

## DIAGRAMME SPOROPOLLINIQUE DE LA COUPE HOLOCÈNE DU RIO CHUQUIAGUILLO SUR L'ALTIPLANO BOLIVIEN (1)

Jean-Pierre YBERT

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

### RÉSUMÉ

La coupe du Rio Chuquiaguillo recouvre une période comprise entre environ 15 000 ans et 500 ans B.P. L'analyse palynologique effectuée sur 70 échantillons a permis de mettre en évidence des variations climatiques assez bien marquées. Il convient de noter en particulier une phase relativement humide avant 13 000 ans B.P., une phase froide et sèche entre 13 000 ans et 8 500 ans B.P. et une phase relativement humide à partir de 750 ans B.P.

MOTS-CLÉS : Pollen — Holocène — Altiplano bolivien.

### RESUMEN

DIAGRAMO SPORO-POLÍNICO DEL CORTE HOLOCENO DEL RÍO CHUQUIAGUILLO EN EL ALTIPLANO BOLIVIANO

El perfil del Río Chuquiaguillo cubre un período comprendido entre los 15 000 años B.P. y los 500 años B.P. El análisis palinológico realizado sobre 70 muestras ha permitido poner en evidencia variaciones climáticas bastante marcadas. Es conveniente notar que hay, sobretodo, una fase relativamente húmeda antes de 13 000 años B.P., una fase fría y seca entre 13 000 años y 8 500 años B.P. y una fase relativamente húmeda a partir de 750 años B.P.

PALABRAS CLAVES : Polen -- Hológeno — Altiplano boliviano.

### ABSTRACT

THE POLLEN AND SPORE DIAGRAM OF THE HOLOCENE SECTION OF THE CHUQUIAGUILLO RIVER ON THE BOLIVIAN ALTIPLANO

The cut of Chuquiaguillo river recovers a period between more or less 15 000 years and 500 years B.P. The palynological analysis made on 70 samples has permitted to put in evidence climatic variations quite well differentiated. It is worth noting that particularly there is a relatively humid phase before 13 000 years B.P., a cold and dry phase between 13 000 years and 8 500 years B.P. and a relatively humid phase from 750 years B.P.

KEY WORDS : Pollen — Holocene — Bolivian Altiplano.

### INTRODUCTION

La coupe du Rio Chuquiaguillo est située à environ 8 km au Nord-Est du Centre de La Paz, sur la rive droite du Rio, à proximité de la route des « Yungas » (fig. 2). L'altitude moyenne est de 3 950 m,

les coordonnées géographiques sont 16°27'30" de latitude Sud et 68°05'50" de longitude Ouest. Le climat est relativement sec et froid, selon la classification de O. UNZUETA (1975), cette coupe est située dans la région subtropicale, étage montagnoux, dont la température annuelle moyenne est d'environ

(1) Travail réalisé dans le cadre du Convenio UMSA-O.R.S.T.O.M.





seur non déterminée. On trouve ensuite de la base vers le sommet :

- 17 cm d'argile brune avec galets.
- 70 cm de gravats à galets mal classés pouvant atteindre 20 cm de diamètre. Les joints sont formés d'argiles grises et de sable, les galets de granite sont totalement altérés.
- 65 cm de tourbe brune à joints d'argile, graviers et sable à la base, passant à une tourbe limoneuse au sommet.
- 20 cm de sable argileux avec galets.
- 8 cm d'argile tourbeuse.
- 30 cm de gravats mal classés à joints d'argile grise. Les galets peuvent atteindre 20 cm de diamètre, les granites sont moyennement altérés.
- 20 cm d'argile beige passant à noire vers le milieu, légèrement sableuse avec graviers à la base.
- 41 cm de gravats mal classés à galets pouvant atteindre 30 cm de diamètre et joints d'argile sableuse ocre.
- 30 cm de tourbes argilo-limoneuses et de sables grossiers lenticulaires avec galets pouvant atteindre 30 cm de diamètre.
- 18 cm de tourbe compacte avec quelques joints sableux.
- 34 cm de tourbes avec intercalations de sables, limons et graviers en lits de 2 à 4 cm.
- 24 cm de gravats mal classés à ciment sableux.
- 9 cm de tourbe sableuse avec graviers.
- 40 cm de sable argileux avec intercalations de limons tourbeux avec graviers.
- 50 cm de gravats à ciment sableux.
- 160 cm d'argiles noires tourbeuses avec graviers, galets non classés et sable.
- 75 cm d'alternances de gravats, sables, tourbes et limons.
- 37 cm de gravats mal classés à ciment sabloargileux, plus fin vers le haut.
- 14 cm de tourbe avec galets.
- 34 cm de gravats avec sables, limons lie de vin lenticulaires et quelques lits de tourbe.
- 22 cm de tourbe compacte.
- 54 cm de sable avec galets et fines passées de limons tourbeux.
- 4 cm d'argile grise.

La coupe est surmontée de sables et gravats d'épaisseur non mesurée.

#### INTERPRÉTATION DU DIAGRAMME POLLINIQUE

##### *Les zones sporopolliniques*

Le diagramme pollinique est fortement dominé par les graminées dont le pourcentage ne descend pas au-dessous de 70 %.

En fonction de l'ensemble des courbes, on peut différencier les zones et sous-zones suivantes, du bas vers le haut :

**A<sub>1</sub>** : Cette sous-zone qui correspond aux deux premiers échantillons, présente un pourcentage relativement faible de graminées, les composées sont abondantes, les spores de champignons sont très abondantes. On note également une grande quantité de pollens de *Juncaceae* et de *Plantago* ; les *Bromeliaceae*, les

*Malvaceae* et les *Caryophyllaceae* sont présentes en faible proportion.

**A<sub>2</sub>** : Cette sous-zone présente les mêmes caractéristiques que A<sub>1</sub> en ce qui concerne les graminées et les composées. Les spores de champignons sont beaucoup moins abondantes, les pollens de *Juncaceae* sont bien représentés quoique en proportion plus faible que dans l'échantillon 148. Les *Plantago* sont aussi importants que précédemment et on trouve également des *Cruciferae*, *Bromeliaceae*, *Malvaceae*, *Caryophyllaceae*, ainsi que *Azorella*.

Cette sous-zone comprend les échantillons 149 à 151 inclus.

**B<sub>1</sub>** : Cette sous-zone qui comprend les échantillons 152 à 167, se caractérise par un pourcentage élevé de pollens de *Gramineae* excepté à l'échantillon 159, les spores de champignons sont également très abondantes et on trouve des œufs de Plathelminthes en quantité non négligeable.

Les pollens de *Juncaceae* et de *Plantago* sont présents en faible proportion. On trouve des spores d'*Isoetes* et de *cf. Ophioglossaceae*, par contre, il n'y a pas de *Bromeliaceae*. Le nombre de taxons différenciés est plus important que dans le reste de la coupe, on peut noter en particulier les *Cruciferae*, *Cactaceae*, *Calceolaria*, *Amaranthaceae*, *Papilionaceae*, *Geraniaceae*, *Oxalis*, *Azorella*, *Malvaceae*, *Caryophyllaceae*, *Chenopodiaceae*, *Valerianaceae*, *Ephedra* et *Podocarpus*.

**B<sub>2</sub>** : Dans cette sous-zone qui correspond aux échantillons 168 à 175, les *Gramineae* sont à peine moins importantes qu'en B<sub>1</sub>, par contre les spores de champignons sont beaucoup moins abondantes. Le nombre de taxons différenciés est moins important ; on note, outre les *Compositae* présentes tout le long de la coupe, des *Caryophyllaceae* ainsi que, dans le bas de la zone, des *Malvaceae*, *Chenopodiaceae* et *Ephedra*.

**B<sub>3</sub>** : Cette sous-zone comprend les échantillons 176 à 183 ; elle se caractérise par une grande abondance de spores de champignons. Les pollens de *Gramineae* sont dans l'ensemble, légèrement plus abondants qu'en B<sub>2</sub>. Cette sous-zone ressemble à B<sub>1</sub>, toutefois les *Isoetes* ne sont présents qu'à un niveau. Le nombre de taxons différenciés est encore plus faible qu'en B<sub>2</sub>, on peut citer, outre les *Compositae*, des *Cruciferae*, *Umbelliferae*, *Caryophyllaceae* et *Chenopodiaceae*.

**C<sub>1</sub>** : Cette sous-zone inclut les échantillons 184 à 186, elle se caractérise par une grande abondance de *Gramineae* qui atteignent 100 % et une grande abondance de spores de champignons. En dehors de ces deux groupes on note quelques rares *Compositae*, *Chenopodiaceae* et *Alnus* ainsi que l'apparition de spores de mousses ou hépatiques.

**C<sub>2</sub>** : Cette sous-zone inclut les échantillons 187 à 197, elle se caractérise par un pourcentage de *Gramineae* équivalent à celui rencontré dans la zone B<sub>2</sub>, la présence de pollens de dicotylédones indéterminés, l'absence quasi complète de *Juncaceae* et un pourcentage moyen de spores de champignons. On trouve également bien représentées les spores de mousses ou hépatiques ainsi que les pollens de *Plantago*.

**C<sub>3</sub>** : Cette sous-zone qui correspond aux échantillons 198 à 200, se différencie de l'antérieure et de la suivante par un pourcentage de *Gramineae* nettement plus faible et un pourcentage de *Chenopodiaceae* important.

**C<sub>4</sub>** : Cette sous-zone qui correspond aux échantillons 200 à 204 est équivalente à la sous-zone C<sub>2</sub> en ce qui concerne les graminées et les spores de champignons. Elle se différencie des autres zones par l'importance des pollens de *Juncaceae* et des spores de mousses ou hépatiques qui atteignent ici leurs maximums.

**D** : Cette zone correspond aux échantillons 205 à 213. Elle se caractérise par une grande importance des graminées qui atteignent 100 % aux niveaux 205 et 210 ainsi que par une grande importance des spores de champignons.

Les *Juncaceae* sont toujours assez abondantes ainsi que les spores de mousses ou d'hépatiques. On trouve des pollens de *Plantago* ainsi que quelques *Compositae* et *Chenopodiaceae*. Les autres pollens représentés sont peu variés et en très faible quantité.

La partie médiane, échantillons 207 à 209 présente un pourcentage plus faible de graminées et de spores de champignons et correspond à une sous-zone plus humide.

**E** : Cette zone comprend les échantillons 214 à 216. Elle se caractérise par un pourcentage de graminées relativement bas équivalent à celui rencontré dans la zone A<sub>2</sub>. Les spores de champignons sont moyennement abondantes.

Les pollens de *Juncaceae* sont toujours assez bien représentés. Il y a une assez grande variété de pollens parmi lesquels il convient de noter *Ephedra*, *Alnus* et des *Gentianaceae*.

### Les variations climatiques

L'interprétation de l'analyse palynologique de la coupe du Rio Chuquiaguillo est peu aisée en raison de la forte dominance des Graminées et du fait que nos connaissances sur la composition floristique et sur le fonctionnement des tourbières d'altitude sont encore incomplètes. On peut toutefois donner une interprétation provisoire à partir d'hypothèses

que nous pensons pouvoir vérifier ultérieurement par l'analyse de sédiments lacustres obtenus par carottage dans le lac Titicaca et dans certains lacs d'altitude (D. WIRRMANN, 1983).

Il est généralement vérifié que la proportion de Graminées varie en fonction du climat régional et plus particulièrement en fonction de l'humidité atmosphérique ou du bilan hydrique du sol. On peut donc considérer que la courbe du pourcentage des pollens de cette famille donne une bonne idée des variations de ce bilan hydrique, les pourcentages les plus élevés correspondant aux périodes les plus sèches. A ces mêmes périodes correspondent les échantillons les plus riches en pollens et présentant la plus grande variété taxonomique, ce qui est un bon indicateur de sécheresse atmosphérique (J.-P. YBERT, 1980).

Aux échantillons présentant les plus faibles pourcentages de pollens de Graminées correspondent les plus forts pourcentages de spores et de pollens de plantes de milieu humide telles que les *Plantaginaceae* et les *Juncaceae* et, sur le plan lithologique, des dépôts grossiers à dominance de gravats, ce qui semble indiquer un régime de pluies du type tropical.

Les zones où les Graminées sont plus abondantes (par exemple B<sub>1</sub>, B<sub>3</sub>, C<sub>1</sub>) correspondent au contraire à des dépôts de tourbes et donc probablement des précipitations plus fines, plus régulières et moins abondantes. Les maximums de pourcentage de spores de champignons que présentent ces mêmes niveaux peuvent s'expliquer par le pourrissement des plantes du fait de la stagnation des eaux.

En ce qui concerne la température, la présence de *Distichia*, *Azorella*, *Malvaceae* du type *Nototriche* dans la zone A, indique un climat sensiblement plus froid que l'actuel, ces plantes se rencontrant actuellement à des altitudes plus élevées que celle de la coupe. *Distichia* est cité entre 4 150 et 5 200 m, *Nototriche* entre 4 500 et 5 200 m, *Azorella* entre 3 700 et 4 500 m par K. GRAF (1979) et O. UNZUETA (1975).

La présence de *Isoetes* dans la zone B, associée à des *Valerianaceae* tend à indiquer un climat au moins aussi froid que dans la zone A (*Valeriana nivalis* se rencontre entre 4 500 et 5 300 m et *Isoetes* entre 4 250 et 5 000 m), elle indique également la présence de petits lacs ou de mares permanentes, *Isoetes* ne se développant que dans des eaux libres (D. COLLOT, 1980).

On peut estimer que la température pendant les périodes A et B était d'environ 3° à 6° inférieure à la température moyenne actuelle (J.-P. YBERT, 1981-1982). Il devait en être sensiblement de même pour les zones C<sub>4</sub>, D et E où les pollens de *Juncaceae* sont également assez abondants.

La succession des changements climatiques observés sur cette coupe peut donc être interprétée de la façon suivante :

- Zone A, antérieure à 13 000 ans B.P. : plus froid que l'actuel et humide.  
 Zone B, entre  $\approx$  13 000 ans et  $\approx$  8 500 ans B.P. : plus froid que l'actuel et assez sec dans son ensemble.  
 Zone C, entre  $\approx$  8 500 ans et  $\approx$  2 000 ans B.P. : moins froid que A et B pour C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> et C<sub>3</sub> et humidité équivalente à celle de la zone A, plus accentuée en C<sub>3</sub>.  
 Zone D, entre  $\approx$  2 000 ans et  $\approx$  800 ans B.P. : plus froid que l'actuel, peu humide, surtout en début et fin de zone.  
 Zone E, après  $\approx$  800 ans B.P. : plus froid que l'actuel et assez humide.

## CONCLUSIONS

L'interprétation de la coupe du rio Chuquiaguillo telle que nous pouvons la faire avec les données que nous possédons actuellement nous amène à définir une période froide et humide antérieure à 13 000 ans B.P., suivie d'une période froide et sèche, particulièrement accentuée pendant la sous-zone B<sub>1</sub>, laquelle inclut au moins partiellement l'extension lacustre Tauca datée de 12 500 à 10 500 ans B.P. (M. SERVANT, J.-Ch. FONTES, 1978). L'étude des diatomées de cet épisode lacustre a mis en évidence une paléosalinité élevée qui ne peut s'expliquer que par une forte évaporation (S. SERVANT-VILDARY, 1978). Il y aurait donc concordance entre les données palynologiques, diatomologiques et sédimentologiques, en faveur d'un climat sec pour cette période, ce qui est en contradiction apparente avec le bilan hydrologique positif de l'extension lacustre Tauca. Cette même période pourrait correspondre à l'épisode sec et froid indiqué par Van der HAMMEN et GONZALEZ (1960 a et 1960 b) vers 8 900 à 8 100 ans B.C. en Colombie.

A cette période sèche fait suite une période plus humide entre environ 8 500 ans et 1 500 ans B.P., les sous-zones C<sub>1</sub> à C<sub>2</sub> étant en outre moins froides que la période antérieure. D. WIRRMANN (*sous presse*) note une période de bas niveau du lac Titicaca entre 5 323 et 3 650 ans B.P., soit pendant la sous-zone C<sub>2</sub> ce qui est, là aussi, en contradiction avec l'interprétation palynologique. La sous-zone C<sub>3</sub> située vers 3 500 à 2 500 ans B.P. correspond au maximum d'humidité de cette période.

A partir de C<sub>4</sub>, le froid s'accroît de nouveau et on peut noter deux courtes phases sèches vers 1 500 ans et vers 750 ans B.P., encadrant une phase un peu plus humide. Ensuite, à partir de 750 ans B.P. l'humidité s'accroît de nouveau.

C. HEUSSER (1960) fait état d'un réchauffement sensible à partir de 7 000 ans B.P. ou un peu avant,

et d'un climat sec entrecoupé de périodes humides qui pourrait correspondre à notre zone C.

K. GRAF (1981), à partir de l'analyse palynologique de tourbières d'altitude de Bolivie définit un climat froid et sec entre 10 000 et 7 500 ans B.P., suivi d'une période plus chaude entre 7 500 et 5 500 à 3 500 ans B.P., avec une augmentation de l'humidité à partir de 5 500 ans B.P. Cet auteur indique également un climat relativement froid et peu humide équivalent au climat actuel, à partir de 1 500 ans B.P.

Les résultats obtenus par K. GRAF sont assez en accord avec ceux que nous avons obtenus à partir de l'analyse de la coupe du rio Chuquiaguillo, les variations dans les dates peuvent être attribuées aux incertitudes de datation et également à un échantillonnage insuffisamment serré.

La zone étudiée ici, se situe à une altitude élevée (près de 4 000 m) dans la région intracordillère, en dehors de l'influence directe des masses d'air humides et chaudes du bassin amazonien. Il est probable que le climat de cette région a toujours été de dominance sèche comme l'atteste l'absence complète de pollens d'arbres, exception faite de quelques pollens de *Podocarpus* et *Alnus* apportés par les vents. Les variations enregistrées sont de faible amplitude et dues plutôt à des variations du régime des pluies (SERVANT *et al.*, 1981) comme tend à le démontrer la concordance entre les phases sèches et les phases de sédimentation fine.

Des études complémentaires et notamment une analyse détaillée des carottes obtenues récemment dans le lac Titicaca et dans les lacs de la vallée de Hichu-Kkota devront nous permettre de préciser ces interprétations paléoclimatiques et, nous l'espérons, d'expliquer les contradictions entre celles-ci et les bilans hydrologiques des lacs.

*Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M.,  
le 9 décembre 1983*

## BIBLIOGRAPHIE

- COLLOT (D.), 1980. — Les macrophytes de quelques lacs Andins (Lac Titicaca, Lac Poopo, lacs des vallées d'Hicchu-Khota et d'Ovejhujo). *Rapport polygraphié*. Convenio UMSA-O.R.S.T.O.M., 115 p., 28 fig.
- GRAF (K.), 1979. — Untersuchungen zur rezenten Pollen und Sporenflora in der nordlichen Zentralkordillere Boliviens und Versich einer Aueswetung von Profilen aus postglazialen Torfsmoren. Thèse Zurich. 104 p., 11 fig., 24 pl.
- GRAF (K.), 1981. — Palynological investigations of two post-glacial peat bogs near the boundary of Bolivia and Peru. *Journal of Biogeography*, 8 : 353-368.
- HEUSSER (C.), 1960. — Late Pléistocene environments of the Laguna de San Rafael Area, Chile. *Geogr. Rev.* 50 : 555-577.
- SERVANT (M.), 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 tabl.
- SERVANT (M.), FONTES (J.-Ch.), ARGOLLO (J.), SALIEGE (J. F.), 1981. — Variations du régime et de la nature des précipitations au cours des quinze derniers millénaires dans les Andes de Bolivie. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 246 : sous presse.
- 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 tabl., 1 mapa adjunto.
- VAN DER HAMMEN (Th.), GONZALEZ (E.), 1960a. — Holocene and late Glacial climate and vegetation of Paramo de Palacio (Eastern Cordillera, Colombia, South America), *Geologie en Mijnbouw*, 39<sup>e</sup> Jaargang : 737-746.
- VAN DER HAMMEN (Th.), 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.
- WIRRMANN (D.), 1983. — Campagne de carottage en Bolivie avec le carottier Mackereth. Juin 1983.
- WIRRMANN (D.). — Une période Holocène (3 650-5 325 ans B.P.) de bas niveau du lac Titicaca. Bolivie. En préparation.
- YBERT (J. P.), 1980. — Le contenu pollinique de l'atmosphère en Côte d'Ivoire et au Tchad. *Grana*, 19 : 31-46, 14 fig.
- YBERT (J. P.), 1981. — Contribución al estudio del Cuaternario del Altiplano boliviano. Análisis palinológico del corte holoceno del Rio Chiarjahuirá. Anais 11, Congreso Latino-Americano Paleontología. Porto Alegre, abril 1981.
- YBERT (J. P.), 1981-1982. — Analyse palynologique de la coupe Holocène du Rio Chiarjahuirá sur l'Altiplano bolivien. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géol.*, vol. XII, n° 2 : 125-133.