

La caldera de la Valle del Bove: sa signification dans l'évolution de l'Etna (Sicile) *

J. KLERKX

Laboratoire de Pétrologie - Université de Liège - Belgique

Abstract

The Valle del Bove, situated on the east side of Mount Etna is considered as the result of an important collapse. The structural survey of the continuous rock outcrops in the walls of the depression permits to distinguish several unities belonging to different volcanoes, which have been destroyed by the collapse. The succession of the different volcanic centers shows a migration of the eruptive activity from East to West. The collapse took place only when the main activity was removed to the emplacement of the principal crater now in activity. This E-W direction of migration corresponds to one of the main fault directions of Etna; the collapse and the formation of the caldera is considered as the consequence of a violent pumice explosion or as the result of the westward migration of the magma along this fault.

Introduction

La Valle del Bove est une large dépression, de 8 km de long et 5 km de large, située sur le flanc oriental de l'Etna (Fig. 1). Elle est ouverte vers l'Est, et délimitée au Nord, à l'Ouest et au Sud par des parois parfois très élevées et abruptes; sous le cratère actuel, ces parois atteignent 1200 mètres et diminuent en hauteur vers l'Est pour n'atteindre plus que quelques centaines de mètres à l'extrémité orientale. Elles sont découpées dans des matériaux volcaniques divers: tufs, scories et coulées.

Le fond de la dépression est presque plat, inclinant très légèrement vers l'Est, et est recouvert en majeure partie par des coulées

* Communication présentée au Symposium « Volcanoes and Their Roots », Oxford, Angleterre, Sept. 1969.

récentes qui proviennent soit du cratère actuel ou bien sont issues de petit cônes récents qui se sont ouverts à l'intérieur de la dépression.

A l'Est, en contrebas de la Valle del Bove, se trouve une autre dépression, nettement plus petite, la Valle di Calanna; elle a 3 km

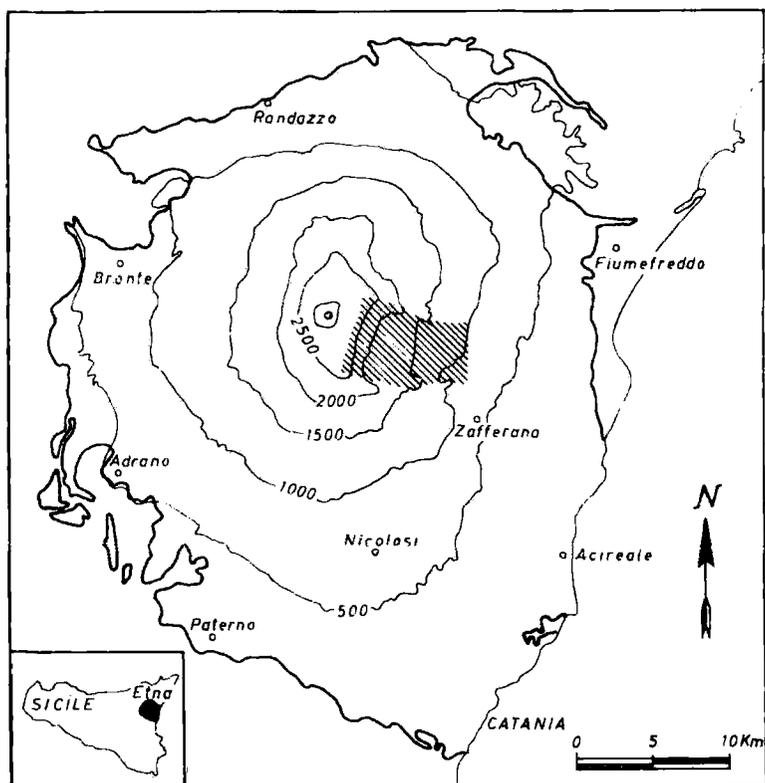


Fig. 1 - Situation de la Valle del Bove (en trait hachuré) dans l'Etna.

de long sur 2 km de large et présente aussi un fond plat, envahi par des coulées récentes.

L'Etna possède une structure complexe et, en plus, difficile à étudier étant donné que la plupart des formations anciennes sont recouvertes par une carapace de coulées récentes; la Valle del Bove est le seul endroit où une partie de l'intérieur du volcan est accessible à l'observation.

D'autre part, les affleurements presque continus le long des parois permettent une étude structurale détaillée dans le but de retracer l'évolution dans l'espace et dans le temps des centres éruptifs qui ont précédé l'installation du cône actuel.

Description structurale

Les corrélations faites entre les différentes parois de la Valle del Bove sont basées sur une stratigraphie qui est établie à partir des critères lithologiques ou structuraux suivants:

a) Les unités choisies sont des ensembles qui représentent soit les produits d'une même phase d'éruption, soit une période importante et bien individualisée dans l'existence d'un centre éruptif.

b) La limite entre 2 unités appartenant à des phases d'éruption différentes peut être tracée sur la base d'une surface de discordance, représentant un niveau d'érosion et séparant par conséquent deux ensembles d'âge nettement différent.

c) A l'intérieur d'un complexe dans lequel aucune discordance ne se marque et dans lequel tous les lits se succèdent en parfaite continuité, il est possible de distinguer plusieurs unités provenant de centres d'émission différents par l'analyse structurale basée sur les directions et les inclinaisons des couches.

A partir de ces critères, les produits qui affleurent dans les parois de la Valle del Bove peuvent être divisés en plusieurs unités, qui sont de bas en haut:

- la formation du Calanna,
- la formation du Trifoglietto I,
- la formation du Trifoglietto II,
- le complexe post-Trifoglietto.

La formation du Calanna.

Celle-ci représente l'élément le plus ancien qui soit connu dans l'édifice etnéen central et est restreinte à la Valle di Calanna (Fig. 4). Elle est constituée des restes d'un ancien centre d'éruption dont le cratère était localisé à l'emplacement de l'actuelle Valle di Calanna. Sa limite supérieure est marquée par une surface de discontinuité,

SCHÉMA STRATIGRAPHIQUE DE LA VALLE DEL BOVE

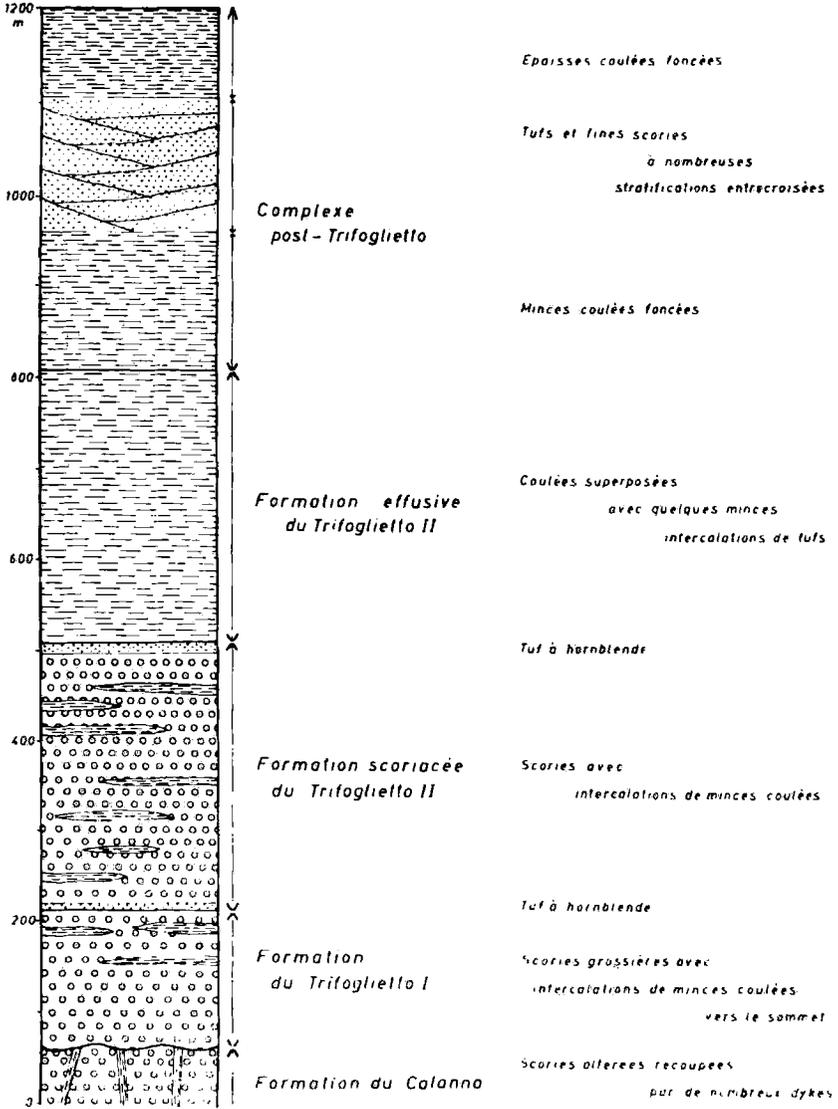


FIG. 2 - Schéma stratigraphique de la Valle del Bove.

correspondant à une phase d'érosion. Avant son érosion, ce centre d'éruption, formé surtout de scories, avait subi une action hydrothermale intense.

La formation du Trifoglietto I.

Cette formation, essentiellement pyroclastique, affleure dans la partie inférieure de la paroi Nord de la Valle del Bove. Son épaisseur visible est de 150 mètres. Alors que sa partie inférieure n'est formée que de grosses scories, de minces coulées apparaissent vers le haut. Elle présente ainsi les caractères d'une cône de scories, entaillé au voisinage du lieu d'éruption. L'allure préservée en demi-cercle indique que le centre d'éruption était localisé dans la partie nord-orientale de la Valle del Bove. C'est le premier des centres d'éruption qui se sont succédés à l'emplacement de l'actuelle dépression. Son activité a été caractérisée essentiellement par des éjections de scories, entrecoupées de temps à autre par une montée de magma, qui en débordant du cratère a donné quelques petites coulées.

La formation du Trifoglietto II.

Au-dessus des scories du Trifoglietto I vient un ensemble de scories et de coulées, qui se distinguent de l'unité inférieure par des différences dans la direction et l'inclinaison des lits. Cette nouvelle unité appartient au Trifoglietto II qui est, par l'importance des produits émis, de loin le plus important centre éruptif de la Valle del Bove. Il se marque par un caractère lithologique important, qui consiste en la présence de grands phénocristaux d'oxyhornblende.

Le Trifoglietto II a connu d'abord un épisode explosif, suivi d'une période effusive. Au cours du premier épisode s'est formée une épaisseur de scories d'environ 150 mètres qui se poursuit sur tout le pourtour de l'hémicycle. Les lits de scories renferment des intercalations de coulées assez nombreuses.

La disposition périclinale du niveau scoriacé, qui atteint une épaisseur maximale dans la partie sud-occidentale, conduit à la conception d'un centre éruptif localisé dans la partie sud-ouest de la Valle del Bove. Ce centre a émis des scories de façon continue pendant une période assez longue, car les lits scoriacés se superposent sans montrer de discontinuité.

Les coulées qui traduisent l'épisode effusif du Trifoglietto II, n'ont pas recouvert l'entièreté du cône de scories, mais se sont déversées principalement suivant certaines directions, en s'accumulant sur la partie orientale du cône. Elles se divisent en deux ensembles dont le caractère lithologique est nettement différent: la partie inférieure est formée de leucolatitandésites alcalines, contenant de grands cristaux d'oxyhornblende, tandis que la partie supérieure est formée de basanites, dans lesquelles l'oxyhornblende est absente; bien qu'émisses vraisemblablement par un même conduit, ces dernières coulées proviennent d'un magma qui n'est plus celui qui a formé la majeure partie des produits du Trifoglietto.

Le complexe post-Trifoglietto.

Les unités décrites jusqu'ici comme appartenant au Trifoglietto ont une disposition géométrique permettant de les rattacher aux deux appareils éruptifs localisés à l'intérieur de la Valle del Bove. Les couches qui s'y superposent et qui forment le sommet de la paroi occidentale inclinent vers l'Est et ne proviennent donc plus du système central d'éruption du Trifoglietto, mais sont issues de nouveaux centres d'émission qui se sont ouverts sur son flanc Ouest. Elles forment le complexe post-Trifoglietto, qui comprend deux ensembles de coulées, entre lesquels s'intercale une unité de tufs.

Certaines des coulées inférieures se raccordent à des dykes qui recoupent les parois de la dépression; ces dykes, recoupant les scories du Trifoglietto II, débouchent à la partie supérieure en s'épanchant en coulées.

L'ensemble supérieur forme le plateau sur lequel s'est construit le cône terminal de l'Etna et doivent provenir d'un des centres dont S. VON WALTERSHAUSEN (1880) a supposé l'existence à l'emplacement du cratère actuel.

Les dykes.

De nombreux dykes recoupent en tous sens les lits de scories et les coulées qui constituent les parois de la Valle del Bove. Ils appartiennent à plusieurs générations, chacune d'elles étant liée à une des phases d'éruption qui se sont succédées dans la Valle del Bove.

A côté des dykes qui appartiennent au Trifoglio I ou II et qui rayonnent autour du lieu d'éruption, il y a d'importants faisceaux de dykes qui s'orientent tous vers la zone du cratère central; il s'agit, du moins en partie, de dykes nourriciers d'éruptions latérales, certains étant liés aux coulées appartenant à la phase post-Trifoglio.

La tectonique.

Les fractures qui se produisent dans un ensemble volcanique peuvent provenir de l'évolution interne d'un volcan: soulèvements provoqués par la poussée du magma ou bien effondrements dus à l'évidement de poches magmatiques. Mais elles peuvent aussi trouver leur origine dans un cadre qui dépasse le volcan et provenir d'efforts tectoniques dans le soubassement régional.

Le phénomène tectonique le plus manifeste qui s'est produit dans la Valle del Bove est la formation de la dépression elle-même, due sans aucun doute à un effondrement à l'emplacement des cratères du Trifoglio.

Mais il y a en outre une série de phénomènes tectoniques de moindre importance, qui se répètent à plusieurs reprises dans les parois de la Valle del Bove. C'est le cas d'une série de petites fractures verticales de direction Nord-Sud qui s'observent tant dans les parois Nord et Sud de la Valle del Bove que dans la paroi Sud de la Valle di Calanna. Le rejet de ces failles est faible, au maximum de quelques dizaines de mètres, avec affaissement de la lèvre orientale. Ces fractures de direction Nord-Sud pourraient être mises en rapport avec les grandes lignes de fractures qui, venant des Monts Iblei, au Sud de l'Etna, se prolongent dans l'Etna. Leur allure en gradins qui se succèdent depuis la Valle di Calanna jusqu'au pied du cratère, peut être l'expression du soulèvement de l'Etna en horst (A. RITTMANN, 1963).

Outre les fractures Nord-Sud qui sont de loin les plus nombreuses, il existe quelques petites failles verticales de direction Est-Ouest, qui sont sans aucun doute des cassures accompagnant l'effondrement du Trifoglio.

En outre, les éruptions latérales récentes qui se sont produites à l'intérieur de la dépression après l'effondrement sont souvent alignées suivant cette direction Est-Ouest.

L'origine et l'évolution de la Valle del Bove

L'évolution volcanologique de la Valle del Bove, telle qu'elle fut établie au siècle dernier, se résume comme suit: un seul centre d'éruption, situé à l'intérieur de la Valle, aurait donné naissance à

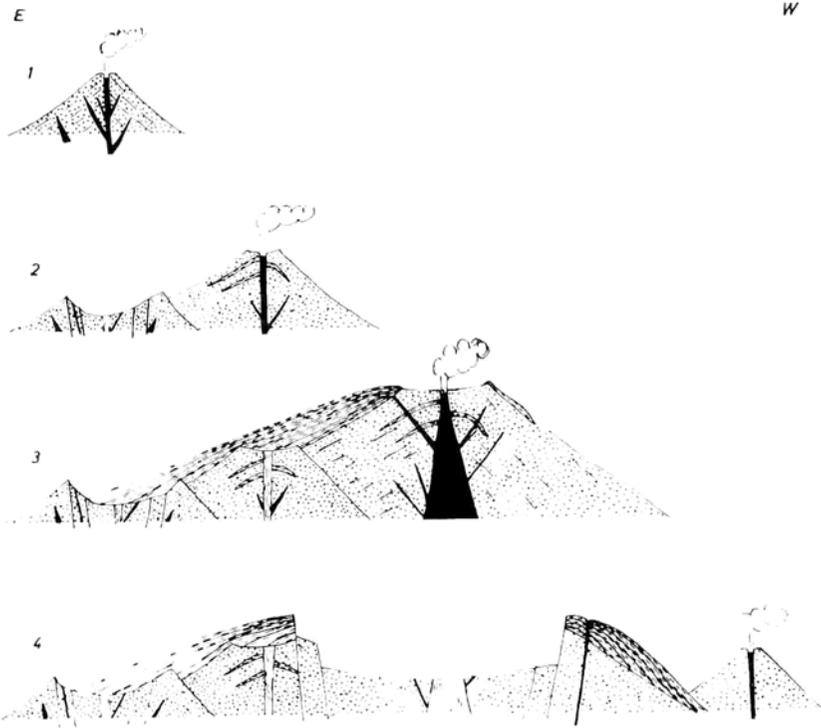


FIG. 3 - Schéma figurant l'évolution dans le temps des cônes éruptifs qui se sont succédés dans la Valle del Bove. Phase 1: le Calanna, seul actif. Phase 2: après l'extinction du Calanna, le Trifoglietto I apparait plus à l'Ouest. Phase 3: le Trifoglietto I est suivi lui-même par le Trifoglietto II, dont les produits recouvrent en partie les cônes antérieurs. Phase 4: après l'apparition des petits cônes sur le flanc W du Trifoglietto II, formation de la caldera, engloutissant une partie des cônes du Trifoglietto.

tout le complexe volcanique qui en forme les parois; son existence aurait pris fin par un grand effondrement, créant ainsi la caldera qui a formé la Valle del Bove actuelle, réserve faite de l'érosion qui a plus ou moins remodelé cette caldera.

L'étude détaillée de la structure géologique a montré que l'évolution de cette partie du volcan est plus complexe: considérée à partir des premiers événements auxquels on peut remonter, elle se traduit surtout dans la migration des centres éruptifs de l'Est vers l'Ouest (Fig. 3).

Le premier centre reconnu est le Calanna, qui marque aussi la première activité volcanique centrée connue à l'Etna. Sa situation précise dans l'édifice etnéen est assez difficile à établir; bien que ses roches affleurent actuellement à une altitude d'environ 1200 mètres, il n'est pas exclu qu'il s'agisse réellement d'un des premiers centres aériens de l'Etna. Il ne se trouve en effet qu'à 400 mètres au-dessus des argiles siciliennes, d'origine marine. Actuellement on n'en voit plus que la partie interne injectée de nombreux dykes et de petites intrusions. On ne sait si son activité a pris fin par un collapse ou par une explosion; mais il est certain que l'érosion l'a ultérieurement remodelé.

Ensuite l'activité magmatique s'est déplacée vers l'Ouest; un nouveau centre d'éruption s'est ouvert dans la partie Nord-Est de la Valle del Bove. Ce nouveau centre — le Trifoglietto I — a émis surtout des matériaux pyroclastiques, réserve faite de quelques minces coulées intercalées dans l'important cône de lits scoriacés; ces coulées se sont formées vraisemblablement au cours d'éruptions terminales quand la lave déborde du cratère.

Ensuite un nouveau centre s'est formé plus à l'Ouest, dans la partie sud-occidentale de la Valle del Bove, à l'emplacement du Piano del Trifoglietto: c'est le Trifoglietto II. Il est possible que pendant un certain temps les deux cratères ont fonctionné simultanément, jusqu'à ce que l'activité du dernier devienne nettement prédominante; à partir de ce moment le cône du Trifoglietto I a été recouvert par les produits de ce nouveau centre. L'activité du Trifoglietto II débuta aussi par une phase d'émission de scories, entrecoupée d'épanchements de coulées plus nombreux que dans le Trifoglietto I. Elle fut suivie par une importante période effusive au cours de laquelle furent émises des coulées qui se sont épanchées surtout sur les flancs Est et Nord-Est du cône.

Peu après l'activité éruptive reprit plus à l'Ouest, sur le flanc occidental du cône du Trifoglietto, sous la forme de petits cônes peu importants, dont certains étaient sans doute liés à de grandes fissures.

Après que l'activité se fut concentrée plus à l'Ouest encore vers

l'emplacement du cratère actuel, où plusieurs cônes se sont succédés, est intervenu le grand collapse qui a englouti les cônes du Trifoglietto et une partie des produits des centres postérieurs.

La migration des centres volcaniques d'Est en Ouest, depuis le Calanna, par les deux Trifoglietto jusqu'au cratère actuel est sans doute à mettre en liaison avec les systèmes de fractures dans le soubassement de l'Etna: soit que le magma se déplace en profondeur le long d'une grande fracture Est-Ouest qui s'ouvre progressivement vers l'Ouest, soit que le jeu des blocs créés par les fractures dirigées Nord-Sud, qui s'affaissent progressivement vers l'Est, permette au magma de s'injecter dans une nouvelle fracture située plus à l'Ouest et d'y former un nouveau centre (R. ROMANO, 1970).

Cela explique aussi le fait peu commun qu'après l'effondrement, l'activité n'a pas repris à l'intérieur même de la caldera, comme cela se produit généralement; à l'Etna les nouveaux centres se sont formés à l'extérieur de la caldera, sur le flanc Ouest de l'ancien cône, et l'intérieur de la caldera n'a été le témoin que de petites éruptions de courte durée.

Il reste à déterminer les causes du grand effondrement qui a formé la Valle del Bove.

On explique généralement la formation des calderas par l'évidement d'une poche magmatique directement sousjacent, provoquant l'effondrement du toit. Cet évidement se fait soit par de violentes explosions, soit, plus rarement, à la suite de l'émission rapide de magma par une bouche latérale. D'importantes quantités de ponces ont été découvertes récemment par G. KIEFFER (1970), qui considère qu'elles proviennent du Trifoglietto et que l'éruption qui les a émis a précédé la formation de la caldera. Il leur accorde un âge fort récent (5.000 ans), ce qui contraste avec l'âge de plus de 25.000 ans que nous avons donné aux émissions du Trifoglietto par la même méthode (C14) (J. KLERKX, 1968). Toutefois les ponces se rapprochent fortement des laves du Trifoglietto II, tant du point de vue minéralogique que chimique; mais l'éruption de ponces, précédant l'effondrement, n'a pas suivi directement l'émission des coulées du Trifoglietto, car celles-ci ont été recouvertes par des émissions d'un magma n'ayant plus les caractères de celui du Trifoglietto. Par conséquent, si on accepte que les ponces proviennent du magma du Trifoglietto II, il faut admettre que le magma différencié de ce dernier est resté stocké dans une poche magmatique, pendant que du magma plus basique, non différencié, était émis. Ce n'est qu'ensuite qu'aurait

eu lieu la grande émission de ponces, provoquant l'effondrement du Trifoglietto.

Si se n'est pas l'explosion de ponces qui est responsable de la formation de la caldera, la cause principale de l'évidement de la poche magmatique serait le déplacement en profondeur du magma vers l'Ouest. Il faut remarquer aussi qu'une partie du magma s'est injectée sous forme de dykes, de sills ou de petites intrusions.

La présence d'une poche magmatique sous le Trifoglietto est suggérée par la différenciation que subit le magma au cours de cette phase magmatique et aussi par la minéralogie des laves. En général, il ne semble pas exister de bassin magmatique sous l'Etna, le magma atteignant directement la surface le long de grandes fractures, ce qui peut expliquer l'uniformité dans la composition de la plupart des laves etnéennes. Au contraire, dans le Trifoglietto, le magma a pu se différencier depuis sa composition habituelle (andésite alcaline) jusqu'à des leucolatitandésites alcalines; en plus les laves du Trifoglietto contiennent de grands cristaux d'oxyhornblende qui se sont d'ailleurs ségrégués en grande partie avant l'éruption (J. KLERKX, 1968); la cristallisation d'oxyhornblende et sa différenciation par gravité ont dû se produire dans un milieu fermé, soit dans un véritable petit bassin magmatique, soit dans une zone où la fissure conductrice de magma s'est élargie. C'est l'effondrement de cette poche qui a formé la caldera de la Valle del Bove.

Conclusions

A l'image ancienne de l'existence d'un seul centre éruptif à l'intérieur de la Valle del Bove, l'étude structurale a permis de substituer une vue plus complexe et plus détaillée.

A l'emplacement de la Valle del Bove plusieurs centres se sont succédés, qui ont migré d'Est en Ouest, probablement en liaison avec les systèmes de grandes fractures qui caractérisent tout l'Etna. Depuis le Calanna, situé à l'Est, l'activité a migré vers le centre de la Valle del Bove pour former successivement les deux Trifoglietto. Ensuite, après une période où les éruptions se sont concentrées autour d'une série de petits cônes, situés à l'Ouest du Trifoglietto, l'activité éruptive s'est fixée à l'emplacement du cratère actuel. Ce n'est qu'ensuite que s'est produit le collapse qui a englouti les cônes du Trifoglietto, formant ainsi l'actuelle Valle del Bove. Ce collapse serait dû

soit à une éruption de ponces, soit à la migration du magma vers l'Ouest, créant un vide sous le Trifoglietto et provoquant ainsi l'effondrement du cône.

Références

- FRANCAVIGLIA, A., 1959, *L'imbasamento sedimentario dell'Etna e il golfo pre-etneo*. Boll. Serv. Geol. Italia, Vol. LXXXI, fasc. 4-5, pp. 593-684.
- KIEFFER, G., 1970, *Une ultime phase d'activité explosive de la Valle del Bove (Etna) vieille de 5.000 ± 130 ans et ses enseignements sur l'histoire récente du grand volcan sicilien*. C.R.Ac. Sc. Paris, t. 270, n. 26, pp. 3198-3201.
- KLERKX, J., 1968, *Etude géologique et pétrologique de la Valle del Bove*. Thèse de doctorat - Université de Liège.
- LYELL, Ch., 1875, *Principles of Geology*. Vol. II, London.
- OGNIBEN, L., 1966, *Lineamenti idrogeologici dell'Etna*. Riv. Miner. Siciliana, n. 100-102.
- RITTMANN, A., 1963, *Vulkanismus und Tektonik des Ätna*. Geol. Rundschau, Bd. 53, pp. 788-800.
- ROMANO, R., 1970, *An example of tectonic control of magmatic differentiation*. Bull. Volc. (à paraître).
- STURIALE, C., 1967, *Su alcune piroclastiti del basso versante meridionale dell'Etna*. Rend. Soc. Miner. Ital., anno XXIII.
- VON WALTERSHAUSEN, S., 1880, *Der Aetna*. Leipzig.
- WILLIAMS, H., 1941, *Calderas and their origin*. Univ. Calif. Publ., Geol. Ser., (6), 25, pp. 239-346.

Manuscript received, Nov. 1969

Revised manuscript, Sept. 1970