

2. Andes boliviennes

Les bilans hydriques des Andes et de l'Amazonie

M.A. ROCHE ⁽¹⁾

Le Programme PHYCAB étudie la climatologie et l'hydrologie de la Bolivie : les caractéristiques du climat en relation avec la dynamique des circulations atmosphériques, la quantification et les variations spatio-temporelles du cycle de l'eau, avec l'évaluation des ressources des grands bassins. Ces recherches constituent d'autre part la référence à l'actuel pour les travaux menés dans la région sur les paléoclimats et la paléogéographie des vingt derniers millénaires (Programme GEOCIT).

A l'échelle pluriannuelle (période de 16 ans), les bilans hydriques (complétés par les régimes hydrologiques) établissent les relations entre trois principaux paramètres du cycle de l'eau : les précipitations P, l'évaporation E et l'écoulement R. L'équation s'écrit : $R = P - E - n$, dans laquelle n est l'incertitude sur l'ajustement des termes, et un éventuel stockage de l'eau dans le système. La température qui contribue à évaluer l'évaporation est également prise en compte.

La Bolivie se divise en trois grands bassins hydrologiques ; l'Altiplano qui est endoréique, l'Amazonie et le Rio de la Plata. Eux-mêmes se subdivisent en 8 bassins de superficie encore très vaste. Le bassin du Haut Rio Madera, qui constitue la partie amazonienne, couvre 850 000 km² dont 72 % en Bolivie.

Parmi les cartes de distribution spatiale des caractéristiques, celles des pluies est l'une qui marque le plus le climat régional et sa dynamique.

LES PRÉCIPITATIONS

Les pluies montrent une distribution spatiale très variée selon les zones, en raison de l'influence de masses d'air distinctes et de l'orographie très accentuée de la Cordillère des Andes.

Du désert le plus aride du monde (de l'ordre de 1 mm/an), la traversée de 400 km de Cordillère suffit pour atteindre des sites dont les valeurs de pluviométrie sont parmi les plus élevées du monde (6 000 à 7 000 mm/an). Des conditions de stabilité atmosphérique extrêmement fortes sont engendrées sur la bordure pacifique par le courant froid de Humbolt. De l'autre côté des Andes la « mousson » atlantique et surtout amazonienne envahit la Bolivie, surtout durant l'été austral en débordant assez souvent sur l'Altiplano. La convection assure aussi une part importante du phénomène de précipitation. La rencontre entre cette masse humide et chaude et celle de l'air plus sec et généralement plus froid originaire du Sud et du Sud-Est, favorise les précipitations. Cet afflux crée fréquemment la formation de front froid. L'humidité de la masse d'air est entretenue par les Alizées de Nord et de Nord-Est, mais aussi semble-t-il, pour une part importante, par le recyclage de la vapeur à partir de la forêt et des inondations.

La déviation de l'air humide le long des Andes et son blocage dans des baies du piémont correspondent aux précipitations maximales observées. Au contraire, le blocage fréquent de l'air humide par les sommets de la Cordillère met à l'abri d'autres régions des Andes, telles que la majeure partie du Bassin du Rio Grande. Lorsque cet air humide passe par-dessus les cimes, la descente dans les zones déprimées, où il se réchauffe, ne favorise pas non plus les précipitations.

Cette dynamique est générée par les oscillations de la zone intertropicale de convergence qui, en revenant sur la Bolivie, provoque la saison des pluies. Elle l'est aussi par la pénétration de masse d'air méridional avec la création de fronts. L'inflexion de la ZITC vers la Bolivie est remarquable. L'épaisseur du flux amazonien et son soulèvement éventuel par l'air méridional déterminent l'altitude maximale d'intervention sur le versant andin jusqu'à son éventuel débordement sur l'Altiplano. De nombreuses autres situations at-

(1) *Mision ORSTOM, Casilla 8714, La Paz, Bolivia.*

mosphériques, notamment les convections, peuvent également être pluvigènes.

Il est à remarquer l'influence positive très nette du lac Titicaca sur les précipitations, tandis que les salars ont une influence négative pour les raisons d'albedo mais aussi de possibilités de recyclage de l'eau entre le sol et l'atmosphère.

LES BILANS HYDROLOGIQUES

1. Le lac Titicaca reçoit annuellement $8,9 \times 10^9 \text{ m}^3$ des tributaires, $8,3 \times 10^9 \text{ m}^3$ par les pluies, soit deux parts égales. L'évaporation assure $14,2 \times 10^9 \text{ m}^3$ des pertes, tandis que l'exutoire qui rejoint le lac Poopo assure une perte superficielle de $0,39 \times 10^9 \text{ m}^3$. Une infiltration de $1,66 \times 10^9 \text{ m}^3$ constituerait le complément. Les niveaux du lac sont très sensibles aux variations du climat et varient dans un intervalle de plus de 5 mètres depuis une cinquantaine d'années.

2. Le système hydrologique de l'Amazonie bolivienne est remarquable par ses dimensions. A la frontière du Brésil, le Rio Madera évacue $536 \times 10^9 \text{ m}^3$, soit l'équivalent de la moitié du débit du Congo. Chacun de ses deux formateurs, le Beni et le Manoré, est plus abondant que la Volga, fleuve le plus important d'Europe, ou que le Niger, deuxième fleuve d'Afrique.

LES SYSTÈMES HYDROLOGIQUES

Ils sont très différents selon les bassins versants : glaciaires pour certaines têtes de bassin, semi-arides vers l'aval puis tropicaux. Au pied des Andes, l'hydrogramme est dentelé de multiples crues.

Dans la plaine, elles se fondent en une crue unique d'autant plus décalée par rapport à la saison des pluies qu'elle progresse vers l'aval. Cette crue y est écrétée, régularisée par les inondations qui couvrent chaque année durant plusieurs mois des dizaines de milliers de kilomètres carrés dans la plaine herbacée à forêt-galerie et dans la forêt dense.

L'importance de telles inondations, liées à des conditions géomorphologiques stables au-delà du Quaternaire est à prendre en considération pour appréhender le phénomène de recyclage de la vapeur, même en l'absence de forêt dense, et son influence sur le climat d'une partie de l'Amérique du Sud.

Les Andes boliviennes fournissent annuellement $132 \times 10^9 \text{ m}^3$, soit 25 % de l'apport global au Madera. Une partie des Andes péruviennes, la plaine orientale et le bouclier brésilien assurent le complément évalué à la formation du Madera. Le Rio Grande, le Beni et les bassins dominant le Manoré fournissent respectivement dans les Andes 1,5, 14 et 10 % de l'apport au Madera.

CONCLUSION

La compréhension des valeurs des flux, des températures et de leur modalité de variations spatio-temporelles, ainsi que la compréhension des mécanismes qui les génèrent sur une période pluriannuelle, sont des éléments indispensables pour caler des modèles climato-hydrologiques à applications multiples.

Ces modèles représentent notamment une des voies qui devra être développée dans le cadre de l'étude des paléoclimats et de la paléohydrologie.

Oscillations et paléosalinités des lacs du Quaternaire récent en Bolivie

D. WIRRMAN⁽¹⁾, P. MOURGUIART⁽²⁾

Au cours des 30 derniers millénaires, les lacs de l'Altiplano bolivien ont été caractérisés par deux très hauts niveaux lacustres (plus de 100 m dans les bassins méridionaux) avant d'enregistrer un bilan hydrologique négatif durant l'Holocène (jusqu'à moins 50 m pour le lac Titicaca).

LE PLÉISTOCÈNE TERMINAL

Dans les bassins sud de l'Altiplano, les paléorivages, soulignés par des encroûtements stromatolitiques, témoignent de deux périodes majeures de très hauts niveaux, respectivement nommées Minchin entre 27 000 et 22 000 environ, et Tauca entre 13 500 et 11 500 ans B.P., séparées par un épisode de bas niveaux (fig. 1).

(1) Mision ORSTOM, Casilla 8714, La Paz, Bolivia (Programme GEOCTT).

(2) Laboratoire de Géologie et Océanologie, Université Bordeaux I, F 33405 Talence Cedex.