Договор U.M.S.A. - O.R.S.T.O.M.)

Traduction par André KOBYLANSKY (O.R.S.T.O.M.) d'extraits de « Le programme multidisciplinaire sur l'évolution récente des hauts plateaux andins (Bolivie) ».

В течение последних лет, Высшим Университетом Сан Андрес (U.M.S.A.), в Ла-Пас, и Центром Научных и Технических Исследований За морем (O.R.S.T.O.M.) была выработана, с участием различных боливийских и французских учреждений, программа геодинамических исследований на высокогорьях боливийских Анд. Высокогорья эти (Альтипано) расположены на высоте в 4.000 м, между двумя высокими горными хребтами достигающими 7.000 м высоты. Они представляют бессточный комплекс тектонических котловин дифференцировавшихся в конце Плиоцена и в начале Четвертичного. Эта природная система простирается на примерно 150.000 км². Изучение ее, в пределах недавних

плио-четвертичных периодов, было предпринято в различных областях : геохимия и седиментология (геохимические провинции, водные балансы, диатомовая флора), палеоклиматология и неотектоника, с учётом непосредственных практических последствий этого изучения.

Единство данной программы состоит в том, что объектом различных специальных исследований является одна и та же природная система. В дальнейшем, для обобщения полученных результатов, необходимо будет вставить развитие этой системы в мировой контекст (палеоклиматология), или сравнить ее с другими бессточными континентальными системами, расположенными в различных контекстах.

* *Cajón Postal 8714, La Paz, Bolivia.*