

LE VOLCAN CAYAMBE (ÉQUATEUR) : SON ACTIVITÉ AU COURS DES 5 000 DERNIÈRES ANNÉES ET LES MENACES QUI EN RÉSULTENT

*Michel Monzier * **, Pablo Samaniego **, Claude Robin * ***

Résumé

L'étude des produits récents émis par les dômes dacitiques qui constituent la partie sommitale du volcan Cayambe, situé à 60 km au NE de Quito, révèle quatre unités volcaniques comprenant des coulées pyroclastiques à blocs et cendres, des déferlantes et des lahars associés. La plus jeune de ces unités a été émise vers 360 ans BP. Par ailleurs, l'étude des dépôts d'une tourbière du Cayambe met en évidence 23 niveaux de retombées (cendres et lapilli) émis au cours de 3 grands cycles d'activité, de 7 à 10 siècles de durée, depuis 4 000 ans. Le dernier de ces cycles, auquel peuvent être rattachées les quatre phases de coulées pyroclastiques, n'est peut-être pas terminé, comme le suggère une petite éruption intervenue en 1785-1786. Ces résultats donnent un éclairage nouveau sur les menaces que ce volcan, fortement englacé, fait peser sur les populations vivant à son pied.

Mots-clés : *Volcanisme récent, téphrochronologie, Équateur, volcan Cayambe, coulées pyroclastiques, menaces volcaniques.*

EL VOLCÁN CAYAMBE (ECUADOR): SU ACTIVIDAD DESDE LOS ÚLTIMOS 5 000 AÑOS Y LAS AMENAZAS CORRESPONDIENTES

Resumen

El estudio de los productos recientes emitidos por los domos dacíticos que forman la cumbre del volcán Cayambe, ubicado a 60 km al noreste de Quito, revela cuatro unidades de flujos piroclásticos de bloques y ceniza, oleadas y lahars asociados. La unidad más reciente fue emitida alrededor de 360 BP. Además, el estudio de los depósitos de una turbera del Cayambe muestra 23 niveles de caídas (cenizas y lapilli), que corresponden a tres ciclos de actividad, de 7 a 10 siglos de duración cada uno, durante los 4 000 últimos años. El último ciclo, que incluye las cuatro unidades de flujos piroclásticos mencionadas, puede no haber terminado todavía, como lo sugiere la pequeña erupción ocurrida en 1785-1786. Estos resultados enfatizan el peligro que este volcán, cubierto por un espeso casquete glaciar, puede representar para las poblaciones y las infraestructuras establecidas en sus alrededores.

Palabras claves: *Volcanismo reciente, tefrocronología, Ecuador, volcán Cayambe, flujos piroclásticos, peligros volcánicos.*

* ORSTOM, A. P. 17-11-6596, Quito, Équateur.

** Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional, A. P. 17-01-2759, Quito, Équateur.

CAYAMBE VOLCANO (ECUADOR): ERUPTIVE ACTIVITY DURING THE LAST 5,000 YEARS AND POTENTIAL HAZARDS

Abstract

The study of recent products emitted by dacite domes located on the upper flanks of Cayambe volcano, situated 60 km to the NE of Quito, yields four pyroclastic units of block and ash flows, surges and associated lahars. The youngest unit was erupted about 360 years BP. Moreover, the identification of numerous airfall deposits (ash and lapilli) in a peat bog reveals that at least 23 volcanic events have occurred since 4,000 years ago, forming 3 main cycles of activity, each 700 to 1,000 years in duration. The last cycle, to which are correlated the four pyroclastic flow units, has probably not ended, as suggested by a small eruption in 1785-1786. These results shed a new light on the potential hazards presented by this large ice-capped volcano.

Key words: *Recent volcanism, tephrochronology, Ecuador, Cayambe volcano, pyroclastic flows, volcanic hazards.*

INTRODUCTION

Situé dans la Cordillère Orientale des Andes équatoriennes, à environ 60 km au NE de Quito, le volcan Cayambe (00° 01,72' S - 77° 59,13' E - 5790 m, Fig. 1) était jusqu'ici mal connu. Cet édifice, considéré comme inactif avant les travaux récents de Hall & Mothes (1994), fait actuellement l'objet d'une étude volcanologique détaillée dans le cadre d'une coopération entre l'ORSTOM et l'Institut Géophysique de l'École Polytechnique Nationale de Quito. Les premiers résultats de ces travaux sont présentés ici, en insistant particulièrement sur l'étude téphrochronologique réalisée dans une tourbière d'altitude, à proximité immédiate des centres d'émission. Ces résultats permettent de reconstituer l'activité de ce volcan au cours des 5 000 dernières années.

1. STRUCTURE

Le Cayambe est un édifice massif, de base approximativement rectangulaire (24 km par 19 km), s'élevant entre 2 800 et 5 790 m d'altitude (Fig. 1). Une calotte glaciaire, atteignant 100 m d'épaisseur, le coiffe au-dessus de 4 800 m d'altitude. De nombreuses langues glaciaires en descendent jusque vers 4 200 m du côté amazonien, très humide et venté, et 4 600 m sur le flanc occidental plus sec. L'ensemble de l'édifice présente aussi les signes de glaciations antérieures beaucoup plus importantes. Les pentes inférieures de la moitié occidentale du volcan sont mises en culture ou consacrées à l'élevage tandis que celles du versant oriental sont couvertes par une forêt humide. Au-dessus de 3 500-4 000 m, le *paramo* (formation herbacée andine typique de ces altitudes) est omniprésent, passant vers le haut au désert de roc et de glace.

Schématiquement, du NW au SE, le complexe volcanique comprend : 1 - le Vieux Cayambe, vaste édifice essentiellement lavique, très érodé et certainement âgé de plusieurs centaines de milliers d'années ; un âge de $0,25 \pm 0,05$ Ma est donné par Barberi *et al.* (1988) pour une roche de ce vieil édifice ; 2 - le Nevado Cayambe, moins volumineux, lui aussi essentiellement effusif au début de sa construction ; cet appareil a connu une phase remarquable d'émission d'ignimbrites soudées et se trouve coiffé par un vaste complexe de dômes formant les points culminants du massif ; l'activité récente de ces dômes est le sujet du présent article ; 3 - le Cône de la Virgen, petit appareil peu élevé (3 882 m) et de faible volume, installé sur les basses pentes orientales du Nevado Cayambe, d'où s'épanchent d'importantes coulées de laves, probablement récentes (quelques milliers d'années ?).

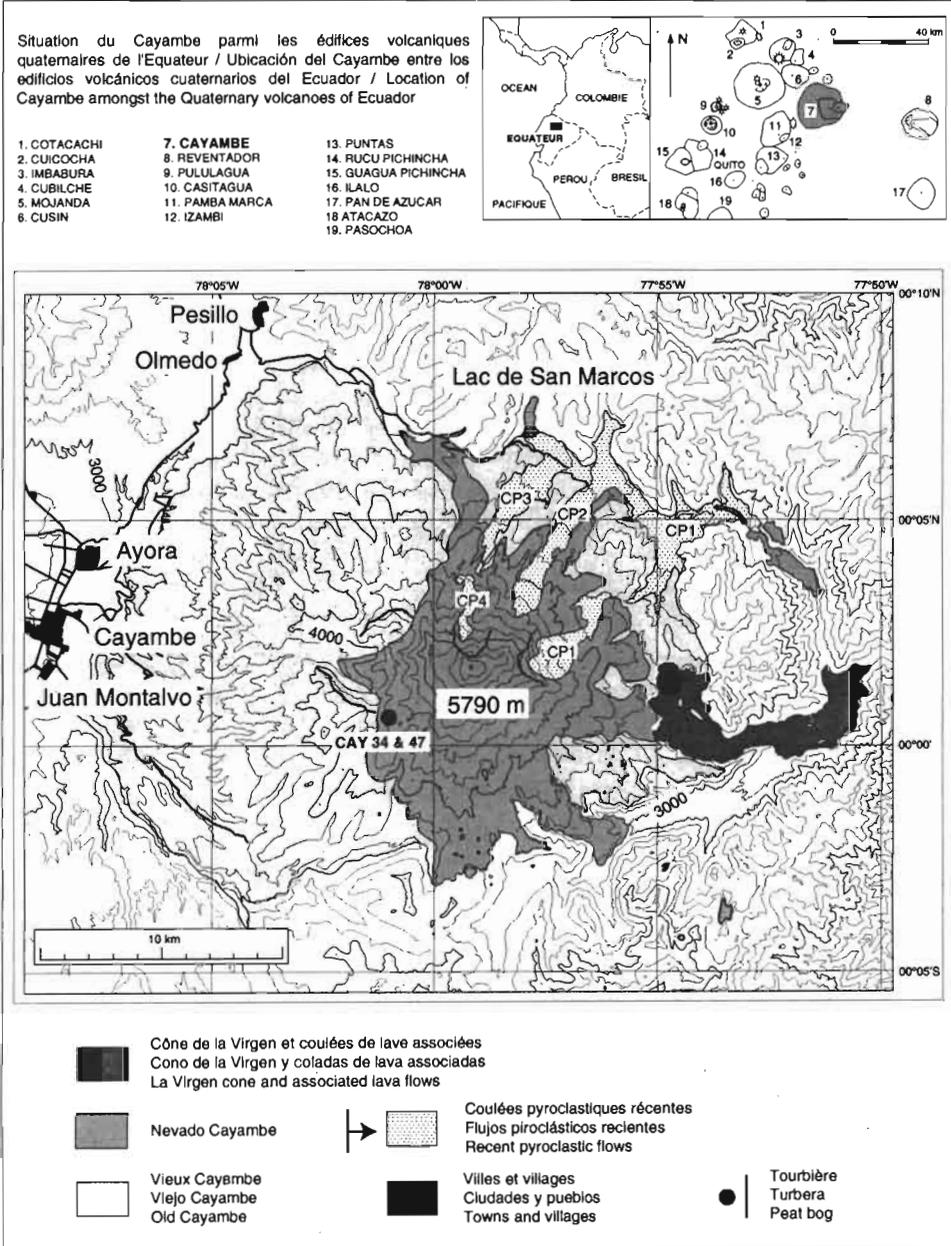


Fig. 1 - Le volcan Cayambe ; situation et carte géologique préliminaire.

2. ACTIVITÉ RÉCENTE DES DÔMES SOMMITAUX

2. 1. Coulées pyroclastiques du versant NE

Quatre unités de coulées pyroclastiques récentes, notées CP1 à 4, ont été reconnues sur le flanc NE du Nevado Cayambe (Fig. 1).

De l'unité CP1, la plus ancienne, l'érosion n'a laissé que des lambeaux de 10 à 20 m d'épaisseur, accrochés aux flancs des vallées. Vers l'amont, les dépôts peuvent être suivis jusqu'au pied d'un dôme sur le flanc oriental de l'édifice, vers 4 800 m d'altitude. Cette unité correspond apparemment à un seul épisode éruptif ayant produit une coulée de cendres à blocs dacitiques denses, de taille inférieure à 30 cm. Les unités CP2 et CP3 sont clairement plus jeunes, car peu érodées et peu boisées. Une légère différence dans le degré d'érosion et la densité de la couverture végétale montre toutefois que CP2 a dû précéder de peu CP3.

L'unité CP2, issue d'un centre d'émission actuellement obstrué par un dôme (4 553 m) aux formes hérissées très fraîches, s'étend vers le NNE sur près de 9 km. Sa largeur est très constante, de l'ordre de 600 à 900 m et son épaisseur visible atteint une centaine de mètres. Elle comprend plusieurs dépôts se succédant sans interruption notable. Un lahar cendréux à blocs vitreux, non vésiculés, de dacite homogène ou hétérogène (bandes sombres et claires très prononcées), clairement dérivé d'une coulée pyroclastique, constitue le dépôt basal. Ce dépôt est surmonté par des horizons massifs résultant de coulées pyroclastiques à cendres et blocs. Les blocs, de taille inférieure à 80 cm, montrent très souvent un bandage net, signe d'hétérogénéité magmatique. Un niveau peu cendréux, à blocs homogènes (> 80 % de blocs en volume), constitue le dépôt sommital de l'unité CP2.

Bien qu'aussi épaisse que la précédente, l'unité CP3 correspond apparemment à une seule, volumineuse, coulée de cendres et blocs, ces derniers étant identiques à ceux de CP2. Quelques grosses bombes (jusqu'à 80 cm de diamètre), vésiculées, craquelées et à surface en croûte de pain, ont été observées dans ce dépôt. Leur couleur gris très clair ou noire, confirme la présence de deux magmas (compositions extrêmes : 61 et 65,5 % SiO₂). Depuis l'altitude 4 100 m, la coulée CP3 s'étend vers le NNE sur plus de 6 km, avec une largeur maximum d'environ 800 m. Lors de sa mise en place, elle a barré l'ancien réseau hydrographique, donnant naissance au Lac de San Marcos. Les trois unités CP1 à CP3 n'ont pu être directement datées, aucun débris végétal n'ayant été observé en leur sein.

L'unité la plus récente, CP4, est clairement différente des trois autres, bien que montrant la même hétérogénéité magmatique que CP2 et CP3. Elle est issue d'un cratère entaillant un dôme sous le sommet du Nevado Cayambe, dôme ayant au préalable donné naissance à CP3 (Fig. 1). CP4 correspond à un dépôt gris-blanc de déferlantes, nu, sans sol ni végétation de couverture, épais d'une dizaine de mètres au moins et formé de cendres grossières incluant des lapilli et petits blocs denses ou très faiblement vésiculés. Le dépôt repose directement sur une série de retombées centimétriques de cendres fines à grossières (14 niveaux pour 43 cm au total) qui ont fossilisé un sol noir de 5 cm d'épaisseur, écrasant et carbonisant partiellement la maigre végétation d'altitude qu'il portait localement. Une datation au C¹⁴, réalisée sur ces débris charbonneux a donné un âge de 360 ± 70 BP.

Les hétérogénéités magmatiques, suggérées par les bandages des blocs des unités CP2, 3 et 4, sont confirmées par l'étude minéralogique. Les différences entre les deux phases, sombre et claire, s'expriment en particulier par de très forts zonages dans les pyroxènes et les

plagioclases (ces derniers étant en moyenne plus calciques dans la phase sombre), la présence occasionnelle d'olivine et des compositions nettement différentes entre les verres (pics à 64-66% SiO₂ pour la phase sombre, 73 à 76% pour la phase claire) (Samaniago, 1996).

2. 3. Retombées récentes

De nombreuses coupes téphrostratigraphiques ont été réalisées dans les parties hautes du Nevado Cayambe pour repérer et étudier les niveaux de retombées liées à l'activité récente du complexe de dômes. Deux d'entre elles (CAY 34 et 47) correspondent à de petits puits creusés dans une tourbière, située 4 km à l'WSW du sommet, vers 4 300 m d'altitude (Fig. 1). La tourbière, encore active, est installée dans une cuvette d'origine glaciaire de 200 x 600 m, qui constitue un piège à tephra efficace. Sa surface, très légèrement inclinée, voit de nombreux filets d'eau s'écouler entre les touffes de végétation. Les deux puits, situés à deux altitudes légèrement différentes (environ 2,5 mètres de différence), ont été creusés pour obtenir une coupe synthétique d'environ 4,37 m (Fig. 2).

Un grand nombre de niveaux de cendres, contenant le plus souvent des lapilli, alternant avec des passées de tourbe, ont été relevés et échantillonnés dans les deux puits. En dehors des variations granulométriques d'un niveau à l'autre, cendres et lapilli correspondent généralement à un même matériel dacitique, tout à fait comparable aux roches habituellement observées dans les coulées pyroclastiques et à celles du sommet, au contact avec la calotte glaciaire. Pour cerner l'âge des différents événements observés, des datations C¹⁴ ont été réalisées sur six échantillons de tourbe, échelonnés le long des deux coupes (Fig. 2). Les résultats de ces datations confirment pleinement la justesse de la corrélation qui avait été envisagée sur le terrain entre les deux coupes. Chacune des 23 retombées observées n'ayant pu être datée isolément, une échelle de temps a été établie, basée sur des événements volcaniques considérés comme instantanés et un taux de formation de la tourbe constant au cours de chacune des périodes bornées par une paire de datations. On observe que l'épaisseur de tourbe correspondant à une durée donnée diminue en fonction de l'âge des dépôts : 7,7 à 8 cm/siècle entre la période actuelle et 2 040 BP ; puis 4,5 cm/siècle entre 2 040 et 2 580 BP ; enfin 2,7 cm/siècle entre 2 580 et 3 880 BP. Ces variations peuvent aussi bien refléter une évolution des conditions climatiques dans un sens favorable à la croissance des plantes de la tourbière au cours des quatre derniers millénaires, qu'un phénomène de tassement de la tourbe, l'hypothèse la plus probable étant une action conjointe de ces deux phénomènes. Cette échelle de temps est reportée sur la figure 2, ainsi que les âges déduits pour les événements volcaniques.

3. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS ET ÉVALUATION DES MENACES FUTURES

3. 1. Cycles éruptifs

Un diagramme (Fig. 3) permet de visualiser facilement l'évolution de l'activité éruptive du Nevado Cayambe pendant les quatre derniers millénaires. L'épaisseur des dépôts donne une idée approximative de l'importance de chaque événement, tandis que l'échelle linéaire du temps fait bien ressortir 3 grands cycles d'activité. Le plus ancien comprend 4 événements, dont les âges sont proches de 3 750, 3 600, 3 520 et 3 150 BP ; il a interrompu une longue période de quiescence, dont la durée peut être estimée à au moins

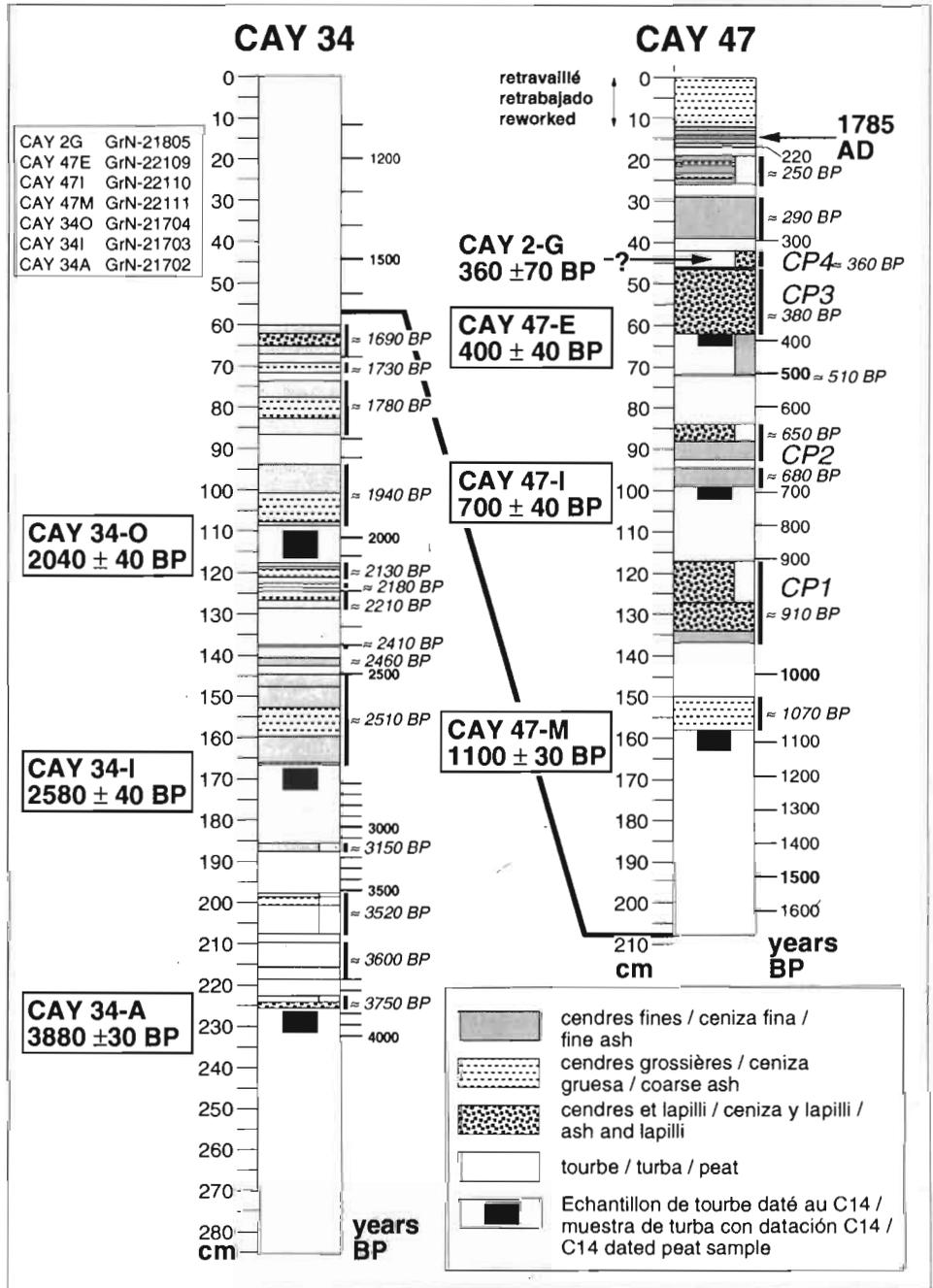


Fig. 2 - Coupes de la tourbière (voir position de cette dernière sur Fig. 1) ; les références analytiques des datations C¹⁴ réalisées à l'Université de Groningen, Pays-Bas (Dr. J. van der Plicht), sont rappelées.

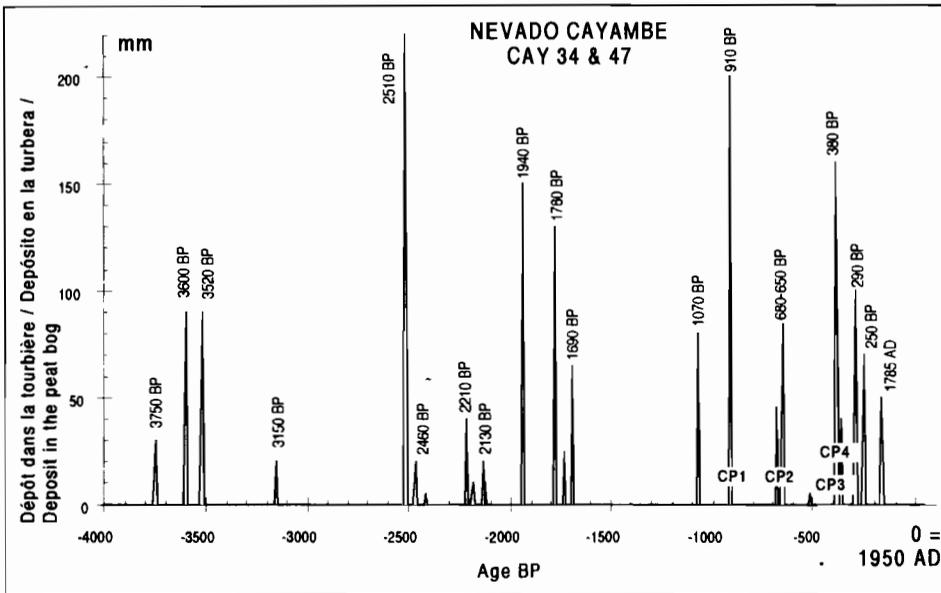


Fig. 3 - Diagramme des éruptions du Nevado Cayambe durant les quatre derniers millénaires.

2000 ans, sur la base de 2,7 cm de tourbe par siècle à ce niveau de la coupe. Le deuxième cycle a débuté vers 2510 BP par un fort événement, suivi d'une dizaine d'autres dont les mieux marqués se situent vers 2460, 2210, 2130, 1940, 1780, 1730 et 1690 BP. Le dernier cycle a commencé vers 1070 BP, et comprend 5 événements importants (910, 680-650, 380, 290 et 250 BP).

Sur la base de leur faciès grossier et de la nature pétrographique des lapilli concordante avec celle des blocs des écoulements pyroclastiques du flanc NE, les retombées datées à 910, 680-650 et 380 BP ont été respectivement mises en relation avec les écoulements CP1, CP2 et CP3. Nous interprétons ces dépôts comme les retombées associées aux colonnes éruptives accompagnant les écoulements pyroclastiques. Les déferlantes CP4, datées directement à 360 ± 70 ans BP (cf. supra), ne seraient représentées dans la coupe CAY 47 que sous la forme de cendres mêlées à de la tourbe, juste au-dessus du niveau de cendres grossières et lapilli attribué à CP3 (380 BP). La faible intensité de cet événement CP4, comparée à celles de CP1-3, et le caractère déferlant des produits vers le Nord, expliquent probablement cette signature peu marquée dans la tourbière.

Deux événements très récents reconnus dans la tourbière (290 et 250 BP) n'ont pu être mis en relation avec d'autres dépôts. Toutefois, l'exploration des flancs Est et Sud du Nevado Cayambe, d'accès très difficile, restant à faire, il n'est pas exclu que ces niveaux de retombées soient en relation avec d'autres écoulements. Enfin, nous relierons les retombées les plus supérieures de la coupe CAY 47, sous les niveaux de remaniement superficiels, à une éruption observée en 1785-1786, et relatée dans une correspondance au Baron de Humboldt (Ascasubi, 1802). Cette éruption, qui se serait produite sur le flanc SE du Nevado (la relation n'est pas très claire à ce sujet), est décrite sous la forme de fortes émissions cendreuse suivies,

semble-t-il, par l'émission d'une coulée en 1786. À cette occasion, les environs de la ville de Cayambe furent recouverts par un dépôt cendreuse blanchâtre, épais de 13 mm environ.

3. 2. Évaluation des menaces

L'étude des retombées piégées dans la tourbière et leur datation indique que le Nevado Cayambe a connu au moins 23 événements éruptifs importants au cours des quatre derniers millénaires, regroupés en trois cycles d'activité — d'environ 700, 900 et 1 000 ans, du plus ancien au plus récent — séparés par deux intervalles de quiescence d'environ 600 ans. Le premier cycle semble avoir succédé à une longue période de quiescence de plus de 2 000 ans, tandis que rien n'indique que le dernier soit terminé. Ces résultats montrent que ce volcan est bien plus actif que ne l'indiquaient les rares travaux qui lui ont été consacrés jusqu'ici. Aucune des retombées reconnues sur le Cayambe mais attribuées à des volcans voisins par Hall & Mothes (1994) n'a été identifiée dans la tourbière, qu'il s'agisse de l'événement du Quilotoa (une caldéra située à 140 km au SW du Cayambe) daté au C^{14} près de sa source à 840 ± 50 et 785 ± 50 ans BP (Hall & Mothes, 1994), ou de ceux produits par les volcans Pululahua (55 km à l'Ouest du Cayambe, événement daté à 2305 ± 65 BP ; Hall, 1977 ; Papale & Rosi, 1993) et Cuicocha (50 km au NW du Cayambe, événements datés à 2990 ± 300 BP et 3100 ± 150 BP ; Hillebrandt, 1989). Deux arguments s'opposent à l'attribution d'un ou plusieurs des horizons observés dans la tourbière à ces événements : d'une part des retombées d'âges comparables n'apparaissent pas dans la téphrochronologie présentée ici ; d'autre part les produits d'âge voisins, qui pourraient éventuellement correspondre aux éruptions citées, compte tenu de l'imprécision inhérente à l'évaluation des âges réalisée ici, sont beaucoup trop grossiers pour avoir une origine lointaine. En revanche, le niveau de cendres très fines (argilite de couleur brune), repéré à 290 BP dans la tourbière, pourrait bien correspondre à la dernière éruption, en l'an 1 660 de l'ère actuelle, du Guagua Pichincha, volcan actif situé à 60 km au SW du Cayambe, et au pied duquel est édiflée la ville de Quito.

Les coulées pyroclastiques et déferlantes les plus récentes (CP1 à CP4) ont toutes concerné une zone inhabitée, le flanc NE du Nevado Cayambe. Les retombées importantes qui leur étaient associées n'ont affecté que les parties sommitales de l'édifice, comme le montre leur disparition rapide dans des coupes éloignées du sommet. Compte tenu de la topographie actuelle des lieux, le même scénario est envisageable pour les éruptions à venir, ce qui *a priori* n'entraînerait pas de menace particulière pour les populations. Cependant, lors de telles éruptions, des lahars emprunteraient certainement les rivières s'écoulant vers l'Amazonie, menaçant l'oléoduc trans-équatorien qui longe localement le pied de la Cordillère Orientale. Ce type de menace devrait également être pris en compte dans le projet de barrage hydroélectrique envisagé sur le fleuve Coca.

En cas d'événement concernant la cime même du volcan, un débacle glaciaire pourrait aussi se produire, suivant un scénario comparable à celui du Nevado del Ruiz (Colombie) en 1985. Des lahars (et coulées pyroclastiques ?) empruntant les larges vallées radiales qui descendent directement des zones englacées vers la ville de Cayambe et les gros bourgs environnants, représenteraient alors une menace très sérieuse pour les populations (30 000 personnes environ) habitant ces agglomérations et la riche plaine agricole à l'Ouest du volcan.

Remerciements

Les datations C^{14} présentées dans ce travail ont été réalisées au Centrum voor Isotopen Onderzoek, Rijkuniversiteit de Groningen, sous la direction du Dr. J. van der Plicht, que nous remercions chaleureusement.

Références citées

- ASCÁSUBI, J.J., 1993[1802] - Lettre au Baron de Humboldt (2 pages). in: Ulrike Moheit, -"Von Humboldt, A., Briefe aus Amerika, 1799-1804", Berlin: Akademik Verlag.
- BARBERI, F., COLTELLI, M., FERRARA, G., INNOCENTI, F., NAVARRO, J.M. & SANTACROCE, R., 1988 - Plio-Quaternary volcanism in Ecuador. *Geological Magazine*, 125 (1): 1-14.
- HALL, M.L., 1977 - *El volcanismo en el Ecuador*, 120p., Quito: Instituto Panamericano de Geografía e Historia.
- HALL, M.L. & MOTHE, P.A., 1994 - Tefrostratigrafía holocénica de los volcanes principales del valle interandino, Ecuador. in: "El contexto geológico del espacio físico ecuatoriano" (Coordinador R. Marocco): 47-67, Quito : Corporación Editora Nacional y Colegio de Geógrafos del Ecuador.
- HILLEBRANDT, C., 1989 - Estudio geovulcanológico del complejo volcánico Cuicocha-Cotacachi y sus aplicaciones, Provincia de Imbabura. Thèse de géologie, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 167p.
- PAPALE, P. & ROSI, M., 1993 - A case of no-wind plinian fallout at Pululagua caldera (Ecuador): implications for models of clast dispersal. *Bulletin of Volcanology*, 55: 523-535.
- SAMANIEGO, P., 1996 - Estudio volcanológico y petrológico de las fases recientes del volcán Cayambe (Ecuador). Tesis de grado, Facultad de geología, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 162p.

1996

Tome 25
N° 3

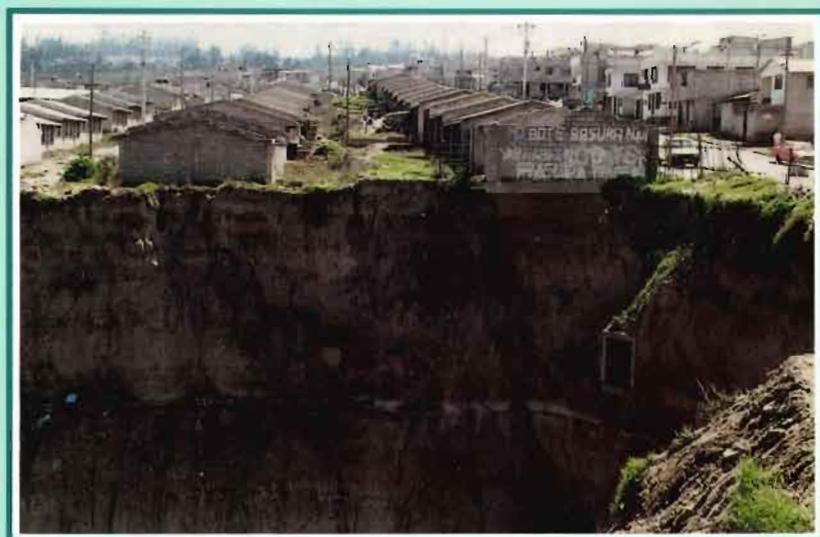
LIMA - PÉROU

BULLETIN

de l'INSTITUT FRANÇAIS
d'ÉTUDES ANDINES

LES RISQUES NATURELS ET LEUR GESTION EN ÉQUATEUR

DIVERSITÉ DES EXEMPLES
COMPLÉMENTARITÉ DES
APPROCHES



Sous la direction de
Robert d'Ercole



IFEA

CRSTOM



ISSN 0303 - 7495

**BULLETIN
DE L'INSTITUT FRANÇAIS
D'ÉTUDES ANDINES**

1996, Tome 25, N° 3

Directeur : Georges Pratlong
Responsable de l'édition : Anne-Marie Brougère

Toute correspondance concernant la revue doit être adressée à :

Institut Français d'Études Andines - Éditions
Casilla 18-1217 - Lima 18 - Pérou
Tél: 51-1 447 60 70
Fax: 51-1 445 76 50
Courrier Électronique : abrouger@ifea.org.pe

Composition:
Anne-Marie Brougère
Juan Carlos Tello

Maquette de la couverture:
Alain Dagand

Impression:
Editorial Gráfica Pacific Press S.A.
Los Negocios, 219
Surquillo
Lima - Pérou

Photo de la couverture :

Urbanización Carapungo, dans le nord de Quito, menacée par l'érosion début 1994. Exemple d'un aménagement mal conçu par rapport au site : le lotissement, coordonné par le *Banco de Vivienda* au début des années 90, a été construit en bordure d'une grande *quebrada*, profonde de 60 à 80 mètres environ. Le collecteur d'eaux pluviales de l'ensemble de l'urbanisation, visible sur la droite du cliché et déversant en cascade dans des cendres volcaniques (la *cangahua*), a concentré le ruissellement, causant ainsi l'érosion régressive du talus sur une dizaine de mètres environ. Malgré la déviation du collecteur vers une autre sortie, le recul du talus s'est poursuivi depuis.

(Cliché Bernard Lortic, ORSTOM)