

Société de Volcanologie Genève

Case postale 298

CH-1225 CHENE-BOURG

CCP 12-16235-6



SVG INFORMATION No 6, 1986

LE VOLCANISME DES CAMPI FLEGREI (PUZZUOLI, ITALIE)

Cette brève note a pour but d'expliquer le volcanisme des Campi Flegrei et d'attirer l'attention sur les problèmes que pose la proximité de volcans des centres habités et, en particulier, sur les risques qu'ils représentent pour les personnes et les biens.

Le volcanisme des Campi Flegrei est situé près de la côte thyrrénienne, dans la province de Naples (fig.1). Il consiste, actuellement, en ce que l'on appelle un "champ géothermique", c'est-à-dire une zone de concentration d'édifices volcaniques dont l'activité est marquée par un flux anormal de chaleur, par la présence de sources d'eau chaude, d'émissions de vapeurs, de tremblements de terre, de mouvements du sol, etc..

Activités historiques

L'activité volcanique a débuté il y a environ 50.000 ans. L'épisode le plus important se serait produit il y a 35.000 ans: une violente éruption aurait provoqué la formation d'une caldera (cratère géant) d'un diamètre de 12 à 15 km. Il en est résulté la mise en place d'une couche de matériel volcanique, appelée ignimbrite, sur une surface d'environ 7.000 km² (fig.2). Les volcanologues estiment le volume de matériel éjecté à 80 km³ !.

Les ignimbrites sont des roches formées par l'accumulation de débris de laves acides (riches en silice) soudés à chaud; elles ont l'aspect de ponce ou de lave à structure fluidale. Elles proviennent d'éruptions explosives catastrophiques émettant des nuées ardentes de très grandes tailles. Il s'agit de grands volumes de gaz à très haute température qui transportent des masses considérables de débris de lave (des cendres aux blocs) et qui se déplacent à grande vitesse (100 km/h ou plus).

Ce type d'éruption peut conduire à la formation d'une caldera, provoquée par la vidange rapide du réservoir magmatique (= zone riche en matière en fusion) et par l'effondrement de son toit.

Après l'éruption cataclysmale d'il y a 35 000 ans, le caractère de l'activité volcanique des Campi Flegrei a changé. L'activité post-caldera s'est développée en trois phases (fig.3-4):

1. Phase "A": activité surtout sous-marine entre 35.000 et 10.500 ans.

2. Phase "B": activité ancienne de surface entre 10.500 et 8.000 ans.
3. Phase "C": activité récente de surface entre 4.500 ans et aujourd'hui.

Pendant ces trois phases, le caractère des éruptions a surtout été explosif, ce qui peut être expliqué par le fait qu'une partie de la caldera a été envahie par la mer peu après sa formation. En effet, l'explosivité d'une éruption est fortement augmentée lorsqu'il y a interaction entre le magma et l'eau (phréatique ou de mer). Dans le cas des Campi Flegrei, une telle interaction a été envisagée pour une grande partie des éruptions qui ont eu lieu depuis 35.000 ans. Il en est résulté la production de grandes quantités de matériel pyroclastique (débris de roches volcaniques). L'activité effusive (coulée de lave, etc.) a été restreinte à de rares extrusions de dômes de lave.

La dernière éruption a eu lieu en 1538, formant un cône de matériel pyroclastique (volume $0,03 \text{ km}^3$): le Monte Nuovo.

Les signes actuels de l'activité volcanique

C'est dans la région de Pozzuoli (fig.3) que l'activité volcanique est la plus marquée.

Une série de forages d'exploration géothermique entreprise par l'AGIP, la compagnie nationale de recherche pétrolière en Italie, a montré qu'il y avait une augmentation anormale de la température avec la profondeur. On passe de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ en surface à $420 \text{ }^\circ\text{C}$ à 3.000 m. de profondeur, ce qui correspond à un gradient géothermique de $133 \text{ }^\circ\text{C}/\text{km}$, alors que la normale, dans la croûte terrestre, est de $30 \text{ }^\circ\text{C}/\text{km}$. Cette anomalie est responsable de la formation de sources d'eau chaude que l'on trouve fréquemment dans la région. Elles étaient déjà exploitées comme saunas naturelles par les romains.

Une autre manifestation de cette anomalie est représentée par les phénomènes de dégazage dont toute la zone est affectée. Il s'agit d'émissions de gaz plus ou moins sulfurés dont la température est assez élevée.

En plus de cet activité hydrothermale, deux autres phénomènes, plus importants car plus dangereux, affectent la ville de Pozzuoli ainsi qu'une région située au nord de Naples: les mouvements verticaux du sol et les tremblements de terre.

La zone de la caldera a toujours été sujette à des mouvements du sol. Jusque vers les années soixante, la mesure de ces mouvements avait été possible par l'observation du degré d'enfoncement, du "Serapeo", un ancien marché romain construit près du port de Pozzuoli et qui, pendant les phases d'abaissement, était partiellement couvert par la mer (fig.5). Des mesures plus précises, à l'aide d'instruments enregistrant les variations du niveau du sol par rapport à un niveau moyen de la mer, ont été faites depuis 1970.

Tout le long de la côte, des archéologues ont retrouvé de nombreuses constructions de l'époque romaine, situées à une profondeur d'environ 14 m. au-dessous du niveau de la mer. Cette zone a donc subi pendant l'époque historique un abaissement global; en dépit d'épisodes de soulèvement très localisés dans le temps, (notamment avant l'éruption du Monte Nuovo, voir fig.5).

Dès les premiers mois de 1970, on commença à mesurer un soulèvement du sol de la vieille ville de Pozzuoli, accompagné par des tremblements de terre. Cette phase a duré jusqu'en 1972 et a produit une élévation maximale de 170 cm à une vitesse de 5 mm par jour. Durant les deux années suivantes, il y a eu un abaissement d'environ 20 cm. Ensuite les mouvements verticaux ont cessé et le niveau du sol s'est stabilisé à 150 cm au-dessus de son niveau d'avant 1970. En 1982 les déformations du sol recommencèrent. Le soulèvement reprit et atteignit la valeur maximum de 185 cm à la fin de 1984, pour redescendre à 180 cm en avril 1985. La vitesse du soulèvement était de 2 à 4 mm par jour. Au total, la vieille ville de Pozzuoli fut surélevée de 330 cm entre 1970 et 1985.

D'après des profils des mouvements verticaux, tracés en direction nord-sud et le

long du littoral Naples-Puzzuoli-Capo Miseno (fig.6), on voit clairement que l'élévation maximale est concentrée dans la zone de Puzzuoli, et qu'elle décroît lorsqu'on s'éloigne de la ville, pour être nulle à une distance de 6 à 7 km (fig.7). La géométrie de la zone déformée est presque circulaire (fig.7).

Les observations des conséquences de la déformation du sol ainsi que des études chimiques et physiques (analyses des gaz, mesure du champ de gravitation local, localisation et mesure de l'intensité des séismes, mesures des anomalies thermiques, etc.) ont amené à l'élaboration de plusieurs modèles descriptifs du phénomène. Le modèle le plus réaliste prévoit l'existence d'un réservoir magmatique assez superficiel qui aurait subi une réduction progressive de volume suite au refroidissement du magma et aux éruptions. La profondeur actuelle de cette chambre magmatique doit être de 4 à 5 km au-dessous du centre de la caldera. L'existence de ce réservoir serait marqué par la présence de roches métamorphiques de contact (roches ayant subi des transformations minéralogiques suite à une augmentation de la température) à une profondeur de 2,5 km. Ce réservoir aurait une forme variable entre celle d'une sphère et d'un cylindre. L'intérieur de cette masse magmatique serait composée de trachybasaltes (variété de lave) dont la température pourrait atteindre 1.200 °C. La zone extérieure serait composée de trachytes (autre type de lave) à une température de 850 °C. Cette partie extérieure aurait fourni les produits qui ont été éjectés lors des éruptions. L'évolution d'un magma conduit nécessairement à des changements continus des propriétés physico-chimiques de celui-ci. Les variations chimiques s'accompagnent normalement de changements physiques et, entre autre, une variation de volume qui pourrait être une des causes des anomalies de pression, de l'activité sismique et des mouvements du sol des Campi Flegrei.

L'activité sismique enregistrée était assez particulière: il y avait de vraies crises sismiques, c'est-à-dire des séries de secousses se produisant pendant des intervalles de temps très limité. Les caractéristiques de ces séismes étaient une faible profondeur des hypocentres (points en profondeur où se produisent les séismes) maximum de 3 à 4 km et une intensité (magnitude) qui dépassait rarement la valeur de 4 sur l'échelle de Richter. Néanmoins, des séismes isolés ou en séries, ont été enregistrés avec des magnitude supérieur à 4.

Les crises sismiques les plus importantes ont eu lieu le 13 octobre 1983 (250 secousses en 3 heures) et le premier avril 1984 (500 secousses en 5 heures). L'intensité de ces secousses fut toujours inférieure ou égale à 4. Une secousse, le 4 octobre 1983, a été ressentie à 30 km de distance. Les épicentres des séismes étaient concentrés près de la ville de Pozzuoli et du volcan Solfatara (fig.7).

D'après les données de la déformation, de l'activité sismique, du champ de gravitation, etc., on admet que l'augmentation de la pression, pendant la période 1982-1984, était due à la migration du magma à une profondeur de 3 km. Il y aurait eu une injection d'une partie supérieur de la masse magmatique dans les roches situées au-dessous de la ville de Puzzuoli.

L'évaluation des risques volcaniques dans la zone des Campi Flegrei

En théorie, le risque volcanique est défini comme le produit entre les probabilités d'une éventuelle éruption et les dégâts qui seraient provoqués par cette éruption:

$$R = P \times D$$

avec R = risque

P = probabilité d'une éruption

D = dégâts

Actuellement, on n'est pas encore en mesure de bien déterminer le risque volcanique, c'est-à-dire de prévoir une éruption avec certitude ou, d'une manière générale, d'évaluer avec précision les comportements d'un volcan. Le problème de

la prévision demeure et il y a deux façons de l'envisager:

a) en recherchant des relations temporelles statistiques entre l'activité sismique ou la déformation et les possibilités d'éruption .

b) en analysant la variation des paramètres physiques et chimiques (champ magnétique, champ de gravitation, composition chimique des gaz, anomalies thermiques, etc.)

Pour toute prévision de type statistique, il faut recueillir un nombre énorme de données expérimentales et cela exige une surveillance constante de l'activité du volcan. Il faut préciser, toutefois, que l'extension des modèles descriptifs d'un volcan à un autre présente des problèmes même s'ils ont une activité similaire. Ces relations, d'ordre purement statistique, peuvent être utiles pour la protection des personnes qui vivent à proximité du volcan étudié mais elles ne peuvent pas être extrapolées à d'autres volcans.

Quelle que soit la méthode suivie, il est essentiel, pour l'évaluation du risque, d'établir des cartes où sont indiquées les zones exposées aux différents dangers (coulées, nuées ardentes, explosions, etc.). Sur la base de ces cartes, lorsqu'un phénomène se produit, le service de protection civile peut organiser des interventions telles que l'alarme, l'évacuation, l'interdiction de construire, etc..

Au Campi Flegrei, depuis le mois de décembre 1984, la déformation du sol et les séismes ont beaucoup diminué et même cessé. Pour le moment cette phase semble être terminée. Néanmoins, la protection civile est toujours en état d'alerte pour limiter les dégâts lors d'une éventuelle reprise de l'activité volcanique ou sismique.

L'ensemble de toutes les données disponibles,

- faible profondeur de l'activité magmatique
- diminution progressive, dans le temps, du volume de matériel faisant éruption
- évolution structurale du volcan
- migration des remontées magmatiques vers le centre de la caldera
- volume du réservoir (inférieur ou égal à $0,4 \text{ km}^3$) estimé d'après des données pétrologiques
- évolution du magma se faisant en système fermé, une réalimentation du réservoir ne semblant pas possible
- type de déformations du sol

porte à la conclusion suivante: lors d'une éruption, le scénario le plus probable serait très proche de celui de l'éruption qui a donné naissance au Monte Nuovo en 1538. Une telle éruption pourrait provoquer des dégâts et des pertes en vies humaines très importantes. La figure 9 montre deux possibilités d'éruptions et leurs conséquences.

Aujourd'hui, le volcan des Campi Flegrei est l'objet d'une surveillance continue et les organismes scientifiques (Osservatorio Vesuviano, Dipartimento di Geofisica e Vulcanologia de l'Université de Naples, Dipartimento di Scienze della Terra de l'Université de Pise) sont constamment en contact avec la protection civile.

Le temps nécessaire à l'évacuation des 400.000 personnes qui habitent la zone de la caldera est très long, et la probabilité de donner une fausse alarme, ou de ne pas réussir à déplacer la population avant l'éruption, est assez grande. On cherche donc, maintenant, à déplacer progressivement et définitivement un grand nombre de personnes afin de réduire la densité de la population. Naturellement, un tel déplacement pose de sérieux problèmes en ce qui concerne, entre autre, le logement et la reconstitution d'une vie sociale et économique ailleurs, pour les populations affectées.

Armando Mauro
Institut de Géologie Lausanne et
Osservatorio Vesuviano Ercolano Napoli

Bibliographie

- Barberi F., Corrado G., Luongo G., 1984, Bulletin de volcanologie, vol. 47-2
- Barberi F., Gasparini P., 1983, "Le Scienze" Quaderni, vol.4 Gennaio
- Berrino G., Corrado G., Luongo G., Toro B., 1984, Bulletin Volcanologique, vol. 47-2
- Bullard F.M., Volcanoes of the Earth. University of Texas Press.
- Del Pezzo E., De Natale G., Zollo A., 1983, Bulletin Volcanologique, vol. 47-2
- Gasparini P., 1983, "Le Scienze", Quaderni, vol.4
- Kilburn C.O., 1986, New Scientist, 6 FEB, p. 42-46
- Osservatorio Vesuviano, 1983, Guida all'escursione nei Campi Flegrei, ed al somma-Vesuviano, con note sulla dinamica del Mediterraneo, Napoli
- Rosi M., Sbrana A., Principe C., 1983, Journal of Volcanology and Geothermal Research, vol. 17, p. 273-288

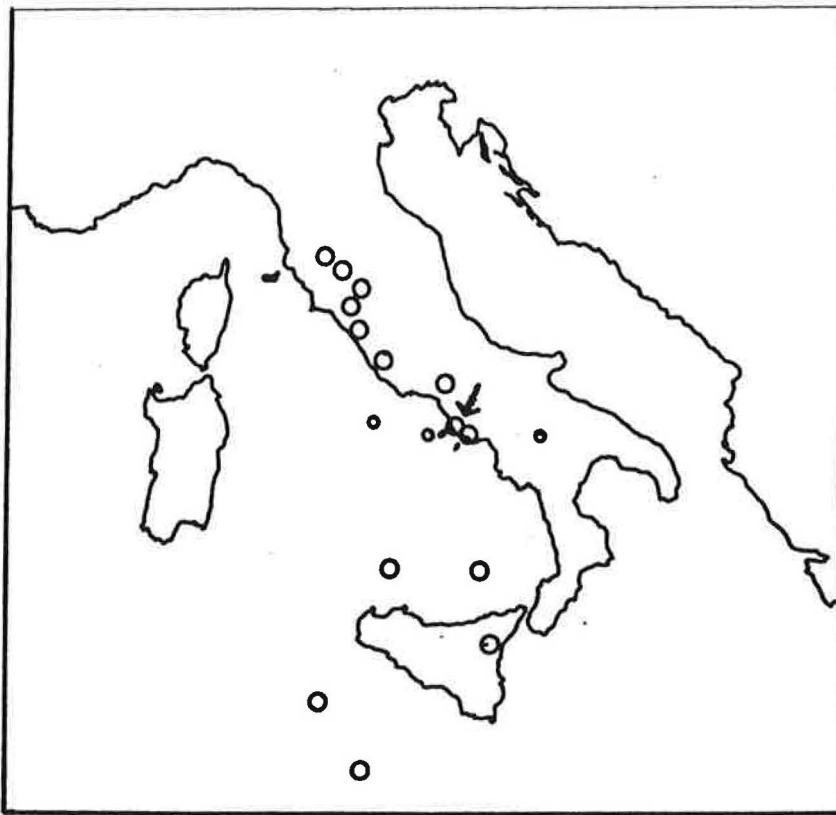


Fig. 1: localisation des principaux volcans d'Italie.
La flèche indique les "CAMPI FLEGREI!"

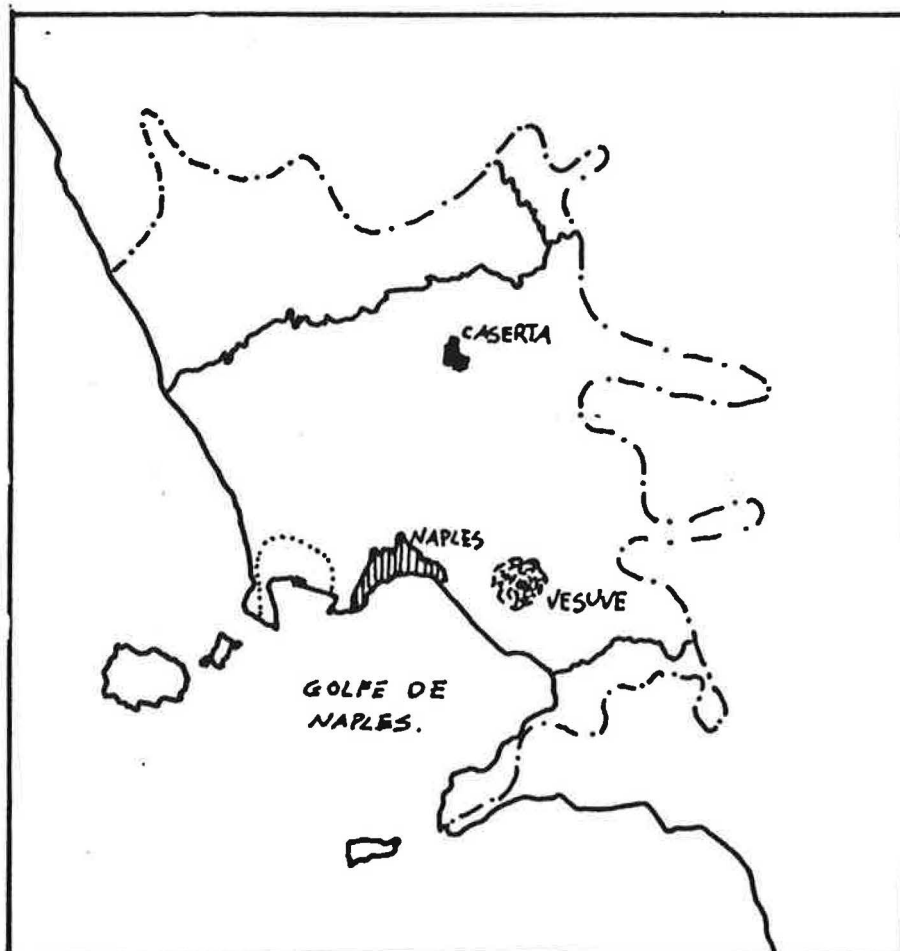


Fig. 2: extension de l'ignimbrite produite par l'éruption d'il y a 35.000 ans (limite en - - - - -)

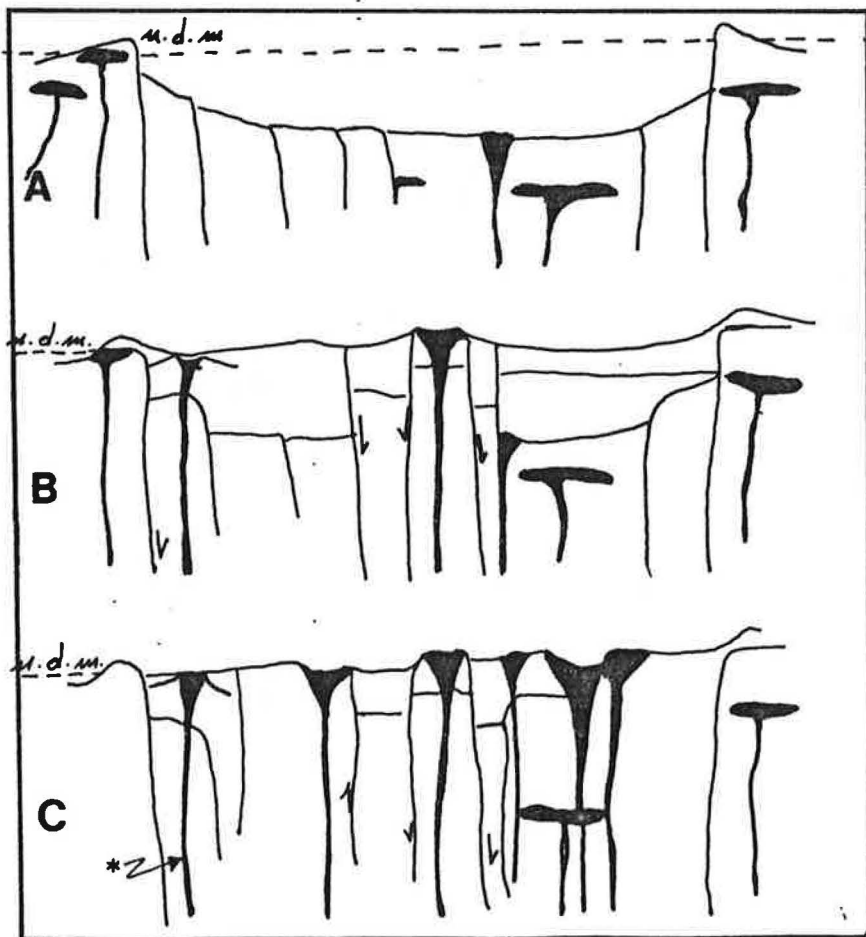
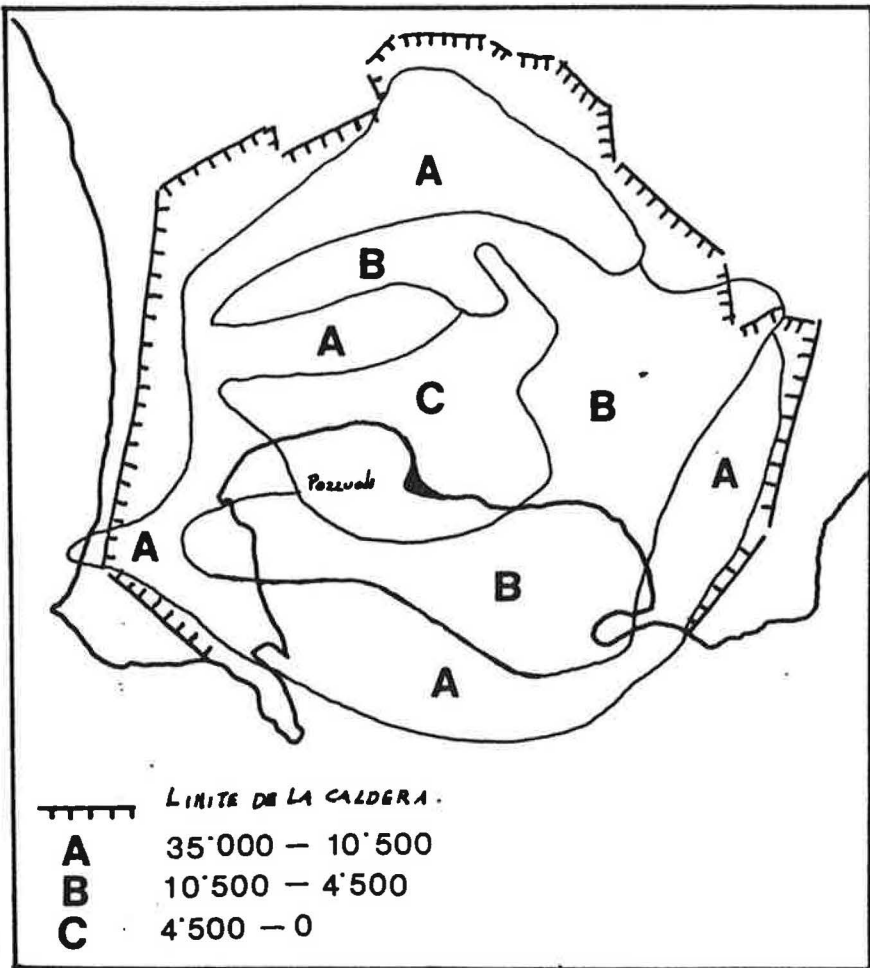


Fig.3-4: modèle d'évolution du volcan après la formation de la "CALDERA" (35000 ans).
 Fig.3: plan
 Fig.4: coupes scématisques
 *: remontées magmatiques.
 m.d.m : niveau de la mer

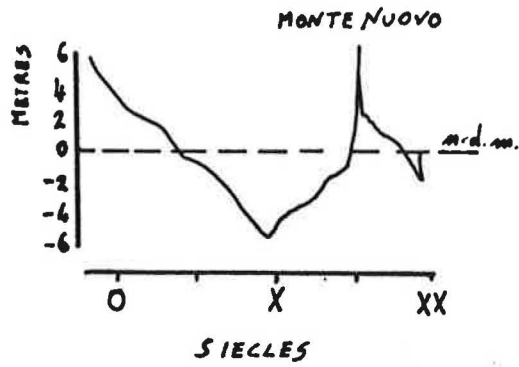


Fig.5: variation du niveau du sol du "SE-RAPEO" pendant les derniers vingt siècles.

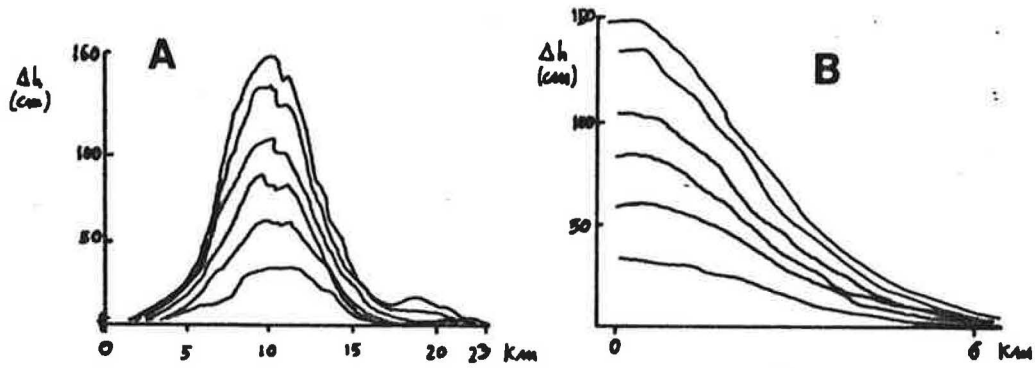


Fig.6: évolution progressive du soulèvement du sol (pér. 1982-84).
 A: littoral NAPLES- POZZUOLI-MISENO.
 B: profil N-S

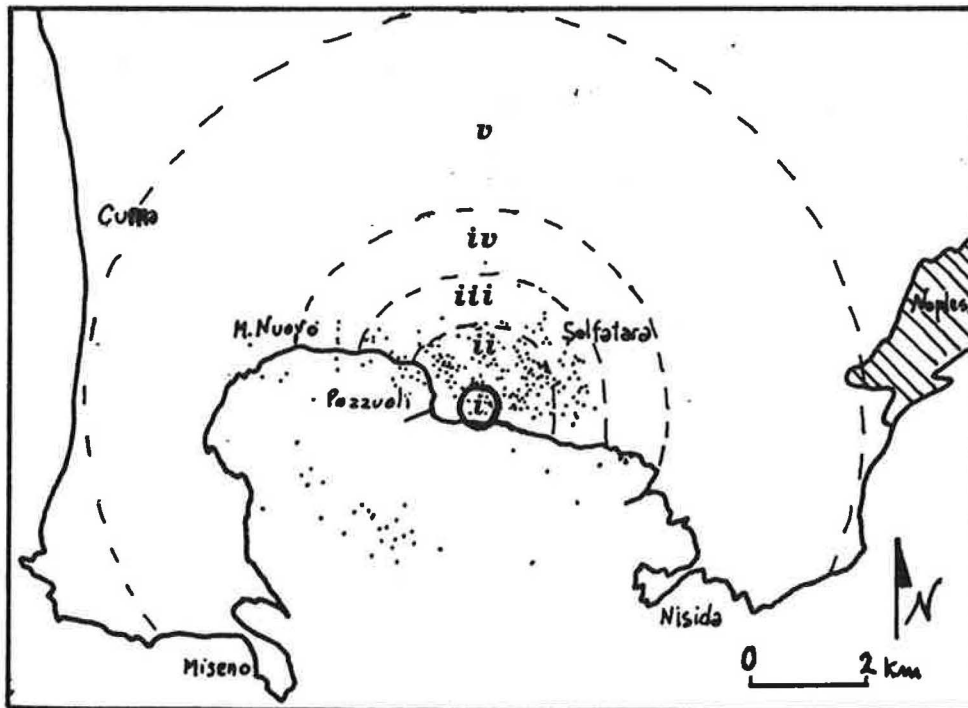


Fig.7: distribution des épicentres des séismes ($M \geq 2.4$) et zones de soulèvement du sol;
 i= soul. max (181 cm)
 ii= soul. 100-75 %
 iii= soul. 75-50 %
 iv= soul. 50-25 %
 v= soul. 25-0 %

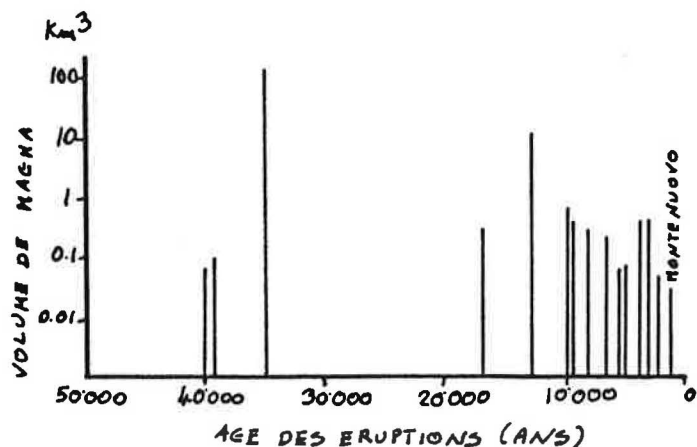


Fig.8 Après l'éruption d'il y a 35'000 ans, la quantité de matériel émit semble avoir diminué.

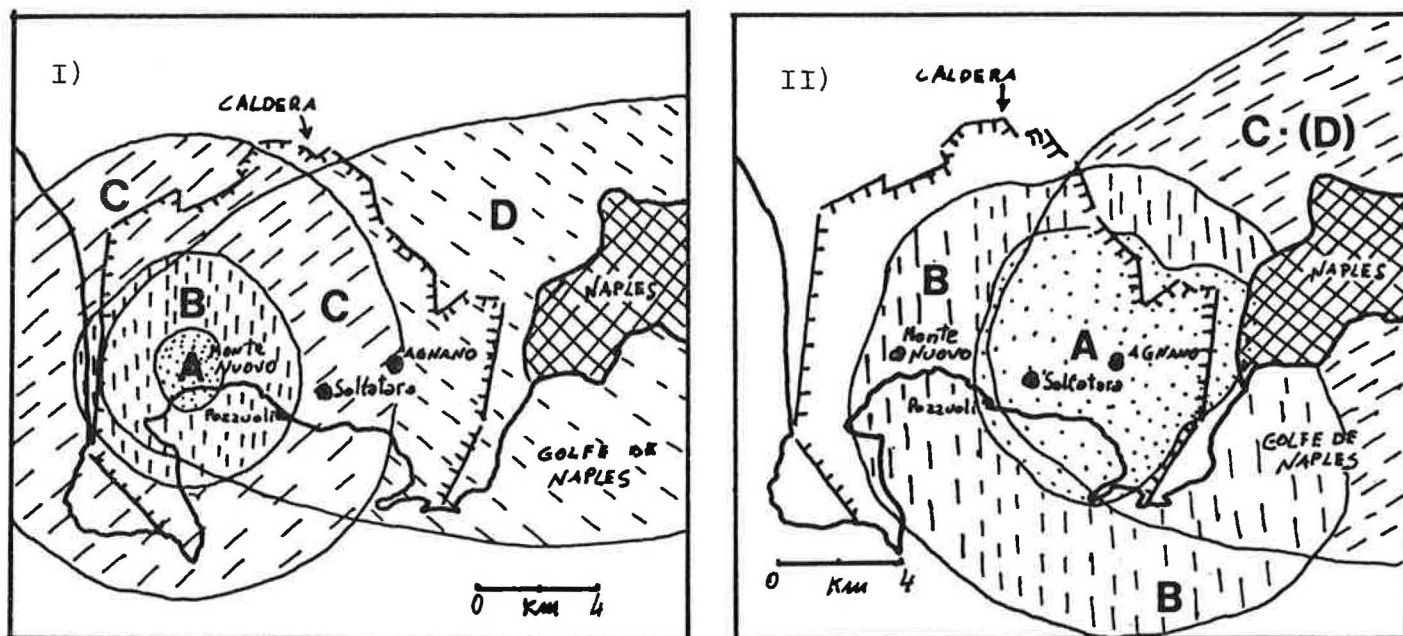


Fig.9 I): probables effets d'une éruption analogue à celle du Monte Nuovo (1538).

II): probables effets d'une éruption du type de celle du Vésuve (79 A.C.)

A: chute de débris et nuées ardentes (vitesse d'ouragan) **
Destruction totale sans survivants.

B: chute de matériel solide et fondu.
Graves dégats, beaucoup de pertes humaines.

C: chute de cendres et décharges latérales de débris.
Graves dégats, mais beaucoup de survivants.

D: chute de cendres et de poussière emportées par le vent.
Dégats indirects: pollution d'eau, problèmes aux machines, etc..

** Dans II) des Raz de Marée seraient possibles.