

Phase d'avancée des glaciers au Dryas récent dans les Andes du Pérou

Bernard Francou, Philippe Mourguiart et Marc Fournier

C.R. Acad. Sci. Paris,
t. 320, série II a,
p. 593 à 599,
1995

ORSTOM, Bolivie, Calle EE. W. 1487,
CP 9214, Le Paz, Bolivie.

Résumé Sur la base d'une étude géomorphologique, de datations ^{14}C et d'une analyse des pollens et spores réalisées sur des dépôts glaciaires d'une haute vallée andine, on apporte des éléments prouvant l'existence d'une phase froide entre environ 11 et 10 ka BP. Cette étude fournit des arguments en faveur de l'existence d'un stade équivalent au Dryas récent dans les Andes, question qui fait encore l'objet de controverses en Amérique du Sud.

Mots-clés : Dryas récent, Andes péruviennes, Moraines, Pollen.

Abstract Glacier advance during the Younger Dryas in the Andes of Peru

Geomorphological studies, ^{14}C datings and pollen analyses conducted on till deposits in a high Andean valley have provided convergent evidence for the existence of a cold period between about 11 and 10 ka BP. This paper supplies new arguments for the much debated affair of the presence in the Andes of a Younger Dryas stage.

Keywords: Younger Dryas, Peruvian Andes, Moraine, Pollen.

**Abridged
English
Version**

UP to now, there is no agreement on the possible occurrence in the Andes of a cold period during the North Hemisphere Younger Dryas (figure 1). In a high valley of the Central Andes in Peru, two sites near Milloc Camp (4,350 m a.s.l., figures 2 and 3) have provided a core and a natural section from which we have taken samples for analysing the glacier retreat at the Late Glacial Holocene limit. The radiocarbon dates in the SPM3 core suggest that the glacier has retreated up to 4,300 m a.s.l. before 11 ka BP (figures 3 and 4). The sections STM 2-3-4, 2 km upstream, offer the possibility to date the so-called "group of moraines M3", known in Peru and Bolivia as an important stage in the Late Glacial retreat of the Andean glaciation. ^{14}C dates show that the glacier kept the same

position, or was in progress after 11 ka BP and before 10 ka BP, and then retreated rapidly (figures 3 and 4). Interpreting the pollen diagram from the SPM 3 core, we can provide some evidence that a cold phase has occurred during the same period 11-10 ka BP. If we consider as a base of palaeo-temperature reconstitution not only the classical and questionable Graminae/Compositae ratio, but also the decrease in the taxon number with altitude, it is possible to point out two short cold signals: one before 10,970 ka BP, another before 10,465 ka BP (figure 5). Thus, geomorphological and palynological evidence, supported by ^{14}C datings agree with the presence in the Andes South of Equator of a short period favourable to glacier readvance which corresponds to the Younger Dryas.

09 OCT. 1995

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire
N° 142486 ex 1
Cote : B

Note

présentée par
Claude Lorius.

remise le 31 janvier 1994,
acceptée après révision
le 16 janvier 1995.

I. INTRODUCTION

Aux basses latitudes de l'hémisphère sud, les dates auxquelles ont eu lieu le dernier maximum glaciaire et la déglaciation qui l'a suivi commencent à être connues avec une relative précision. Il est maintenant établi que le maximum de la dernière glaciation s'est produit entre 22 et 14 ka BP dans les Andes Centrales du Pérou et de Bolivie (Clapperton, 1993 a; Seltzer, 1993). Des arguments fondés sur des datations ^{14}C permettent même de fixer l'ultime phase entre 16 et 14 ka BP (Mercer, 1984; Gouze *et al.*, 1986; Argollo *et al.*, 1987; Seltzer, 1990), date tardive par rapport aux événements établis pour la dernière grande glaciation des latitudes hautes et moyennes de l'hémisphère nord (Sibrava *et al.*, 1986). Dès lors, on peut se demander comment s'est effectuée la déglaciation dans les Andes et, en particulier, si la chronologie des événements a été comparable à celle établie en Europe et en Amérique du Nord au Tardiglaciaire. C'est encore un sujet très controversé. Dans les Andes de Colombie, un scénario du type européen a été mis en évidence (Stades et interstades *Susaca*, *Ciega*, *Guantiva* et *El Abra*), sans toutefois reposer sur une chronologie précise (Van der Hammen *et al.*, 1981). Au contraire et pour certains auteurs, dans la région des lacs au Chili et en Patagonie-Terre de Feu, il n'y aurait aucune évidence de changements dans la végétation synchro-

ne des stades *Ciega* ou *El Abra* (Dryas ancien ou Dryas récent) (Villagrán, 1988 a et b) ou dans les associations de coléoptères (Högan-son et Ashworth, 1992). Dans la même région, d'autres auteurs repèrent, dans les spectres polliniques, un épisode froid attribué au Dryas récent (Heusser, 1984 et 1989; Heusser et Rabassa, 1987) s'appuyant sur l'existence de dépôts morainiques datés entre 12 et 10 ka BP (Mercer, 1976). Dans les Andes Centrales du Pérou et de Bolivie, il existe de nombreuses évidences de stationnements ou de réavancées des glaciers entre 12 et 10 ka BP (Gouze *et al.*, 1986; Seltzer, 1990; Clapperton, 1993 b). En revanche, peu de spectres polliniques couvrent cette tranche de temps (figure 1). Le seul enregistrement susceptible d'apporter des informations précises serait le diagramme de Junín/Rio Blanco (Hansen *et al.*, 1984), mais les auteurs ne distinguent aucun événement particulier entre 12 et 3 ka BP. Le spectre pollinique de la laguna Junín a été réinterprété par Graf (1989). Les premiers auteurs mentionnés, pour interpréter le diagramme obtenu en termes de changements paléoclimatiques, se basent sur les variations relatives des rapports entre éléments caractéristiques des différentes biozones altitudinales, à savoir *super-puna/puna*, *puna/sub-puna* ou *sub-puna/Andean forest*. Ainsi, une augmentation des éléments caractéristiques de la forêt andine (*Moraceae*, *Urticaceae*, *Podocarpus*, *Hedyosmum*,...) sous-entend une élévation en

Figure 1 Ages obtenus entre 12 et 10 ka BP sur des diagrammes palynologiques en provenance des cordillères du Pérou et de Bolivie.

^{14}C ages in the range 12-10 ka BP obtained on palynological diagrams from Peruvian and Bolivian cordilleras

Âges (BP)	Auteurs	Altitude (m)	Site	Pays
12 010	Hansen <i>et al.</i> , 1984	4 100	Junin	Pérou
11 945	Hansen <i>et al.</i> , 1984	4 270	Rio Blanco	Pérou
10 985	Hansen <i>et al.</i> , 1984	4 100	Junin	Pérou
10 565	Hansen <i>et al.</i> , 1984	4 270	Rio Blanco	Pérou
10 050	Hansen <i>et al.</i> , 1984	4 500	Huatacocha	Pérou
9 800	Graf, 1992	4 750	Chacaltaya B	Bolivie
9 645	Graf, 1992	4 070	Rio Kaluyo	Bolivie
9 560	Graf, 1992	4 450	Cotapampa	Bolivie
10 970	cette étude - BY 980	4 325	Milloc	Pérou
10 465	UZ 1034 (n° laboratoire)	4 325	Milloc	Pérou
10 090	BY 262	4 325	Milloc	Pérou
9 890	BY 260	4 325	Milloc	Pérou
9 690	BY 999	4 325	Milloc	Pérou
9 600	BY 982	4 325	Milloc	Pérou
9 500	BY 981	4 325	Milloc	Pérou

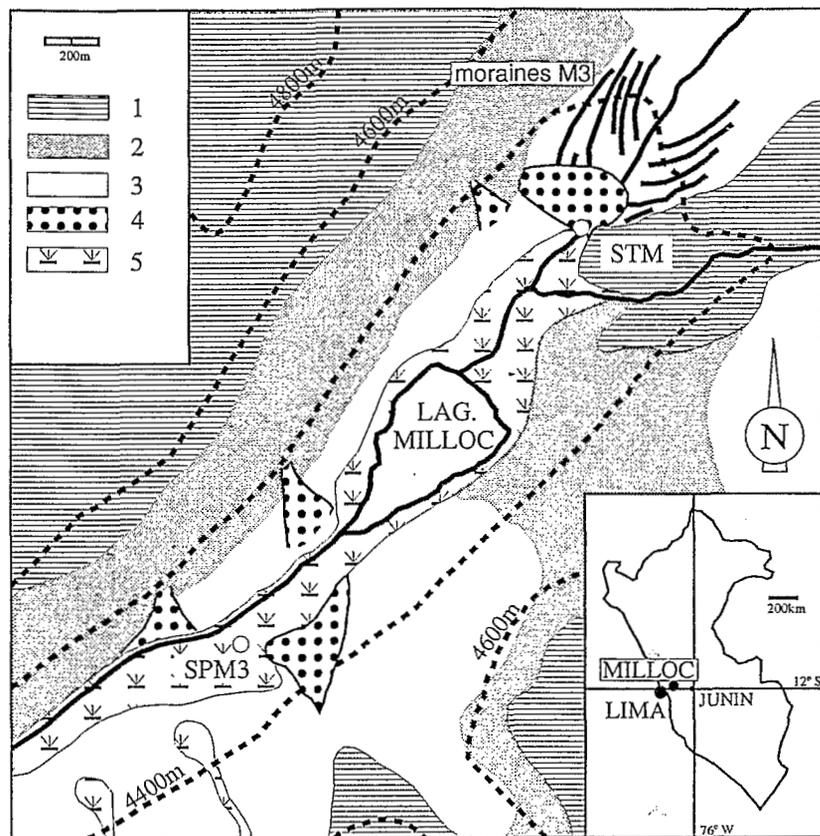
altitude de la limite supérieure de cette même forêt et, par conséquent, une augmentation de la température moyenne. Cette interprétation est dénommée par Graf (1989, 1992) *directe*. Celui-ci propose, au contraire, une interprétation dite *indirecte*. Les augmentations des pourcentages relatifs des éléments de la forêt andine seraient la conséquence d'une diminution dans la quantité des pollens locaux (en l'occurrence ceux de la *puna*). En terme de variations paléoclimatiques, sa reconstitution est radicalement différente de celle de Hansen *et al.* (1984). La sur-représentation des arbres serait due à une intensification de l'aridité sur le site. Dans les Andes Centrales, interpréter un diagramme pollinique n'est donc pas simple.

En résumé, sur l'ensemble de la cordillère des Andes, les arguments géomorpho-glaciologiques permettent de mettre en évidence une ou deux phases de refroidissement du climat entre 12 et 10 ka BP, mais celles-ci ne sont pas bien étayées au niveau des paléovégétations (Clapperton, 1993 a). L'absence de changements significatifs dans la végétation au Tardiglaciaire trouverait peut-être une explication dans la difficulté que rencontrent les spécialistes pour interpréter les variations observées dans les spectres d'altitude. Dans cet article, 1) nous apportons des données nouvelles sur le stade du Dryas récent en provenance de la Cordillère centrale du Pérou ; 2) et nous proposons d'utiliser un nouveau paramètre phyto-écologique pour faciliter l'interprétation des diagrammes polliniques des zones alto-andines.

II. LA ZONE ET LES SITES ÉTUDIÉS

La haute vallée de Santa Eudalia draine le versant pacifique des Andes à la latitude de Lima. Le site de Milloc, à 4 300 m d'altitude, se situe à moins de 100 km du Pacifique et à 200 km du piémont amazonien. Seulement 50 km le séparent du bassin de Junín où ont eu lieu les sondages précités (Hansen *et al.*, 1984) (figure 2).

L'étage supérieur de la *puna*, steppe d'altitude dominée par les graminées (Cardenas, 1968), reçoit vers 4 500 m, 700-



800 mm d'eau en 170 jours, avec une saison sèche (moins de 10 % du total annuel) étalée sur 4 mois entre juin et septembre. Le gel est de fréquence journalière dès 4 800 m d'altitude et la ligne d'équilibre glaciaire se situe à 5 000 m (Francou, 1988). La végétation, vers sa limite supérieure (4 700 m), est une *puna brava* (ou *super-puna*) où dominent Graminae et Compositae (Cardenas, 1968 ; Graf, 1981 ; Hansen *et al.*, 1984 ; Ostria, 1987).

Des sondages réalisés par la société Electrolima à des fins géotechniques révèlent que le bassin de Milloc contient un remblaiement morainique et fluvio-lacustre de 10-30 m d'épaisseur, sur lequel viennent s'appuyer des formations de versant, éboulis lités et cônes torrentiels en partie actifs (figure 2). Au-dessus du lac, à 4 350 m, apparaît une série de cordons morainiques emboîtés. Leur position topographique permet de les attribuer régionalement au groupe de moraines M3 (Gouze *et al.*, 1986 ;

Figure 2 Aire d'étude au Pérou et croquis géomorphologique de la zone de Milloc. 1. Volcanisme Pacococha, 2. Éboulis lités, 3. Till et arcs morainiques M3, 4. Cônes torrentiels, 5. Tourbières. SPM3 et STM : sondage et coupe.

Study area in Peru and geomorphological sketch of Milloc Zone. 1. Pacococha volcanism, 2. Bedded scree, 3. Till with moraines M3, 4. Alluvial fans, 5. Peats. SPM3 and STM: drilling and sampling sites.

Figure 3 Localisation des différents groupes de moraines dans la vallée de Milloc.

Position of the different groups of moraines in the Milloc valley.

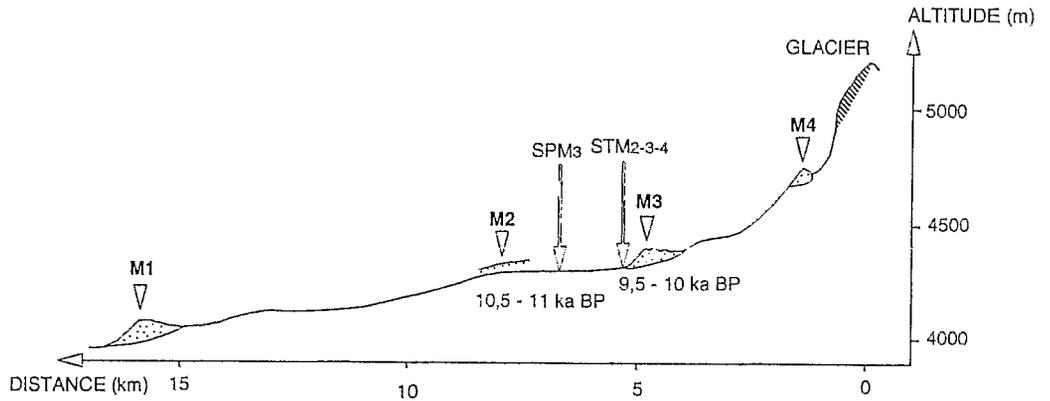
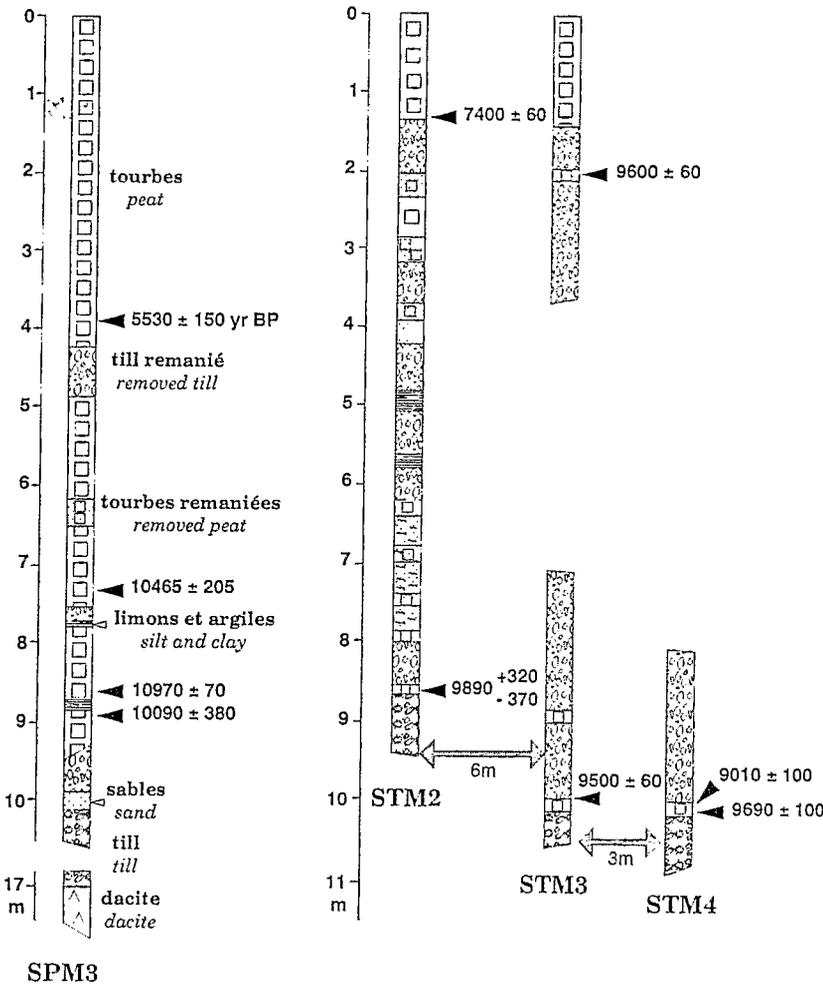


Figure 4 Sondage SPM3 (à gauche) et coupes STM2-3-4 (à droite) de Milloc. Les datations ¹⁴C sont exprimées en années BP. Mêmes légendes pour SPM et STM.

SPM3 drilling (left) and STM2-3-4 sections (right) on Milloc site. The ¹⁴C datings are given in years BP. Same caption for SPM and STM.



Argollo *et al.*, 1987) (figure 3). La moraine latérale M2 est visible environ 4 km en aval ; les témoins de la moraine principale attribuable au dernier maximum glaciaire (M1) se situent à une dizaine de kilomètres plus

bas dans la vallée. Le Petit Age Glaciaire, repéré et daté par Thompson *et al.* (1986) sur le sondage de Quelccaya, ou M4, apparaît 3 km en amont, au niveau des cirques supérieurs où persistent quelques glaciers résiduels. Entre M3 et M4, n'apparaît aucun cordon morainique (figure 3).

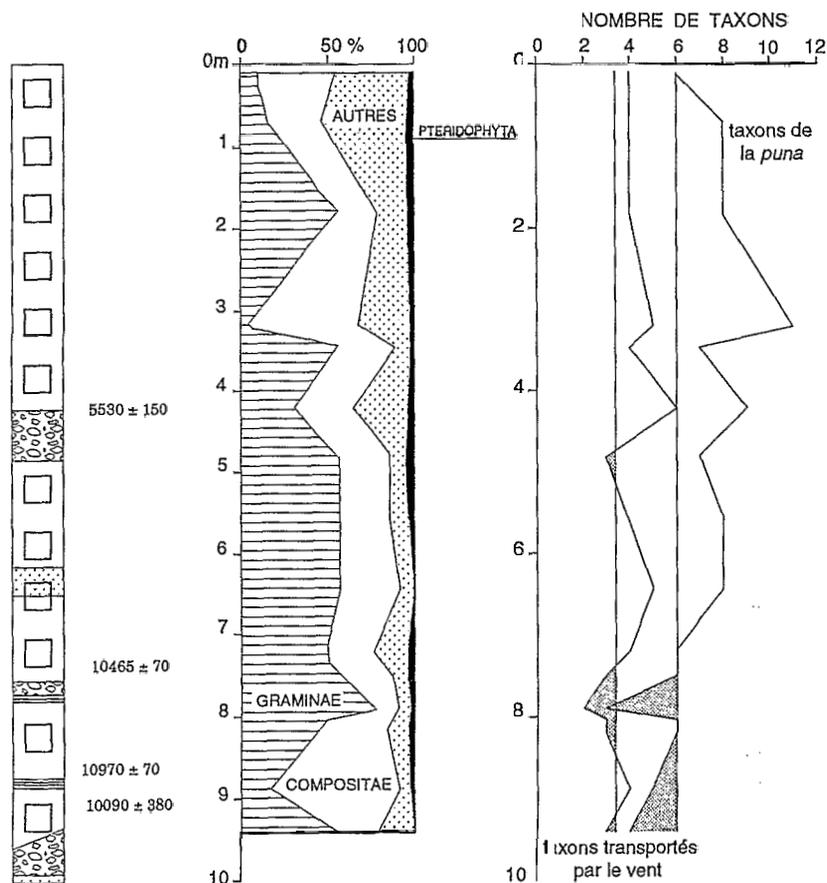
Les premiers prélèvements ont été effectués sur le sondage SPM3 en aval du lac Milloc (figures 2 et 3). Cette carotte présente une formation de 17 m où alternent niveaux détritiques et niveaux organiques, le plus épais de ceux-ci étant la couche de tourbe supérieure continue sur 4,3 m (figure 4). Dans la partie détritique, on distingue à la base le till abandonné par le glacier de la vallée et, vers 4,5 m, une formation d'origine torrentielle provenant du ravinement du versant riche gauche. Les seconds prélèvements, réalisés à fin de datations, ont été effectués 2 km en amont sur l'entaille naturelle de 12 m de profondeur creusée par le rio Canchis (figures 2 et 4). Le site est au contact de la plaine lacustre et des cordons morainiques M3 (figure 3). La stratigraphie est complexe, montrant sous la tourbe supérieure une alternance de niveaux organiques parfois très minces (moins de 5 cm), souvent remaniés et affectés de plissements discordants, et de niveaux détritiques très hétérométriques, aux éléments émoussés mais faiblement arrondis. A la base, vers 9, 10 m, on passe à une formation qui a les caractéristiques d'un till de fond. Les prélèvements pour datations ¹⁴C se situent à la base de la couche supérieure de tourbe et dans les niveaux organiques au contact du till de base (profils STM2-3 et

4 sur la figure 4). Les analyses ^{14}C ont été réalisées au laboratoire de Bondy, à l'exception de l'échantillon UZ-1034 (SPM3, à 7,4 m) daté à Zurich. On fait état ici de l'étude palynologique déjà publiée sur SPM3 par Graf (1992), en proposant des interprétations et conclusions complémentaires sur le Tardiglaciaire dans cette partie des Andes du Pérou, informations nouvelles largement déduites des âges ^{14}C obtenus depuis lors.

III. LES RÉSULTATS

Malgré l'existence de divergences portant sur quelques siècles, les datations ^{14}C s'accordent pour indiquer que le glacier a abandonné l'aval du lac avant 11-10,5 ka BP. Sur ce bas versant, la tourbe s'est ensuite installée, interrompue dans son développement 3 ou 4 fois par des apports torrentiels. Le plus remarquable de ces épisodes est antérieur à 5 530 ans BP (figure 4). Les études faites sur la dynamique actuelle des versants de la région au-dessus de 5 000 m (Francou, 1988) montrent que les averses torrentielles susceptibles de déclencher ces « debris flows » (ou laves torrentielles) se produisent selon la fréquence d'un événement par décennie, surtout en contexte ENSO (*El Niño Southern Oscillation*), lorsque les isothermes s'élèvent en altitude d'une centaine de mètres. S'il s'agissait d'une tendance climatique durable favorable à la torrentialité et non simplement d'un événement isolé, on pourrait corrélérer cette période à celle, datée entre 7 500 et 6 000 ans BP, mise en évidence en Bolivie (Servant *et al.*, 1987).

En amont, sur le site STM, le glacier disparaît avant 9,5-10 ka BP, si l'on admet que cette date marque la fin du dépôt du till. Comme ce till correspond morphologiquement aux moraines M3 situées juste en amont, on peut fixer comme âge minimum de ce dépôt 10 ka BP. Ainsi, le glacier, entre environ 11 et 10 ka BP, a reculé du site SPM3 au site STM (et peut-être même plus en amont). La réavancée ou pour le moins le stationnement du glacier à 4 400 m d'altitude est attesté par le dépôt d'une série de cordons morainiques sur 400 m de distance (figures 2 et 3).



De plus, le retrait glaciaire postérieur s'accompagne d'une phase de sédimentation rapide car se déposent, en 2 500 ans, environ 8 m de débris souvent mélangés à des produits organiques. L'écoulement torrentiel était abondant et chargé, ponctué de phases plus calmes où un mince tapis végétal pouvait se développer. Ces débits élevés montrent aussi que le recul du glacier a été très rapide pendant cette période (10-7,4 ka BP), forcément plus chaude. Ce retrait rapide des glaciers a également été mis en évidence par Seltzer (1990) dans les Andes de Bolivie. La continuité de ce recul est confirmée par l'absence de cordons morainiques entre 4 400 et 4 700 m.

L'étude palynologique, publiée par ailleurs intégralement par Graf (1992), est résumée ici (figure 5). Généralement, les diagrammes polliniques de haute altitude sont interprétés en termes de variations des

Figure 5 Diagramme pollinique du sondage SPM3 de Milloc, d'après Graf, 1992.

Pollen analysis diagram SPM3 of Milloc, from Graf, 1992.

pourcentages relatifs Graminae/Compositae ou des éléments typiques de la *puna* (ou de la *puna brava*) par rapport aux spores et pollens transportés des versants arborés Markgraf, 1989 ; Graf, 1992). Une diminution du rapport Graminae/Compositae est interprétée comme une augmentation de la température. Or, des relevés actuels effectués en Bolivie (Chacaltaya, Zongo, Cumbre, Unduavi) et au Pérou (environs de la laguna Junín) montrent une tendance opposée (Graf, 1981 ; Hansen *et al.*, 1984). Ainsi, toute interprétation des diagrammes en provenance des *puna* et *puna brava* peut être sujette à discussion. C'est le cas du diagramme de Junín, où le rapport Graminae/Compositae de la période actuelle pose le même problème (Hansen *et al.*, 1984). La seule donnée phyto-écologique variant toujours dans un même sens, est la décroissance du nombre de taxons en fonction de l'altitude et ce, quelle que soit la famille considérée (Ostria, 1987 *a* et *b*). Nous proposons, par conséquent, d'utiliser ce critère pour interpréter sous un angle nouveau le diagramme de Milloc. Une augmentation du nombre de taxons caractéristiques de la *puna* (ou de la *puna brava*) impliquerait donc une amélioration des conditions bioclimatiques (température, précipitations ou les deux) au niveau

local. Sur la figure 5 apparaissent 2 périodes de diminution du nombre des taxons caractéristiques de la *puna* (ainsi que de ceux transportés par le vent, caractéristiques de la forêt andine et de la *sub-puna*). Entre ces deux niveaux, vers 8-10 m, l'augmentation relative du nombre des taxons de la *puna* ne s'accompagne pas d'un nombre élevé des taxons «longue-distance». L'interprétation paléoclimatique que nous proposons pour la base de la carotte SPM3 (9,4-7,5 m) est donc la suivante : une période globalement froide entre environ 11 et 10,5 ka BP. La base et le sommet de cet événement sont certainement entrecoupés par un épisode plus humide ayant favorisé la croissance des taxons locaux. Froid et humidité croissante renforcent l'évidence d'une réavancée du glacier entre environ 11 000 et 10 500 (ou 9 890) ans BP.

IV. CONCLUSION

Une étude géomorphologique des dépôts glaciaires couplée à des datations ¹⁴C sur tourbes a permis de cerner avec précision un événement froid dans la cordillère centrale du Pérou entre 11 et 10 ka BP, refroidissement vraisemblablement synchrone du Dryas récent. L'analyse pollinique du sondage SPM3 confirme ces résultats.

Remerciements : K. Graf a bien voulu effectuer les comptages polliniques et une datation ¹⁴C. Il a participé à la discussion qui a permis la mise au point de ce texte.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ARGOLLO, J., GOUZE, Ph., SALIEGE, J. F. et SERVANT, M., 1987. Fluctuations des glaciers de Bolivie au Quaternaire récent, *Géodynamique*, 2, 2, p. 103-104.
- CADERNAS, M., 1968. La puna boliviana, 37 *Congreso Internacional de Americanistas*, 2, p. 3-9, Buenos Aires.
- CLAPPERTON, C. M., 1993 *a*. *The Quaternary Geology and Geomorphology of South America*, Elsevier, Amsterdam, 779 p.
- CLAPPERTON, C. M., 1993 *b*. Glacier readvances in the Andes at 12 500-10 000 yr BP: implications for mechanism of Late-glacial climatic change, *J. Quat. Sci.*, 8, (3), p. 197-215.
- FRANCOU, B., 1988. *L'éboulisation en haute montagne*, Editec, Caen, 676 p.
- GOUZE, Ph., ARGOLLO, J., SALIEGE, 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. Sci. Paris*, 303, série II, p. 219-224.
- GRAF, K., 1981. Palynological investigation of two post-glacial peat bogs near the boundary of Bolivia and Peru, *J. Biogeography*, 8, p. 353-369.
- GRAF, K., 1989. Palinología del cuaternario reciente en los Andes del Ecuador, del Perú y de Bolivia, *Boletín del Servicio Geológico de Bolivia*, Serie A-IV, 1, p. 69-91.
- GRAF, K., 1992. Pollendiagramme aus den Anden. Eine Synthese zur Klimageschichte und Vegetationsentwicklung seit der letzten Eiszeit, *Schriftenreihe Physische Geographie Universität Zürich*, 34, 120 p.
- HANSEN, B. C. S., WRIGHT, H. E., Jr et BRADBURY, J. P., 1984. Pollen studies in the Junin area, central Peruvian Andes, *Bull. Soc. Am.*, 95, p. 1454-1465.

- HEUSSER, C. J., 1984. Late-Glacial-Holocene climate of the Lake District of Chile, *Quat. Res.*, 22, p. 77-90.
- HEUSSER, C. J., 1989. Late Quaternary vegetation and climate of southern Tierra del Fuego, *Quat. Res.*, 31, p. 396-406.
- HEUSSER, C. J. et RABASSA, J., 1987. Cold climate episode of Younger Dryas age in Tierra del Fuego, *Nature*, 328, p. 609-611.
- HOGANSON, J. W. et ASHWORTH, A. C., 1992. Fossil beetle evidence for climatic change 18,000-10,000 years BP in South-Central Chile, *Quat. Res.*, 37, p. 101-106.
- MARKGRAF, V., 1989. Palaeoclimates in Central and South America since 18,000 BP based on pollen and lake sediments, *Quat. Sci. Rev.*, 8, p. 1-24.
- MERCER, J. H., 1976. Glacial history of southernmost South America, *Quat. Res.*, 6, 1976, p. 125-166.
- MERCER, J. H., 1984. Late Cainozoic glacier variations in South America south of the equator. In : VOGEL, J. C., éd., *Late Cainozoic Palaeoclimates of the Southern Hemisphere*, Balkema, Rotterdam, p. 45-48.
- OSTRIA, C., 1987. La végétation d'une vallée alto-andine de Hichu-Kkota (Cordillère Orientale, Bolivie). I - Données générales, *Bull. Soc. Bot. Fr., Lettres bot.*, 134, 4/5, p. 385-397.
- SELTZER, G. O., 1990. Glacial history and palaeoclimate of the Peruvian-Bolivian Andes, *Quat. Sci. Rev.*, 9, p. 137-152.
- SELTZER, G. O., 1993. Late-Quaternary glaciation as a proxy for climate change in the Central Andes, *Mountain Research and Development*, 13, 2, p. 129-138.
- SERVANT, M., ARGOLLO, J. et FOURNIER, M., 1987. Dépôts fluviatiles en Bolivie. Variations du régime des écoulements au cours du Quaternaire récent, *Géodynamique*, 2, 2, p. 105-107.
- SIBRAVA, V., BOWEN, D. Q. et RICHMOND, G. M. (éd.), 1986. *Quat. Sci. Rev.*, 5.
- THOMPSON, L. C., MOSLEY-THOMPSON, E. P., DANSGAARD, W et GROOTES, P. M., 1986. The "Little Ice Age" as recorded in the stratigraphy of the tropical Quelcaya Ice cap, *Science*, 234, p. 361-364.
- VAN DER HAMMEN, T., BARELDS, J., DE JONG, H. et VAN DER VEER, A. A., 1981. Glacial sequence and environmental history in the Sierra Nevada del Cocuy (Colombia), *Palaeogeog. Palaeoclim. Palaeoecol.*, 32, p. 247-340.
- VILLAGRAN, C. M., 1988 a. Late Quaternary vegetation of southern Isla Grande de Chiloé, Chile, *Quat. Res.*, 29, p. 294-306.
- VILLAGRAN, C. M., 1988 b. Expansion of Magellanic Moorland during the late Pleistocene: palynological evidence from northern Isla de Chiloé, Chile, *Quat. Res.*, 30, p. 304-314.