

Une puissante explosion provoque l'effondrement du volcan Tungurahua, 3 000 ans avant l'actuel

Diego M. Jaya¹
Jean-Luc Le Pennec²
Liliana Troncoso³
Pablo Samaniego³

Mots-clés : géotechnique – stabilité – effondrement – explosion – risque – Tungurahua

Introduction

Au cours de son évolution géologique, le volcan Tungurahua (5 023 m, cordillère Orientale d'Équateur) a connu trois grandes phases d'édification, dont les deux premières ont été interrompues par des effondrements sectoriels majeurs. Ainsi, le Tungurahua II, qui s'est progressivement construit après l'effondrement du Tungurahua I, s'est effondré à son tour vers 3 000 ans avant l'actuel (Hall *et al.*, 1999). Un nouveau cône, le Tungurahua III, s'est développé depuis, mais il n'atteint pas encore la taille du Tungurahua II à la fin de sa croissance (figure 1). Dans cette étude, nous avons recherché les causes des effondrements majeurs du Tungurahua, afin d'appréhender leurs conséquences sur l'évaluation des risques volcaniques. L'étude est basée sur le cas du Tungurahua II, dont la morphologie a pu être reconstituée à partir des données de la topographie actuelle (figure 1).

Stabilité du cône du Tungurahua

Pour déterminer les conditions limites de stabilité du Tungurahua II, juste avant son effondrement, nous avons utilisé des méthodes géotechniques, en considérant que l'édifice du Tungurahua se comporte comme un talus ayant des propriétés mécaniques homogènes. Nous avons alors cherché à déterminer les valeurs des principaux paramètres (résistance à la section et rayon de pression de pores) qui contrôlent la stabilité de ce type d'édifice. Certaines valeurs ont pu être estimées à l'aide d'une rétro-analyse appliquée au cône du volcan El Reventador, qui partage de nombreux points

1 Escuela Politécnica Nacional (EPN), Quito, Équateur

2 IRD, Whymper 442 y Coruña, Apartado 17-12-857, Quito, Équateur

3 Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN), Apartado postal 17-01-2759, Quito, Équateur

communs avec le Tungurahua, et qui a été affecté par un puissant séisme proche en 1987. On peut alors montrer que l'effondrement du Tungurahua II a pu être provoqué par un séisme tectonique proche ayant produit, au niveau de l'édifice, une accélération minimale de 0,28 g (g étant l'accélération de la pesanteur). Cependant, si la pression des fluides dans l'espace poreux du volcan était élevée (rayon de pression de pore supérieur à 0,2), l'accélération minimale nécessaire pour que le Tungurahua II ait une forte probabilité de s'effondrer diminue à 0,17 g. La présence de fluides sous pression dans l'édifice joue donc un rôle de catalyseur sur le déclenchement des effondrements. L'application de l'analyse de stabilité à l'édifice du Tungurahua III, qui s'est construit progressivement après l'effondrement de 3 000 ans, indique que la probabilité d'effondrement est élevée si l'accélération dépasse 0,31 g. Néanmoins, en présence d'une intrusion de magma riche en fluides (rayon de pression de pore > 0,2), une accélération de 0,2 g pourrait suffire à déclencher la fracturation de l'édifice.

Origine de l'effondrement de 3 000 ans

L'avalanche de roches datée de 3 000 ans avant l'actuel a laissé un important dépôt qui affleure autour du volcan. Au cours de nos recherches, nous avons montré que cette avalanche a été accompagnée par une puissante explosion volcanique qui a produit des dépôts de deux

types. Le premier type correspond à des couches de cendre, localement massives, ou à des stratifications entrecroisées ou lenticulaires. Il s'agit des dépôts laissés par une nuée ardente extrêmement vélocité et mobile. Plusieurs nouvelles datations au carbone 14, sur des bois carbonisés, confirment que l'événement a bien eu lieu vers 3 000 ans avant le présent. Nous avons estimé que le dépôt de cette explosion dirigée s'étendait initialement sur plus de 600 km², pour un volume global supérieur à 0,85 km³. Le second type est une couche formée par la pluie de fragments de ponces et scories issue du nuage volcanique, qui se déplaçait dans la stratosphère. Nous avons mesuré l'épaisseur de cette couche ainsi que la taille maximale des fragments qui la constituent, afin de calculer le volume global des produits et la puissance de cette phase éruptive. Selon nos résultats, le volume de la couche déposée par la pluie de ponces et scories représente plus de 0,45 km³. La phase éruptive aurait duré près d'une heure et la colonne de cendre serait montée à 25 km d'altitude, avant de se disperser vers le Nord.

Les deux types de dépôts représentent plus de 1,3 km³ de roches meubles, sans compter le dépôt de l'avalanche de débris associé à l'événement. Ceci classe l'éruption de 3 000 ans parmi les plus puissantes de tout l'Holocène au Tungurahua, avec un « Indice d'Explosivité Volcanique » de 5, sur une échelle de 0 à 8. Cette reconstitution montre que

l'effondrement a probablement été provoqué par une intrusion de magma au sein du volcan, et donc par une pression de fluide élevée, peut-être associée à une intense activité sismique. Des tessons de céramique, découverts en plusieurs endroits dans les dépôts de l'explosion dirigée, attestent l'installation de populations sur et autour du volcan. Il est à peu près certain que cette éruption a coûté la vie à des dizaines, des centaines, voire des milliers de personnes.

Conclusion

Ces résultats démontrent le caractère violemment explosif du Tungurahua

dans une période géologiquement très récente, ainsi que l'extension considérable des zones dévastées par ce type d'événement. Plus de 30 000 personnes vivent aujourd'hui dans la zone anéantie 3 000 ans avant l'actuel. Même si les analyses de stabilité suggèrent que le Tungurahua actuel (figure 1) a peu de raison de s'effondrer dans son ensemble, les études géologiques indiquent que plusieurs petits effondrements se sont produits vers l'Ouest lors d'éruptions récentes, plus modestes que celle de 3 000 ans. De nos jours, plusieurs milliers de personnes vivent sous la menace de ces petits effondrements.

Figure 1 – Le Tungurahua II vu de l'Ouest

Les pontillés délimitent la silhouette du Tungurahua II avant son effondrement il y a 3 000 ans.

El Tungurahua II visto del Oeste

La línea punteada delimita la silueta del Tungurahua II antes de su hundimiento hace 3.000 años.



Photo : Jean-Luc Le Pennek, 2003

Références bibliographiques

Hall, M. L., Robin, C., Beate, B., Mothes, P., Monzier, M., 1999, Tungurahua Volcano, Ecuador: structure, eruptive history and hazards, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 91: 1-21.

Jaya, D., 2004, El colapso del volcán Tungurahua en el Holoceno superior: análisis de estabilidad y dinámismos explosivos asociados. Proyecto previo a la obtención del título de ingeniero geólogo, Escuela de Ingeniería, Escuela Politécnica Nacional, 141 p. + anexes.

Una poderosa explosión provoca el colapso del volcán Tungurahua

3.000 años antes del presente

Palabras clave: geotecnia – estabilidad – hundimiento – explosión – riesgo – Tungurahua

Introducción

Durante su evolución geológica el volcán Tungurahua (5.023 m.s.n.m., Cordillera Oriental de Ecuador) ha experimentado tres fases de edificación, de las cuales las dos primeras fueron interrumpidas por colapsos sectoriales mayores. Así, el Tungurahua II, que se construyó progresivamente después del colapso del Tungurahua I, colapsó a su vez hacia los 3.000 años antes del presente (Hall y otros, 1999). Un nuevo cono, el Tungurahua III, se desarrolló desde entonces, sin alcanzar aún el tamaño del Tungurahua II al final de su crecimiento (figura 1). En este estudio se buscaron las causas de los colapsos mayores del Tungurahua, con el fin de aprehender sus consecuencias en la evaluación de los riesgos volcánicos. El estudio se basó en el caso del Tungurahua II, cuya morfología pudo ser reconstruida a partir de los datos de la topografía actual (figura 1).

Estabilidad del cono del Tungurahua

Para determinar las condiciones límite de estabilidad del Tungurahua II

justo antes de su hundimiento, se utilizaron métodos geotécnicos, considerando que el edificio del Tungurahua se comporta como un talud de propiedades mecánicas homogéneas. Se buscó entonces determinar los valores de los principales parámetros (resistencia a la sección y radio de presión de poros) que controlan la estabilidad de este tipo de edificio. Ciertos valores pudieron ser estimados mediante un retro-análisis aplicado al cono del volcán El Reventador, que presenta muchos puntos en común con el Tungurahua y que fue afectado por un gran sismo cercano en 1987. Se puede mostrar entonces que el hundimiento del Tungurahua II pudo haber sido provocado por un sismo tectónico cercano que produjo, a nivel del edificio, una aceleración mínima de 0,28 g (siendo g la aceleración de la gravedad). Sin embargo, si bien la presión de los fluidos en el espacio poroso del volcán era elevada (radio de presión de poro superior a 0,2), la aceleración mínima necesaria para que el Tungurahua II tenga una fuerte probabilidad de colapsar disminuye a 0,17 g. La presencia de fluidos

bajo presión en el edificio desempeña pues un papel de catalizador en el desencadenamiento de los colapsos sectoriales. La aplicación del análisis de estabilidad en el edificio del Tungurahua III, que se construyó progresivamente después del hundimiento de 3.000 años, indica que la probabilidad de hundimiento es alta si la aceleración supera 0,31 g. No obstante, en presencia de una intrusión de magma rico en fluidos (radio de presión de poro $> 0,2$), una aceleración de 0,2 g podría bastar para desencadenar la fractura del edificio.

Origen del hundimiento de 3.000 años

La avalancha de rocas datada en 3.000 años antes del período actual dejó un importante depósito que aflora alrededor del volcán. Durante las investigaciones se mostró que dicha avalancha se acompañó de una poderosa explosión volcánica que produjo depósitos de dos tipos. El primero corresponde a capas de ceniza, sin estratificación, o con estratificación cruzadas o lenticular. Se trata de los depósitos dejados por una nube ardiente extremadamente veloz y móvil. Varias nuevas dataciones con carbono 14 de madera carbonizada confirman que el evento tuvo lugar efectivamente hacia los 3.000 años antes del presente. Se estimó que el depósito de esta explosión dirigida se extendía inicialmente en 600 km², con un volumen global superior a 0,85 km³. El segundo tipo es una capa formada por la lluvia de fragmentos de piedra pómez y escorias salidas de la nube volcánica, que

se desplazaba en la estratosfera. Se midió el espesor de esta capa así como el tamaño máximo de los fragmentos que la constituyen a fin de calcular el volumen global de los productos y la potencia de esta fase eruptiva. Según los resultados obtenidos, el volumen de la capa depositada por la lluvia de piedra pómez y escorias representa más de 0,45 km³. La fase eruptiva habría durado cerca de una hora y la columna de ceniza habría ascendido a 25 km de altura, antes de dispersarse hacia el norte.

Los dos tipos de depósitos representan más de 1,3 km³ de rocas blandas, sin contar el depósito de la avalancha de escombros asociado al evento. Esto ubica a la erupción de 3.000 años entre las más potentes de todo el Holoceno en el Tungurahua, con un «Índice de Explosividad Volcánica» de 5, en una escala de 0 a 8. Esta reconstrucción muestra que el colapso fue provocado probablemente por una intrusión de magma al interior del volcán, y por tanto por una alta presión de fluido, asociada tal vez a una intensa actividad sísmica. Tiestos de cerámica descubiertos en varios sitios en los depósitos de la explosión dirigida, certifican la implantación de poblaciones en el volcán y sus alrededores. Es casi seguro que esta erupción cobró la vida de centenares y quizás miles de personas.

Conclusión

Estos resultados demuestran el carácter violentamente explosivo del Tungurahua en un período geológica-

mente muy reciente, así como la considerable extensión de las zonas devastadas por este tipo de evento. Más de 30.000 personas viven hoy en día en la zona asolada 3.000 años antes del período actual. Incluso si los análisis de estabilidad sugieren que el Tungurahua actual (figura 1) no tiene mayor

motivo de colapsar en su conjunto, los estudios geológicos indican que varios pequeños hundimientos se han producido hacia el oeste durante erupciones recientes, más modestas que la de hace 3.000 años. Actualmente, varios miles de personas viven bajo la amenaza de estos pequeños colapsos.