

ANALYSE PALYNOLOGIQUE DE LA COUPE HOLOCÈNE DU RIO CHIARJAHUIRA SUR L'ALTIPLANO BOLIVIEN (1)

Jean-Pierre YBERT

Mission O.R.S.T.O.M., CP 8714, La Paz, Bolivie

RÉSUMÉ

L'étude palynologique de la coupe du Rio Chiarjahuirra, localisée sur l'Altiplano bolivien, a permis de mettre en évidence un climat sec et froid au début de la période holocène ($\pm 10\ 000$ à $8\ 000$ ans B.P.). L'interprétation climatique est basée essentiellement sur la présence d'un ensemble de spores et de pollens de plantes qui se rencontrent actuellement dans les zones de toundra à une altitude comprise entre $4\ 250$ et $5\ 200$ mètres. Le genre Isoetes dont la spore est très caractéristique, est un bon indicateur écologique pour la région andine bolivienne, du fait de son rang altitudinal réduit.

RESUMEN

El estudio palinológico del corte del Río Chiarjahuirra, ubicado en el Altiplano boliviano, ha permitido poner en evidencia un clima seco y frío durante el principio del periodo Holoceno ($\pm 10\ 000$ a $8\ 000$ años B.P.). La interpretación climática esta basada esencialmente sobre la presencia de un conjunto de esporas y de pólenes de las plantas que se encuentran actualmente en las zonas de tundra a una altura comprendida entre $4\ 250$ y $5\ 200$ m. El género Isoetes para el cual la spora es muy característica, se muestra como un buen indicador ecológico para la región andina boliviana por el hecho de tener su rango de altitud reducido.

ABSTRACT

The palinological study of the geological section of the Chiarjahuirra river located in the bolivian altiplano, has permitted to put in evidence a cold and dry climate during the beginning of the Holocen period ($\pm 10\ 000$ to $8\ 000$ years B.P.). The climatic interpretation is based essentially over the presence of a group of spores and polens of plants which at the present are found in the tundra zones at an altitude between $4\ 250$ m and $5\ 200$ m. The Isoetes genus for which the spores are characteristic, shows as a good ecological indicator for the bolivian andean region for the fact that they have a reduced altitudinal range.

РЕЗЮМЕ

ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГОЛОЦЕННОВОГО РАЗРЕЗА РЕКИ РИО ЧИАРХАХУИРА НА БОЛИВИЙСКОМ АЛЬТИПЛАНО

Палинологическое исследование разреза р. Рио Чиархахуира, находящейся на боливийском альтиплано, позволило выявить сухой и холодный климат в начале голоценного периода ($\pm 10\ 000$ по $8\ 000$ лет до н.э.). Климатический анализ в основном основан на наличии комплекта спор и пыльц растений, теперь встречающихся в тундровых районах на высотах от $4\ 250$ до $5\ 200$ метров. Род *Isoetes*, спора которого характерна, является хорошим экологическим индикатором для боливийской андийской области из-за своего невысокого высотного положения.

(1) Convenio U.M.S.A.-O.R.S.T.O.M., La Paz, Bolivie.

INTRODUCTION

Le Quaternaire de l'Altiplano bolivien et des piedmonts andins a fait l'objet de diverses études parmi lesquelles les plus récentes ont été réalisées par l'Institut de Géodynamique et Limnologie de l'Université de La Paz, avec la participation de géologues de la Mission O.R.S.T.O.M. Les seuls travaux de palynologie effectués sur ces formations sont ceux de K. GRAF (1975-1979) dont les études ont porté sur des coupes et des sondages situés pour la plupart à une altitude supérieure à 4 000 m. L'étude présentée ici est une contribution à la connaissance paléoclimatique du Quaternaire de Bolivie. Elle représente un complément à l'analyse déjà publiée antérieurement (J. P. YBERT, 1981).

Avant de présenter ce travail, nous tenons à remercier M. SERVANT qui a découvert cette coupe et nous a aidé à prélever les échantillons, à J. C. FONTES qui a effectué la datation radiométrique et au Professeur Th. VAN DER HAMMEN qui a bien voulu traiter ces échantillons dans son laboratoire.

SITUATION GÉOGRAPHIQUE

La coupe du Rio Chiarjahuira est située au nord-est de La Paz, sur l'Altiplano bolivien, à une altitude de 3 980 m. Les coordonnées géographiques sont 16° 27' 20" de latitude sud et 68° 16' 50" de longitude ouest.

Du point de vue écologique cette coupe est située dans la région subtropicale, Étage Montagneux (O. UNZUETA, 1975). La température annuelle moyenne est d'environ 9°C et les précipitations pluviométriques de 550 mm.

La végétation est de type Puna moyennement humide (K. GRAF, 1979), elle se compose principalement de graminées et de composées. Parmi celles-ci, les genres les plus abondants sont : *Hypochoeris*, *Perezia*, *Aster*, *Baccharis*, *Gnaphalium*, *Senecio*, *Tagetes*.

Les autres familles de plantes les plus importantes sont : les *Ophioglossaceae* avec le genre *Ophioglossum*, les *Ephedraceae* avec *Ephedra*, les *Amaryllidaceae*, *Cactaceae*, *Caryophyllaceae*, *Chenopodiaceae*, *Cruci-*

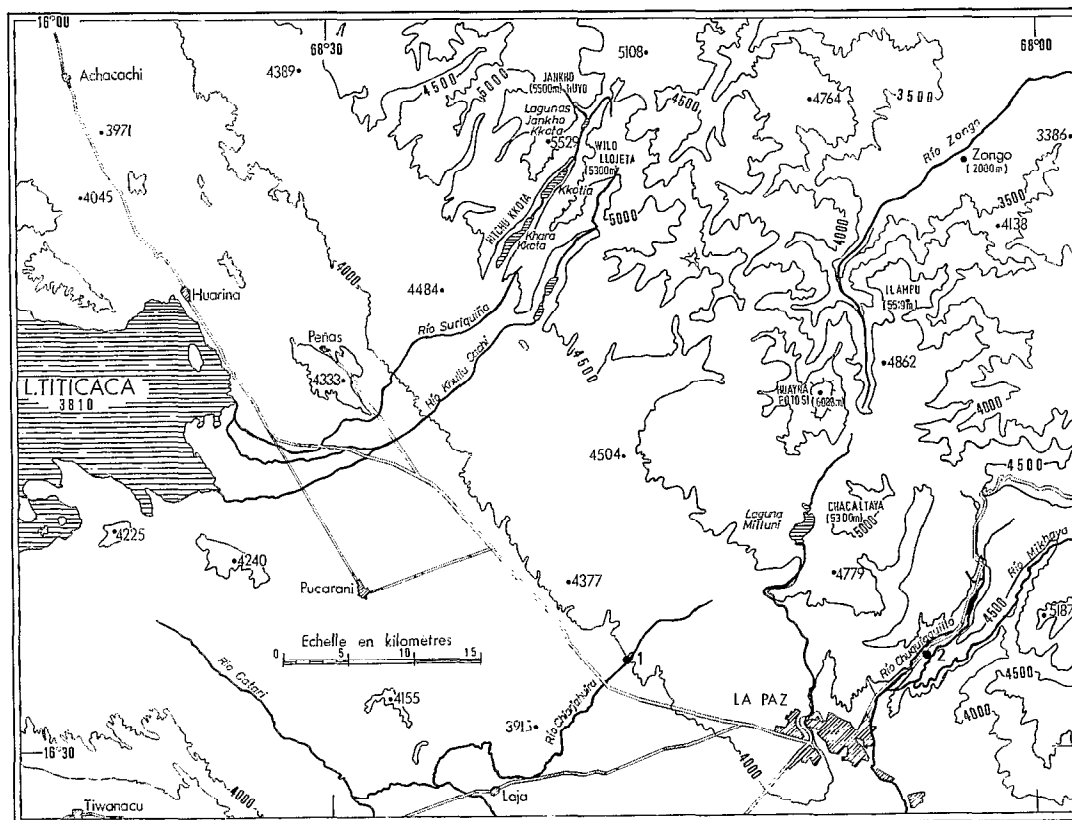
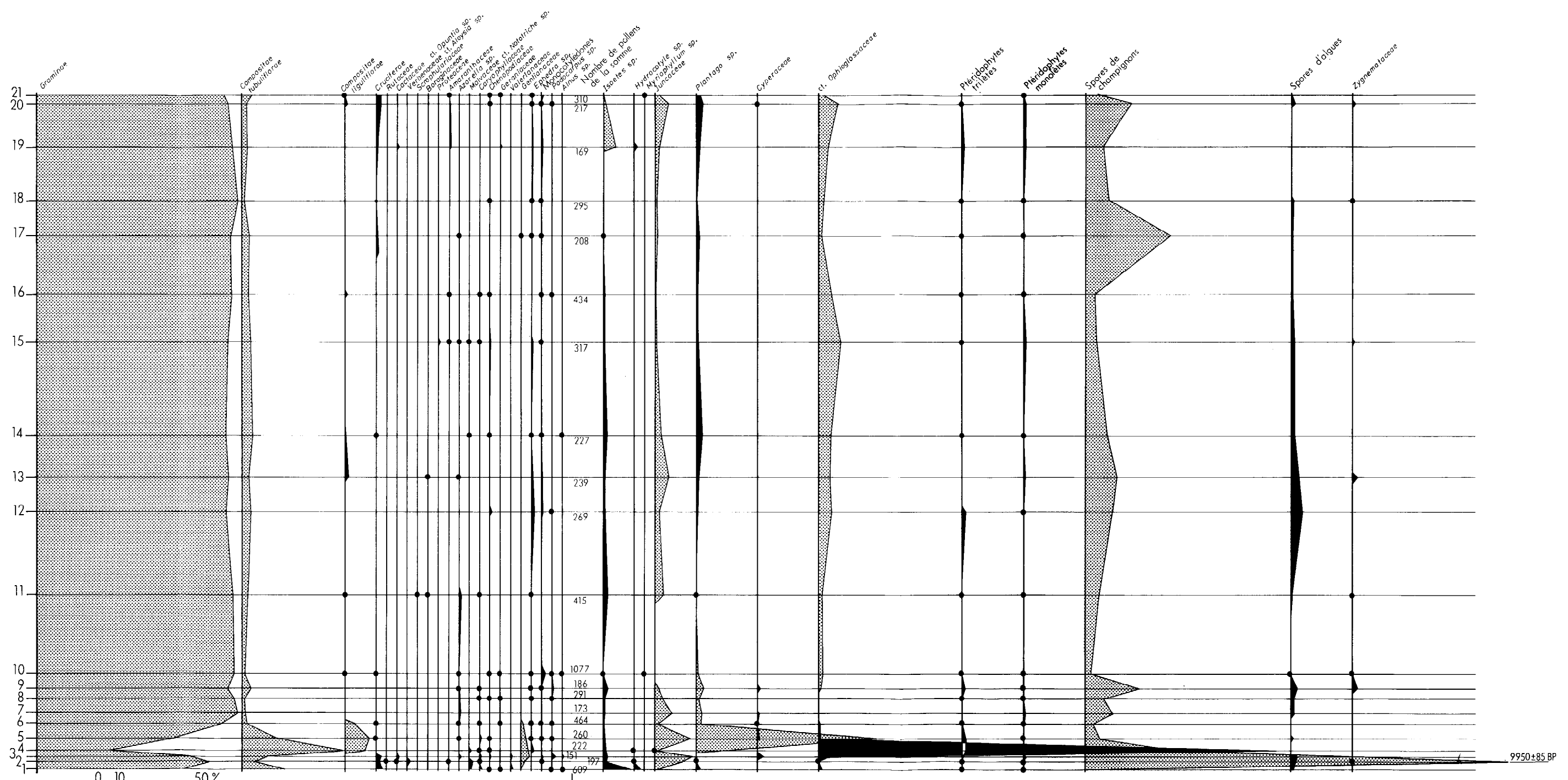
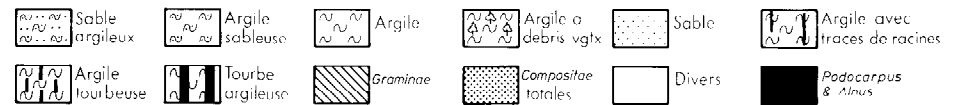
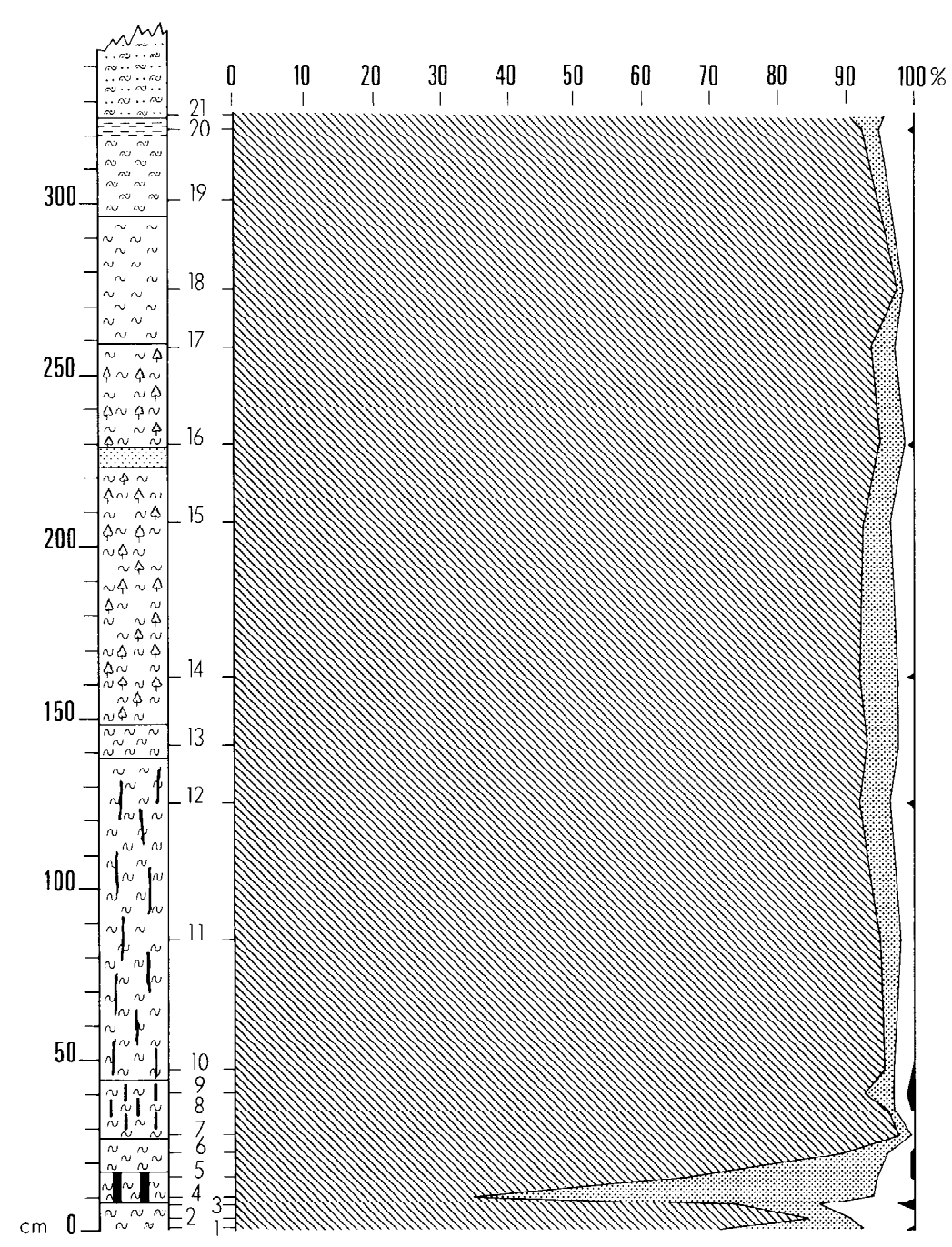


Fig. 1. — 1 : position de la coupe du Rio Chiarjahuira.



Echelle pour toutes les courbes • < 0,5 %

FIG. 2 COUPE DU RIO CHIARAHUIRA - Altitude: 3980 m.

ferae, *Cyperaceae*, *Gentianaceae*, *Iridaceae*, *Papilionaceae*, *Oxalidaceae*, *Plantaginaceae*, *Rosaceae* avec *Polylepis* et *Tetraglochim*, *Scrophulariaceae*, *Umbelliferae* avec *Azorella*, *Valerianaceae* et *Verbenaceae*.

Toutes ces familles sont peu représentées, les graminées étant fortement dominantes.

COMPOSITION LITHOLOGIQUE

La section de coupe étudiée représente une épaisseur de sédiments de 3,25 m dans laquelle ont été prélevés 21 échantillons répartis irrégulièrement en fonction de la lithologie.

Cette coupe repose sur un lit de gravats d'épaisseur inconnue; elle est constituée essentiellement d'argiles plus ou moins tourbeuses et de limons et argiles limoneuses qui contiennent des débris végétaux. Elle est recouverte de gravats et sables lenticulaires.

Une datation par la méthode du ^{14}C , effectuée sur l'échantillon n° 2 à la base de la coupe, a donné un âge de $9\,950 \pm 85$ ans B.P. Pour des raisons techniques, il n'a pas été possible d'obtenir de datations sur les niveaux supérieurs.

INTERPRÉTATION DE L'ANALYSE PALYNOLOGIQUE

Pour l'interprétation des résultats des analyses palynologiques nous avons adopté la méthode utilisée par le laboratoire du Professeur Th. VAN DER HAMMEN qui consiste à retirer de la somme pollinique les spores et les pollens des plantes locales, soit dans ce cas, ceux des plantes de tourbières qui sont : *Plantago*, les *Cyperaceae*, *Juncaceae*, *Hydrocotyle*, *Myriophyllum*, les spores de champignons, les spores d'algues et les *Zygnemataceae*.

Les deux traits les plus caractéristiques du spectre sporopollinique de la coupe du Rio Chiarjahuiria sont :

— La forte dominance des graminées dont le pourcentage dépasse 90 à partir de l'échantillon 6.

— La forte proportion des éléments locaux de milieu humide tels que les spores de champignons, spore du type *Ophioglossum*, pollens de *Plantago*, dans les 20 cm inférieurs de la coupe.

Si aux graminées, nous associons les composées qui, en règle générale, indiquent également un climat régional sec, ce groupe dépasse 85 % de la population pollinique tout le long de la coupe et même 95 % à partir de l'échantillon 6.

Toutefois, le pourcentage plus élevé de *Compositae* qui se rencontre entre les niveaux 1 et 6 pourrait correspondre au moins partiellement à des espèces qui, actuellement, forment l'essentiel de la végétation de certaines « tourbières » de pente des vallées d'altitude.

La présence constante de spores et pollens de plantes aquatiques ou de marécage indique un milieu local humide en permanence. Le plus fort pourcentage d'*Isoetes* dans l'échantillon 1, suivi de forts pourcentages de spores de champignons et de *Juncaceae*, puis d'*Ophioglossum*, puis de *Plantago* semblent indiquer un assèchement progressif partiel de la tourbière. La diminution du nombre d'*Isoetes* correspond à une diminution de la superficie des eaux libres; en effet, cette ptéridophyte aquatique ne pousse qu'immergée dans une épaisseur d'eau de 2 cm à 3,50 m (COLLOT, 1980).

Le fort pourcentage de spores de champignons qui fait suite, ainsi que l'augmentation des pollens de *Juncaceae* correspondent à une augmentation de la surface de la zone marécageuse, avec pourrissement de la végétation et développement des « coussinets » de *Distichia sp.*, au-dessus du plan d'eau. Ensuite, les *Plantago* se développent puis les graminées qui atteignent leur maximum vers l'échantillon 7.

Les 20 à 25 cm inférieurs correspondent donc à la fin d'une période sensiblement plus humide que le reste de la coupe.

Un certain nombre de taxons rencontrés au cours des analyses, correspondent à des plantes qui poussent actuellement à une altitude sensiblement plus élevée que celle à laquelle se situe la coupe. Ce sont :

Isoetes

Cette ptéridophyte aquatique est citée par K. GRAF (1979) au niveau subnival, c'est-à-dire entre 4 500 et 5 300 m d'altitude. Dans son étude sur les macrophytes de quelques lacs andins, D. COLLOT (1978-1980) les a rencontrées entre 4 250 et 4 700 m d'altitude mais dans les mares elle peut monter jusqu'à 5 000 m. A. RAYNAL-ROQUES (1979) confirme ce rang altitudinal.

Juncaceae

Représentée principalement par le genre *Distichia*, cette famille est surtout abondante dans la zone de Puna humide et au niveau subnival (K. GRAF, 1979). O. UNZUETA (1975) la cite dans les niveaux subalpin et alpin, c'est-à-dire entre 4 150 et 5 200 m.

Plantago sp.

Ce genre est cité par O. UNZUETA (1975) en milieu de toundra humide dans les niveaux subalpin et alpin entre 4 150 et 4 650 mètres. Pour le versant Ouest de la Cordillère orientale, K. GRAF (1979) le cite entre 3 800 et 5 200 m.

PLANCHE I

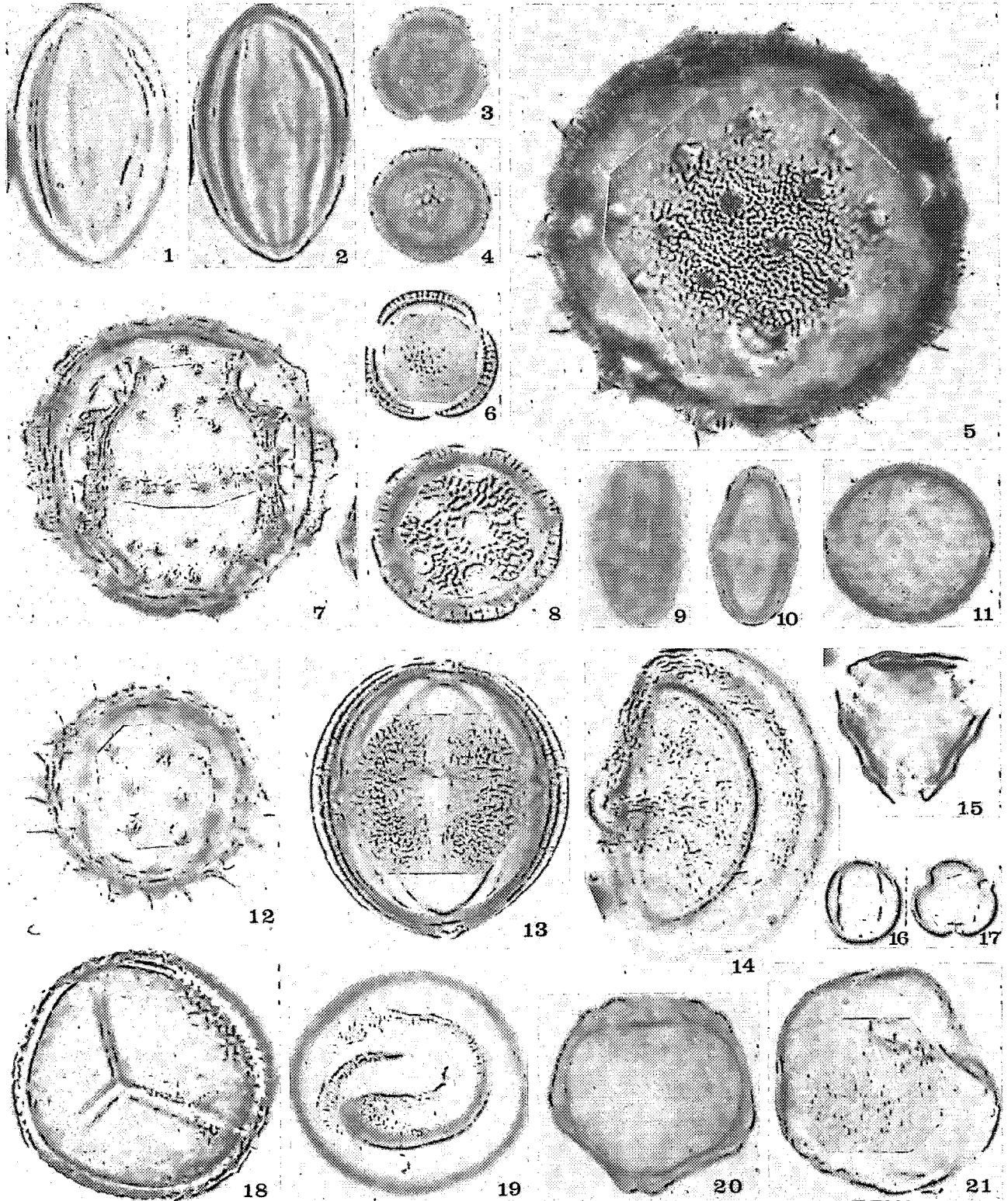


PLANCHE I

1, 2 : *Ephedra americana*, *Ephedraceae*; 3, 4 : *Pycnophyllum molle*, *Caryophyllaceae*; 5 : *Nototriche cf. flabellata*, *Malvaceae*; 6 : *Lepidium depressum*, *Cruciferae*; 7 : *Hypochoeris meyenianus*, *Compositae*; 8 : *Arenaria lanuginosa*, *Caryophyllaceae*; 9, 10 : *Azorella biloba*, *Umbelliferae*; 11 : *Plantago australis*, *Plantaginaceae*; 12 : *Tagetes terniflora*; 13 : *Perezia pinnatifida*, *Compositae*; 14 : *Isoetes* sp., *Isoetaceae*; 15 : *Aloysia* sp., *Verbenaceae*; 16, 17 : *Calceolaria* sp., *Scrophulariaceae*; 18 : *Ophioglossum coriaceum*, *Ophioglossaceae*; 19 : *Mimulus glabratus*, *Scrophulariaceae*; 20 : *Alnus jorullensis*, *Corylaceae*; 21 : *Distichia macrocarpa*, *Juncaceae*.

Ephedra

Cette Gymnosperme pousse actuellement dans les zones de steppe et de toundra sèche exposées au vent, entre 3 800 et 4 500 m d'altitude, selon O. UNZUETA (1975).

Chenopodiaceae

Cette famille est citée par O. UNZUETA (1975) dans la zone de toundra sèche subalpine, entre 4 000 et 4 500 m. K. GRAF (1979) la cite entre 3 800 et 4 500 m dans la zone de Puna modérément humide. Les genres principaux sont *Chenopodium* et *Salicornia*.

Caryophyllaceae

Cette famille est représentée principalement par le genre *Pycnophyllum*, lequel se rencontre actuellement au niveau subnival d'après K. GRAF (1979) et aux niveaux subalpin et alpin d'après O. UNZUETA (1975), c'est-à-dire entre 4 000 et 5 200 m.

Malvaceae

Le genre *Nototriche* est le seul représentant de cette famille dans la région de l'Altiplano, il est cité en milieu de toundra humide au niveau alpin par O. UNZUETA (1975), au niveau subnival par K. GRAF (1979), c'est-à-dire entre 4 500 et 5 200 m.

Umbelliferae

Très peu abondante, cette famille est représentée essentiellement par le genre *Azorella* qui se rencontre entre 3 700 et 4 500 m (K. GRAF, 1979) pour les formes terrestres, et les genres *Lilaeopsis* et *Hydrocotyle* pour les formes aquatiques.

Gentiana

Ce genre est surtout abondant entre 4 150 m et 5 200 m, associé à *Distichia*.

La présence de tous ces taxons et principalement *Isoetes*, *Distichia*, *Pycnophyllum* et *Nototriche* indique un climat équivalent à celui qui se rencontre actuellement à une altitude plus élevée d'environ 500 à 800 m, ce qui correspond à une température moyenne annuelle comprise entre 3° et 6°, c'est-à-dire environ 3° à 6° de moins que la température moyenne actuelle au niveau de la coupe.

Deux taxons alloctones à l'Altiplano se rencontrent assez fréquemment quoique en faible proportion dans cette coupe. Il s'agit de *Podocarpus sp.* et *Alnus cf. jorullensis* qui poussent actuellement dans les vallées tropicales humides (Yungas) sur le versant amazonien de la Cordillère orientale, entre 2 800 et 3 500 m d'altitude. La présence de ces

pollens anémophiles dans les sédiments de l'Altiplano est due au passage des masses d'air humide du bassin amazonien au-dessus de la Cordillère.

Parmi les autres taxons rencontrés dans cette coupe, le seul qui présente une certaine importance est la famille des *Cruciferae*. Le pollen est surtout abondant à la base et au sommet de la coupe mais il n'a pas de signification écologique particulière.

CONCLUSIONS

L'association sporopollinique rencontrée tout au long de cette coupe indique un climat sec succédant à une période plus humide dont seule la phase terminale est visible dans les niveaux inférieurs. L'importance des *Isoetes* et *Juncaceae* indique en outre un climat sensiblement plus froid que l'actuel.

L'étude des diatomées réalisée par S. SERVANT-VILDARY (communication orale) sur les mêmes échantillons a permis d'arriver à des résultats identiques. S. SERVANT-VILDARY (1978) indique un climat relativement froid pour les dépôts de limons de l'Holocène ancien de l'Altiplano.

La phase plus humide de la partie inférieure de la coupe peut être assimilée à la fin de la phase lacustre Tauca qui se situe vers 10 000 ans B.P. (M. SERVANT et J. C. FONTES, 1978). La présence presque constante et en proportion non négligeable des pollens de *Podocarpus* et *Alnus* dans cette partie inférieure de la coupe indiquerait un passage plus fréquent des masses d'air tropical au-dessus de la Cordillère.

Le dépôt de tourbes et le complexe pollinique correspondant (*Isoetes*, *Juncaceae*, *Plantago*...) succédant à un dépôt de gravats, indiquent un changement dans les conditions d'écoulement des eaux superficielles. Les précipitations atmosphériques pendant cette période devaient être sous forme de pluie fine ou de neige. L'absence de variations caractéristiques entre les niveaux 6 et 21, tant du point de vue lithologique que du point de vue palynologique, nous fait penser que la période représentée par la coupe est assez courte. M. SERVANT et J. C. FONTES (1978) mentionnent un changement important dans la sédimentation vers 7 700 ans B.P. qui pourrait correspondre aux dépôts de gravats de la partie supérieure de la coupe.

Th. VAN DER HAMMEN et E. GONZALEZ (1960 a et 1960 b) indiquent une période sèche et froide vers 8 900 à 8 100 B.C. dans plusieurs coupes de Colombie. Cette période qu'ils assimilent au Younger Dryas pourrait correspondre à la période couverte par la coupe étudiée ici.

Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M.
le 27 septembre 1982.

PLANCHE II

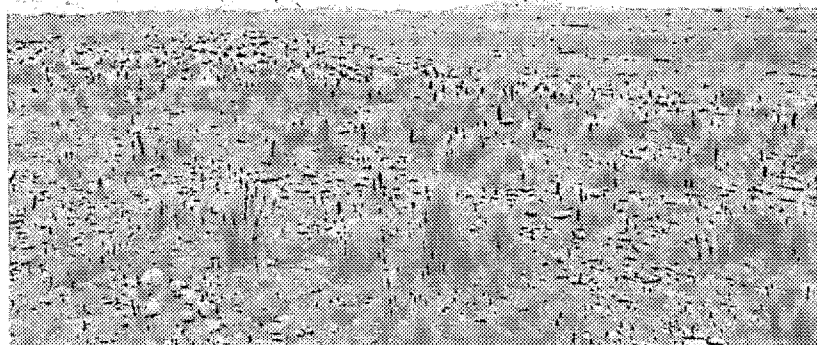


PHOTO 1. — Végétation de type « Puna »
dans la région de la coupe. Altitude :
3.980 m.



PHOTO 2. — Végétation de type « Puna
brava » au nord de Milluni. Zone subnivale.
Altitude : 4.800 m.



PHOTO 3. — Végétation de type « Puna
Brava » en bordure de la zone de toundra
au nord de Milluni. Altitude : 4.750 m.

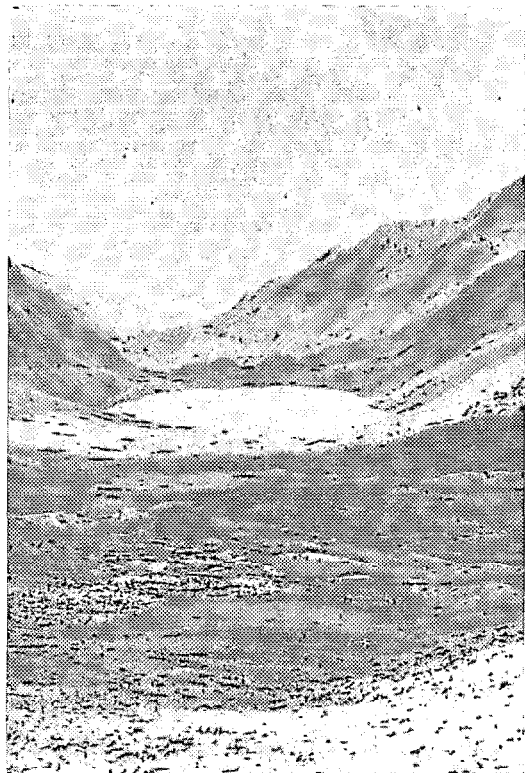


PHOTO 1. — Toundra tourbeuse à *Distichia sp.* près de la lagune Jankho Kkota. Zone subnivale. Altitude : 4.690 m.



PHOTO 2. — « Coussinet » de *Distichia sp.* au-dessus du niveau de l'eau d'un petit lac à *Isoetes sp.* au pied du glacier du mont Wilo Llojeta. Vallée de Hichu Kkota. Altitude : près de 5.000 m.



PHOTO 3. — Vue prise du col du mont Wilo Llojeta montrant le passage des masses d'air amazonien par-dessus la Cordillère.

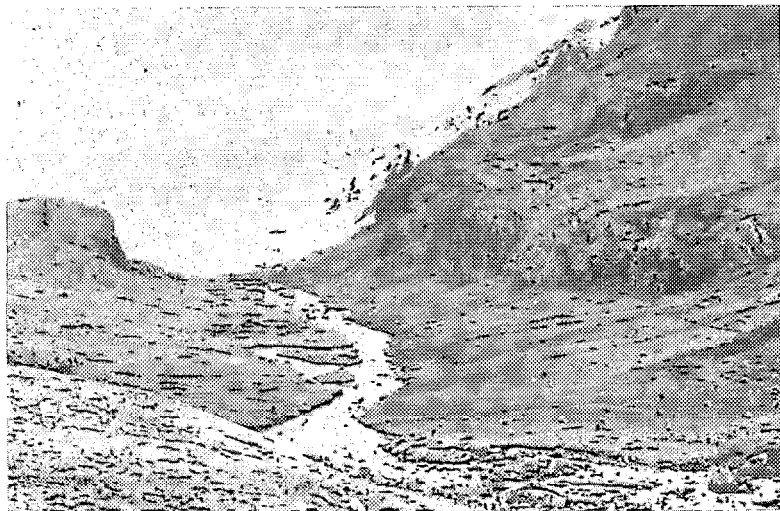


PHOTO 1. — Tourbière à *Distichia* sp., *Plantago* sp. en amont de la lagune Khara Kkota, vallée de Hichu Kkota. Altitude : 4.310 m.

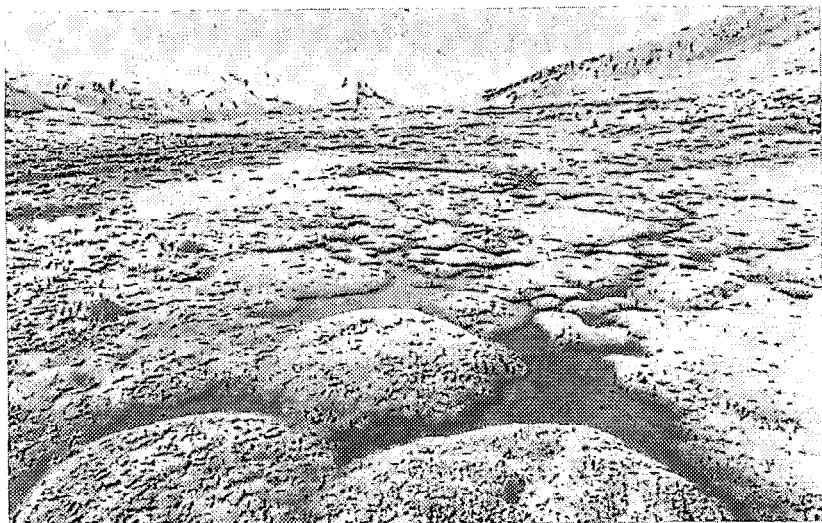


PHOTO 2. — Toundra tourbeuse avec « cous-sinets » de *Distichia* sp. au nord de Milluni. Zone subnivale. Altitude : 4.750 m.

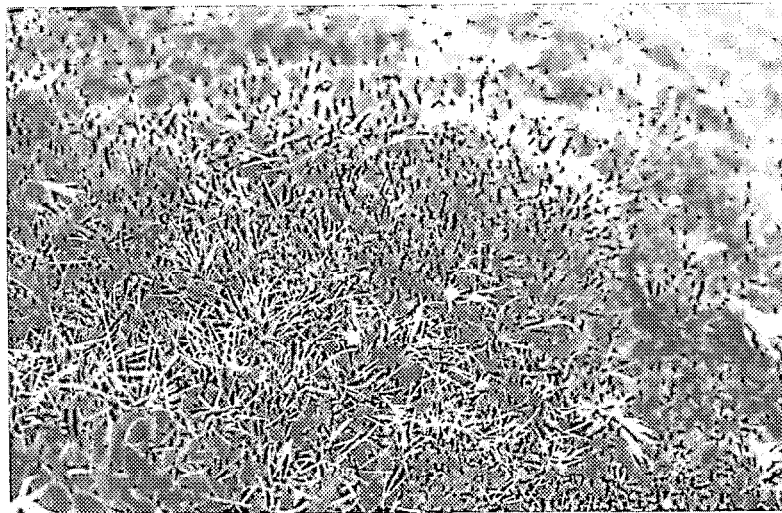


PHOTO 3. — *Distichia* sp. au nord de Milluni. Altitude : 4.750 m.

BIBLIOGRAPHIE

- COLLOT (D.), 1980. — Les macrophytes de quelques lacs Andins (lac Titicaca, lac Poopó, lacs des vallées d'Hicchu-Kkota et d'Ovejhujo). *Rapport polygraphié*, Convenio U.M.S.A.-O.R.S.T.O.M., 115 p., 26 fig.
- GRAF (K.), 1975. — Estudios palinológicos en la cuenca de La Paz y regiones aledañas. *In* : Convención Nacional de Geología, 4. *Revista Técnica Y.P.F.B.*, 4 (3) : 177-93, 5 fig.
- GRAF (K.), 1979. — Untersuchungen zur rezenten Pollen und Sporenflora in der nördlichen Zentralkordillere Boliviens und Versuch einer Auswertung von Profilen aus postglazialen Torfmooren. These Zürich, 104 p., 11 fig., 24 pl.
- RAYNAL-ROQUES (A.), 1979. — Rapport de mission effectuée à La Paz (Bolivie), du 25 juillet au 20 août 1979, 6 p. *multigr.*
- SERVANT (M.) et FONTES (J. Ch.), 1978. — Les lacs quaternaires des hauts plateaux des Andes boliviennes. Premières interprétations paléoclimatiques. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géol.*, vol. X, n° 1 : 9-23, 9 fig., 1 tab.
- SERVANT-VILDARY (S.), 1978. — Les diatomées des dépôts lacustres quaternaires de l'Altiplano bolivien. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géol.*, vol. X, n° 1 : 25-35, 3 fig. 2 pl.
- UNZUETA (O.), 1975. — Mapa ecológico de Bolivia, Memoria Explicativa. La Paz, Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios, 312 p., 79 fig., 3 mapas, 30 tab., 1 mapa adjunto.
- VAN DER HAMMEN (Th.) et GONZALEZ (E.), 1960a. — Holocene and Late Glacial climate and vegetation of Paramo de Palacio (Eastern Cordillera, Colombia, South America). *Geologia en Mijnbouw*, 39^e Jaargang : 737-746.
- VAN DER HAMMEN (Th.) et GONZALEZ (E.), 1960b. — Upper Pleistocene and Holocene climate and vegetation of the « Sabana de Bogota » (Colombia, South America). *Leidse Geologische Mededelingen*, Deel 25 : 261-315.
- YBERT (J. P.), 1981. — Contribución al estudio del Cuaternario del Altiplano boliviano. Analisis palinológico del corte holoceno del Rio Chiarjahuirra. Anais II Congreso Latinoamericano Paleontología. Porto Alegre. Abril 1981.