

Fig. 1. — Spectres palynologiques de la carotte TD et de Chuquiaguillo.

ble, dès maintenant, de proposer les éléments de scénarios suivants.

Pour la carotte TD, les zones G à D correspondent à un climat froid se réchauffant progressivement vers le haut et devenant également plus sec à l'échelle régionale. Les eaux du lac sont hautes en G, F et E, elles sont plus basses en D. La zone C correspond à un climat régional sec, les eaux du lac sont basses et salées.

Les zones B et A correspondent à un climat régional humide, les eaux du lac sont douces.

Pour la coupe du rio Chuquiaguillo, la zone E correspond à un climat humide et froid.

La zone D, entre 13 000 et 7 000 ans correspond à un climat froid, sec sur le plan régional mais avec existence de tourbières. Elle correspond aux zones D, E, F de la carotte TD.

La zone C entre 5 000 et 2 000 ans correspond à un climat régional humide mais sans formation de tourbières dans sa partie inférieure. Elle correspond à la zone B de la carotte TD.

La zone B, entre 1 500 et 700 ans correspond à un climat régional sec et froid, avec formation de tourbières.

La zone A, après 700 ans correspond à un climat humide et froid.

## Végétation actuelle et fossile de haute altitude (exemple d'une vallée glaciaire : Hichu Kkota, Cordillère Royale des Andes de Bolivie)

C. OSTRIA<sup>(1)</sup>

### INTRODUCTION

La vallée d'Hichu Kkota, située au nord-est de La Paz, dans la Cordillère Royale (16° 10' lat. S., 68° 22'

long. O.), appartient au « domaine alto-andin » défini entre 4 100 m et 5 200 m (CABRERA, 1957). Elle s'étage de 4 300 m à 5 000 m d'altitude. Le réseau hydrique, alimenté par un cirque de glaciers, se compose de trois grands lacs (4 310 m, 4 450 m, 4 690 m).

(1) Laboratoire de Botanique tropicale, Université Paris VI, 12, rue Cuvier, 75005 Paris (Programme GEOCIT).

La végétation alto-andine a fait l'objet de nombreux travaux, en particulier en Argentine, en Colombie, au Venezuela, au Chili et au Pérou. Par contre, en Bolivie, les rares études sont principalement consacrées à des inventaires floristiques. Les travaux sur l'écologie et le fonctionnement des végétations ne font que commencer.

En ce qui concerne la végétation holocène, l'étude des macrorestes n'a été réalisée qu'en Colombie.

## PRÉSENTATION DU MILIEU ACTUEL

### *Le climat*

Le climat de la région est déterminé par l'alternance de deux saisons caractérisées par le régime des précipitations. Les variations saisonnières de la température sont peu contrastées, au contraire les amplitudes thermiques nyctémérales sont élevées tout au long de l'année (12,8 °C en moyenne annuelle) :

	saison sèche (avril à septembre)	saison humide (octobre à mars)
Température moyenne annuelle	4,3 °C	6,2 °C
Précipitations moyennes	19,1 mm	120,0 mm
Humidité relative moyenne	55,0 %	69,5 %

Le gradient altitudinal de la température est de 0,53 °C/100 m. Il a été obtenu à partir des mesures de températures dans le sol, effectuées à différentes profondeurs et à plusieurs altitudes.

Les conditions climatiques, la topographie et l'altitude ne permettent pas les cultures. La population humaine (4 hab./km<sup>2</sup>) se consacre à l'élevage de camélidés (lamas, alpagas) et ovins (moutons).

### *La végétation*

La physionomie de la vallée est marquée par deux paysages :

- les versants ;
- le fond de vallée.

*Les versants secs*, abrupts sont occupés par une végétation très clairsemée principalement constituée par des graminées en touffes, qui dominent dans la couverture végétale, et par quelques arbustes (Compositées, Papilionacées).

*Le fond de la vallée*, humide, est occupé par une végétation morphologiquement homogène : herbacée-rase. Mais la physionomie des tapis végétaux, la composition floristique, et les conditions édaphiques amènent à subdiviser cet ensemble en deux :

— *Les prairies humides* ou « *vegas* » s'étendent du bas de la vallée jusqu'à environ 4 500 m. Elles sont caractérisées par un tapis végétal continu, sur un sol argileux sursaturé en eau en saison des pluies. Le réseau de drainage se compose de nombreux ruisselets et trous d'eau, système superficiel disparaissant en saison sèche. Les plantes en rosettes acaules confèrent à ces prairies leur physionomie propre (Plantaginacées, Cyperacées, nombreuses Composées...).

— *Les tourbières* ou « *bofedales* » remplacent les prairies à une altitude supérieure à 4 500 m. Trois espèces en coussin forment la base du tapis végétal : *Distichia muscoides*, *Distichia filamentosa*, *Oxycloe andina* (Juncacées). Les conditions du milieu : basses températures, raréfaction de l'oxygène et de l'azote entraînent une activité réduite des microorganismes décomposant les végétaux (RUTHSATZ, 1978). Ceux-ci poussent donc directement sur les restes de matière organique accumulés sur la roche-mère (granitique) ou sur un sol d'origine morainique (graviers, sables). L'apport en eau est constant (écoulements glaciaires, nappe phréatique), un réseau de ruisseaux profonds (10 à 50 cm) découpe le tapis végétal en îlots de tailles variables.

## LA VÉGÉTATION HOLOCÈNE

L'étude des macrorestes végétaux a été réalisée sur une coupe affleurant à 4 800 m d'altitude (haute de 4,61 m) située au milieu de la zone des tourbières au niveau des moraines de la dernière génération (220 ± 50 ans B.P., cf. GOUZE *et al.*, 1986).

### *Description de la coupe Wila Llojeta*

La méthodologie utilisée est celle mise au point au laboratoire du Professeur Van Der Hammen (Université d'Amsterdam). Nous avons prélevé 10 cm<sup>3</sup> de sédiments tous les 10 cm environ, soit 44 échantillons.

Les résultats sont donnés dans le diagramme synthétique ci-joint. Ne sont représentés que les pourcentages de végétaux de flore sèche et de flore de tourbière, le complément à 100 % de matière organique est constitué par des racines indéterminables. 5 zones ont été mises en évidence :

— V : 461-394 cm : tourbes plus ou moins argileuses où sont présents des restes de plantes de tourbières (*Distichia* sp., mousses aquatiques) surtout concentrés à la base.

— IV : 394-332 cm : zone de transition ; les niveaux à tourbe sont moins épais et en alternance avec des argiles et des sables. Disparition des éléments de tourbière et apparition d'une flore plus sèche au sommet (graminées).

— III : 332-204 cm : tout au long de cette séquence, présence de restes végétaux caractérisant une flore sèche : graminées, mousses terrestres. Deux niveaux renferment un fort pourcentage (20-50 %) d'épidermes de graminées carbonisés.

— II : 204-124 cm : réapparition de restes de végétaux de tourbière.

— I : 124-0 cm : macrorestes très mal conservés, identification possible sur 3 niveaux seulement, présence d'éléments de flore sèche, existence de quelques mousses aquatiques à un niveau.

### *Discussion*

Plusieurs hypothèses peuvent être émises à partir de l'étude de cette coupe :

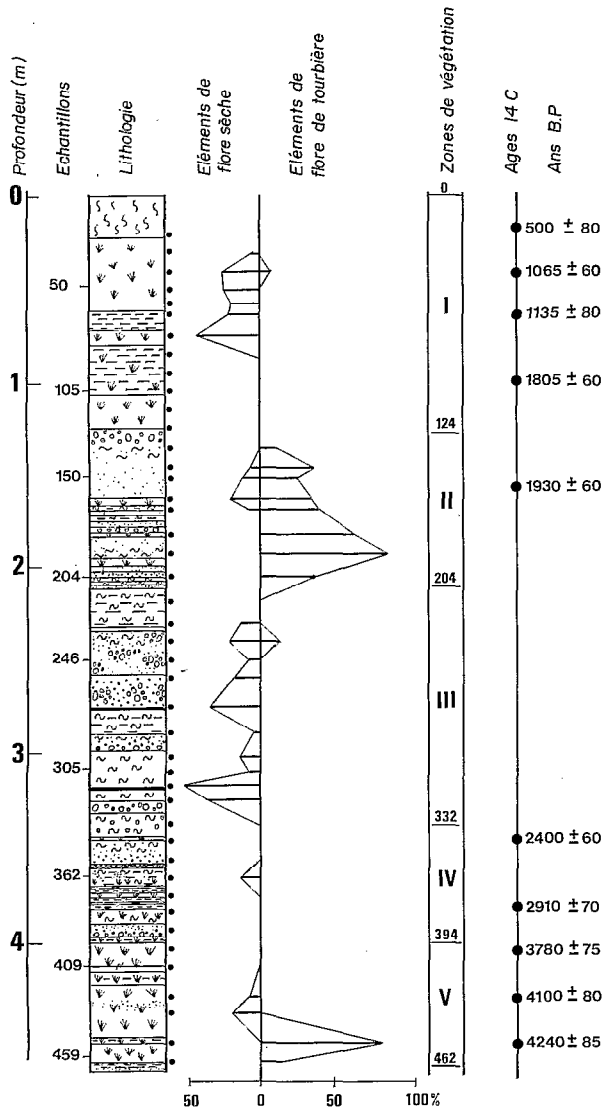


Fig. 1. — Coupe Wila Llojeta 4 800 m à Hichu Kkota. Représentations synthétiques.

a) à la base (V), la flore de l'époque serait semblable à l'actuelle ;

b) en IV et III, les macrorestes trouvés indiquent la présence d'une flore plus sèche que l'actuelle, avec un maximum de sécheresse entre 312 et 280 cm où l'on trouve des épidermes carbonisés ;

c) en II et I, retour à une flore de tourbière reflétant l'évolution propre de la tourbière : les coussins de *Distichia* sp. s'assèchent, ils sont envahis par des graminées, puis apparaissent les mousses aquatiques.

Ces différentes zones sont mises en relation avec les datations effectuées sur la coupe :

Zone V. Avant  $4\,240 \pm 85$  ans B.P. : tourbières.

Zones IV et III. Après  $4\,240$  et avant  $1\,930 \pm 60$  ans B.P. : flore sèche, assèchement des tourbières au niveau régional. En effet, on retrouve dans d'autres coupes, aux mêmes époques, des zones de tourbes carbonisées (SERVANT et FONTES, 1984). L'étude des pollens, effectuée sur la coupe du Rio Chuquiaguillo, permet de penser que le climat était alors plus froid que l'actuel (YBERT, 1984). L'étude des macrorestes montre que le climat était aussi plus sec.

Zones II et I. Un peu avant  $1\,930$  ans B.P. : retour à un paysage de tourbière.

L'étude des macrorestes a permis de définir une phase plus sèche que l'actuel comprise entre  $4\,240$  et  $1\,930$  ans B.P., la réapparition des tourbières, donc retour à une phase plus humide, comme l'actuel, se situerait vers  $2\,000$  ans B.P.

#### CONCLUSION

Le travail de terrain effectué pendant un an et demi en Bolivie nous a permis d'avoir une bonne base de connaissance sur le fonctionnement des végétations alto-andines et sur leur composition floristique. Ce travail a été très utile pour l'étude des macrorestes qui ne peuvent être déterminés qu'en se référant à la flore actuelle. Les résultats obtenus montrent que les végétaux fossiles sont des marqueurs précis des variations climatiques au cours du quaternaire récent. L'étude d'autres coupes permettrait de préciser ces variations. La constitution d'un catalogue d'épidermes, graines, et fruits susceptibles de se retrouver dans les sédiments devra être maintenant réalisée pour continuer le travail paléobotanique.

#### BIBLIOGRAPHIE

CABRERA (A.L.), 1957. — La vegetación de la Puna Argentina. *Revta. Invest. Agric.*, 11 (4) : 317-412. Buenos-Aires.

GOUZE (P.), ARGOLLO (J.), SALIÈGE (J.F.) et SERVANT (M.), 1986. — Interprétation paléoclimatique des oscillations des glaciers au cours des 20 derniers millénaires dans les régions tropicales ; exemple des Andes boliviennes. *C. R. Acad. Sc.*, Paris, t. 303, Sér. II (3) : 219-224.

RUTHSATZ (B.), 1978. — Las plantas en cojines de los semi-

desiertos andinos del Noroeste argentino. *Darwiniana*, 21 (2-4) : 491-539. Buenos-Aires.

SERVANT (M.) et FONTES (J.C.), 1984. — Les basses terrasses fluviales du quaternaire récent des Andes boliviennes. Datations par le  $^{14}\text{C}$ . Interprétation paléoclimatique. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, vol. XIV (1) : 15-28.

YBERT (J.P.), 1984. — Diagramme sporopollinique de la coupe holocène du Rio Chuquiaguillo sur l'Altiplano bolivien. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, vol. XIV (1) : 29-34.