

La figure 1 met en évidence la compétition entre *Cyclotella* et *Fragilaria* à différents niveaux de la carotte JK1.

Nous avons signalé à Khara Kkota (PIERRE & WIRRMANN) l'appauvrissement en Cyclotelles entre les niveaux -40 et -100, compensé par une prolifération concomitante des Fragilaires.

Des fluctuations du même ordre sont mises en évidence à Jankho Kkota, avec deux épisodes principaux aux niveaux -60 et -100.

La comparaison de ces événements dans les deux lacs fait apparaître une coïncidence certaine, qu'il est nécessaire de vérifier par d'autres méthodes.

Nous manquons de renseignements sur la durée de ces épisodes, tel par exemple le temps nécessaire au dépôt d'un centimètre de sédiment. Nous avons contrôlé, aux niveaux 59-60 et 61-62 encadrant le relevé 60-61, que l'inversion de dominance entre Cyclotelles et Fragilaires pouvait être un phénomène rapide, centrimétrique.

Les changements floristiques observés pourraient

légitimement rendre compte de variations des niveaux lacustres, en relation avec des modifications paléoclimatiques. Nous avons émis l'hypothèse d'une variation géologiquement brutale, du niveau du paléolac Khara Kkota. Nos derniers résultats nous incitent à envisager des épisodes plus courts n'ayant qu'un faible impact sur le niveau. Dans la zone centrale d'où provient la carotte, le stade climatique « normal » se traduirait par une sédimentation des frustules de *Cyclotella*, planctoniques d'eaux relativement peu profondes. Les stades climatiques « perturbés » résulteraient d'épisodes de fortes précipitations pendant quelques années, le ruissellement accru en résultant entraînant les *Fragilaria* depuis les zones périphytiques littorales vers le centre du lac, les mouvements d'eaux pouvant de plus freiner le développement des Cyclotelles, voire les déplacer.

La poursuite de l'étude des Diatomées des sédiments lacustres des Andes boliviennes, tout en complétant la connaissance de cette microflore, pourrait procurer des arguments s'intégrant dans une reconstitution des paléoclimats de ces régions.

BIBLIOGRAPHIE

- GASSE (F.), 1980. — Les Diatomées lacustres plio-pléistocènes du Gadeb (Éthiopie). Systématique, Paléoécologie, Biostratigraphie. *Rev. Algol.*, Mém. H.S., 3, 249 p., tabl. h.t.
- GERMAIN (H.), 1981. — Flore des Diatomées. Boubée Edit., Paris, 444 p.
- HUSTEDT (F.), 1930. — Die Kieselalgen Deutschlands, Oesterreichs und des Schweiz, VII, 1. Rabh. Krypt. Fl., Leipzig.
- PIERRE (J.F.), WIRRMANN (D.), 1986. — Diatomées des sédiments

holocènes du lac Khara Kkota (Bolivie). *Géodynamique*, 1 (2) : 135-145.

SERVANT-VILDARY (S.), BLANCO (M.), 1984. — Les Diatomées fluvio-lacustres, plio-pléistocènes de la formation charana (Cordillère occidentale des Andes, Bolivie). *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, XIV, 1 : 55-102.

SERVANT-VILDARY (S.), 1986. — Les Diatomées actuelles des Andes de Bolivie (Taxonomie, écologie). *Cah. Micropaléont. N.S.*, 1, 3-4 : 99-124, 14 pl. h.t.

Composition isotopique (^{18}O) de la matière organique des tourbières actuelles et holocènes en Bolivie Résultats préliminaires et perspectives d'application en paléoclimatologie

Ph. GOUZE ⁽¹⁾, A. FERHI ⁽²⁾, J.-Ch. FONTES ⁽³⁾, M. ROCHE ⁽⁴⁾

Les vallées retenues pour cette étude, sur le flanc Ouest de la Cordillère Orientale (16° lat. S), sont

soumises à un climat relativement sec (précipitations : 800 mm/an environ) caractérisé par une longue

(1) ORSTOM, 70-74, route d'Aulnay, 93140 Bondy, France (Programme GEOCIT).

(2) Centre de Recherches Géodynamiques, 47, av. de Corzent, B.P. 11, 74203 Thonon-les-Bains, France.

(3) Université Paris Sud, Bât. 504, 91405 Orsay, France.

(4) Mision ORSTOM, Casilla 8714, La Paz, Bolivia.

saison sèche hivernale d'avril à novembre. Les températures connaissent d'amples variations journalières en fonction de l'insolation. Le gradient altitudinal de température ($0,53^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$) a été obtenu à partir de mesures dans le sol, à 50 cm de profondeur (OSTRIA, *Géodynamique*, 2 (2) 87 : 109-111).

LES SITES ÉTUDIÉS - L'ÉCHANTILLONNAGE

La vallée d'Hichu-Kkota est une ancienne vallée glaciaire dont le fond est actuellement occupé par des lacs, des tourbières et de vastes prairies marécageuses. Les écoulements sont assurés surtout par les précipitations (principalement durant l'été austral), mais aussi par la nappe phréatique et par les eaux de fonte des glaciers qui occupent actuellement la partie haute des bassins de drainage.

La « quebrada » Sorechata est un axe mineur de drainage dont le profil longitudinal ne dépasse pas 3 ou 4 km. Les écoulements sont temporaires et alimentés surtout par les précipitations estivales puisque les eaux de fonte des glaciers n'atteignent pas cette vallée.

Deux types de prélèvements ont été effectués :

— A Hichu-Kkota, nous avons prélevé simultanément les plantes actuelles (parties aériennes de *Distichia*) et les eaux courantes où baignent ces végétaux.

Les sites d'échantillonnage, au nombre de six, se distribuent en moyenne tous les 100 m, entre 4 400 et 5 000 m d'altitude.

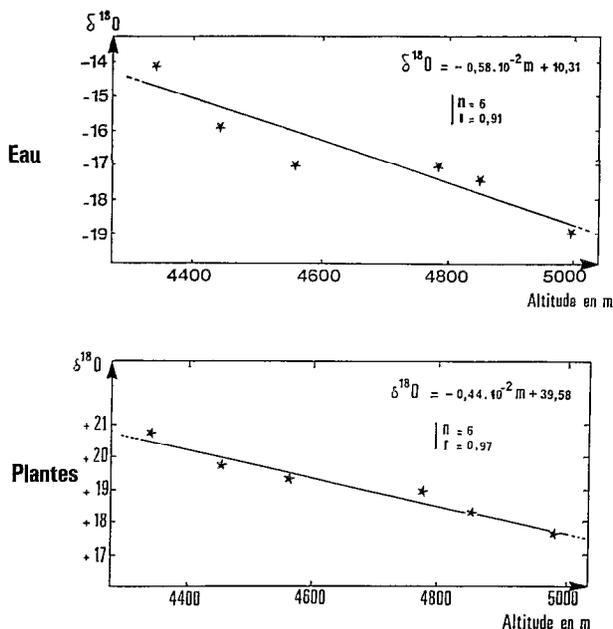


Fig. 1. — Variations des teneurs en ^{18}O de l'eau des tourbières et des plantes actuelles en fonction de l'altitude à Hichu Kkota.

— A Hichu-Kkota et Sorechata, nous avons prélevé les macrorestes végétaux de deux anciennes tourbières datées de l'Holocène moyen à récent.

A Hichu-Kkota, la coupe Wila Llojeta, située à 4 800 m d'altitude est surmontée par des moraines de la dernière avancée glaciaire.

A Sorechata (4 150 m d'altitude) la tourbière est au bord de la « quebrada », au pied d'un versant et à proximité d'anciennes sources qui sont encore aujourd'hui épisodiquement et faiblement actives.

LES RÉSULTATS

Les valeurs relatives aux teneurs en ^{18}O sont exprimées selon la notation classique en unités δ par rapport à l'étalon SMOW. Les résultats ^{14}C situent la coupe de Wila Llojeta à Hichu-Kkota dans une tranche de temps comprise entre 4 240 et 500 ans B.P., celle de Sorechata entre 7 650 et 2 230 ans B.P., avec cependant de nombreuses lacunes liées à des phases de ravinement.

La figure 1 montre les variations des teneurs en ^{18}O de l'eau et de la matière organique en fonction de l'altitude à Hichu-Kkota. Dans cette gamme d'altitude la variation est linéaire. Les équations des courbes d'ajustement calculées par la méthode des moindres carrées sont :

$$\begin{aligned} \delta^{18}\text{O} (\text{eau}) &= -0,58 \cdot 10^{-2} m + 10,31 \quad (r=0,91) \\ \delta^{18}\text{O} (\text{m.o.}) &= -0,44 \cdot 10^{-2} m + 39,58 \quad (r=0,97) \end{aligned}$$

Dans les profils de tourbes, les teneurs en ^{18}O varient entre +15,73 % et +20,65 % pour la coupe de Hichu-Kkota (fig. 2). L'ensemble des valeurs, à l'exception de trois, se situe en dessous de la teneur actuelle en ^{18}O à 4 800 m, altitude de la coupe.

Pour la tourbière fossile de Sorechata (fig. 2), les valeurs sont comprises entre +18,35 % et +19,93 %. Toutes ces valeurs s'inscrivent également en dessous de la teneur actuelle en ^{18}O à l'altitude de la coupe (4 150 m).

ÉLÉMENTS D'INTERPRÉTATION

La similitude des gradients altitudinaux ($0,58 \delta/100\text{ m}$ pour l'eau ; $0,44 \delta/100\text{ m}$ pour la matière organique) suggère que les teneurs en ^{18}O des plantes reflètent essentiellement celles de l'eau d'alimentation.

Si l'on admet que la composition isotopique des macrorestes végétaux fossiles ne s'est pas modifiée après leur fossilisation, il faut donc admettre que l'écart observé avec les plantes actuelles reflète une composition isotopique plus basse pour les eaux de tourbières de l'époque considérée.

Sur la base de ces résultats préliminaires et sous réserve d'un inventaire plus complet (notamment ^{18}O et ^2H des eaux météoriques, des eaux de ruissellement, de la matière organique actuelle et fossile) on peut proposer que la composition isotopique des

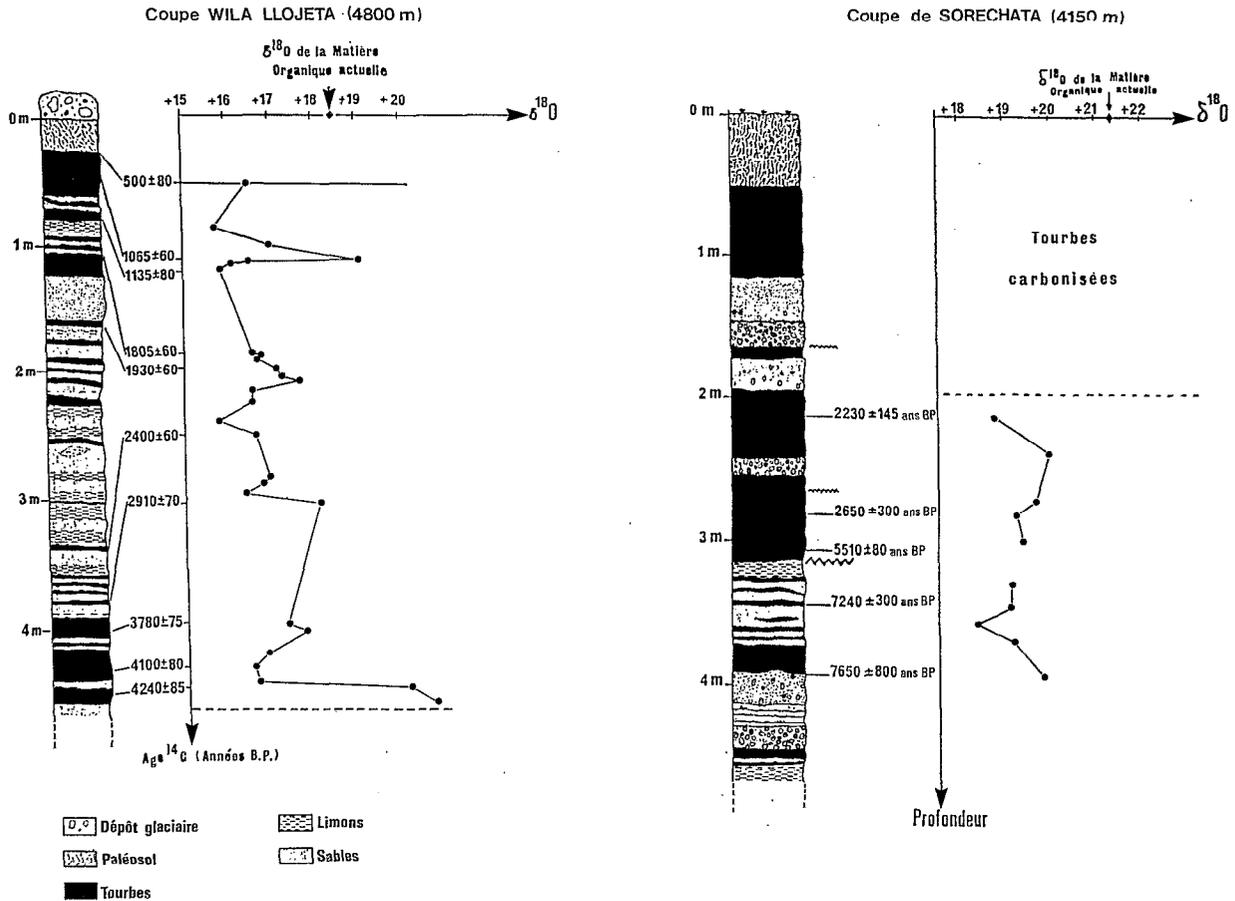


Fig. 2. — Variations des teneurs en ^{18}O des macrorestes végétaux fossiles.

écoulements de subsurface était en moyenne plus basse qu'actuellement, tant à Hichu-Kkota qu'à Sorechata.

Il est encore difficile d'interpréter ce résultat en termes paléoclimatiques. Le problème majeur est de savoir si les eaux des bassins reflètent celles des précipitations à l'altitude considérée ou si la majeure partie de cette alimentation procède d'une origine plus haute et peut notamment inclure une partie d'eau de fonte des glaciers.

Dans le premier cas, le gradient observé refléterait un gradient en altitude des précipitations tel que l'on en connaît de nombreux exemples en particulier en Europe et aux USA (valeurs de l'ordre de $-0,4 \%/100 \text{ m}$). Toutefois, les mesures provenant du réseau bolivien PHICAB (ROCHE, comm. pers.) montreraient que la région andine est probablement

soumise à un régime complexe de précipitation où les gradients en altitude se trouveraient oblitérés par une variation dans l'origine des masses de vapeur ainsi que par des mécanismes de condensation où les effets thermiques ne seraient pas exclusifs d'effets de pression. En ce cas, le gradient observé dans l'eau (et dans les tourbes) serait davantage le produit d'une évaporation progressive des eaux au fur et à mesure de leur transit.

Dans l'attente des résultats de l'étude en cours sur les teneurs en deuterium, on est provisoirement conduit à privilégier l'hypothèse de conditions moins évaporantes qu'aujourd'hui lors de la croissance des tourbes. Cela pourrait être dû à des circulations hydriques plus rapides (perméabilités plus fortes) engendrant des temps de transit plus courts et/ou à des conditions atmosphéro-climatiques moins favorables à l'évaporation.

BIBLIOGRAPHIE

- DANSGAARD (W.). 1964. — Stable isotopes in precipitation. *Tellus*, XVI : 435-468.
- FERHI (A.). 1980. — Variation des teneurs en oxygène 18 de la matière organique d'origine végétale. Application à l'étude des paléoenvironnements. *Thèse doctorat d'État*, Univ. P. et M. Curie, Paris VI. 233 p.
- FONTES (J.Ch.), LETOLLE (R.), OLIVE (Ph.), BLAVOUX (B.). 1967. — Oxygène 18 et Tritium dans le bassin d'Évian. In « Isotopes in Hydrology ». *Proceed. Symp.*, I.A.E.A., Vienna : 401-405.
- GOUZE (Ph.). — Reconstitution paléoclimatique du Quaternaire récent de Bolivie. Approches géologique et isotopique. (Thèse Univ. Orsay, en préparation).
- OSTRIA (C.). — Phytoécologie et paléoécologie d'une vallée glaciaire alto-andine. Hichu-Kkota (Cordillère Orientale, Bolivie). (Thèse Univ. P. et M. Curie, en préparation).

Diatomées et milieux aquatiques de Bolivie Application des méthodes statistiques à l'évaluation des paléotempératures et des paléosalinités

M. ROUX⁽¹⁾, S. SERVANT-VILDARY⁽²⁾, S. MELLO E SOUSA⁽³⁾

Deux études ont été conduites avec des méthodes semblables. La première avait pour but d'évaluer la paléosalinité d'un lac du Pléistocène supérieur, situé dans la région des « Salars », Sud Lipez ; la deuxième était destinée à évaluer les paléotempératures à l'Holocène récent, à partir de la coupe Wila Llojeta, située au sommet de la vallée d'Hichu Kkota, dans la Cordillère orientale des Andes. La méthode consiste à comparer les flores actuelles et les flores fossiles de diatomées, provenant d'une même aire géographique d'extension restreinte.

Les méthodes statistiques employées sont, d'une part, la régression linéaire multiple, d'autre part, la régression par les plus proches analogues. Cependant pour limiter les instabilités liées aux erreurs d'échantillonnage et de détermination des espèces, une analyse factorielle des correspondances est pratiquée au préalable ; elle permet, en outre, de valider l'échantillon actuel en relation avec l'échantillon fossile étudié. C'est ainsi que, dans le cas des salars, cette étape préalable a conduit à utiliser préférentiellement la régression linéaire classique ; le point crucial de cette étude est l'effectif restreint des échantillons actuels.

On abordera successivement les points de méthodologie puis l'interprétation paléoclimatique que l'on peut tirer des évaluations de la salinité et de la température.

Méthodologie

ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES

Initialement conçue pour traiter les tableaux de contingence « croisant » deux variables qualitatives, l'analyse des correspondances se révèle fort utile pour étudier tous les tableaux contenant des effectifs, comme c'est le cas des relevés floristiques. Elle fournit une représentation approchée des relevés en fonction des différentes proportions des espèces qu'ils contiennent, ainsi que des espèces en fonction de leur répartition dans les différents relevés. Certains éléments, appelés passifs ou supplémentaires, peuvent être temporairement mis de côté dans l'analyse, ce sera le cas des relevés fossiles, ils sont ensuite replacés après traitement auprès des éléments actifs en fonction de leur composition floristique.

L'intérêt de l'AFC dans le cas présent est triple : les coordonnées factorielles sont très stables par rapport à des erreurs d'échantillonnage ou de détermination ; ensuite un petit nombre de coordonnées factorielles rendent compte des fluctuations de nombreuses espèces ; enfin elle permet de contrôler la validité de l'échantillon actuel pour inférer des résultats sur les relevés fossiles.

LA RÉGRESSION LINÉAIRE MULTIPLE

Cette méthode classique consiste à évaluer la varia-

(1) CNRS, Route de Mende, B.P. 5051, 34033 Montpellier Cedex (Programme GEOCIT).

(2) ORSTOM, Muséum national d'Histoire naturelle, 43, rue Buffon, 75005 Paris.

(3) Instituto de Geociencias, Universidade de Sao Paulo, Caixa Postal 20899, São Paulo, Brésil.