

linéaires y sont moins importants. Mais ce rayonnement est très faible (il faudrait placer des antennes sur la face cachée de la Lune pour se protéger des émissions venant de la Terre!). Un tel projet ne verra le jour que d'ici 20 à 30 ans.

Pourquoi certains physiciens sont-ils pessimistes quant à la possibilité de tester l'inflation ?

Certains considèrent que l'inflation est une idée impossible à tester par les observations, ce qui est un critère essentiel pour une théorie scientifique. Ils ajoutent que la diversité des scénarios inflationnaires et leur flexibilité face aux contraintes empêchent le paradigme inflationnaire d'être réfutable.

Une polémique à ce sujet est récemment née d'un article paru dans *Scientific American* et cosigné par Paul Steinhardt. Ce chercheur de l'université de Princeton est l'un des pères de la théorie de l'inflation, mais il se montre aujourd'hui très critique. Il est sain que des scientifiques mettent le doigt sur des difficultés que les autres n'ont pas vues, cela fait partie du processus normal de la recherche. C'est en essayant de répondre à ce genre de critiques que l'on améliore une théorie ou, au contraire, que l'on se rend

Paul Steinhardt, c'est qu'à chaque « univers-bulle » correspondront des conditions initiales arbitraires, puisque les fluctuations ayant conduit à la formation de cet univers bulle sont aléatoires. Il est alors impossible de prédire les propriétés de notre propre univers.

C'est un cadre qui se prête à de nombreuses réflexions théoriques. Par exemple, Yasunori Nomura utilise cette idée d'inflation éternelle et de multivers pour dresser un parallèle avec l'interprétation de la mécanique quantique proposée par Hugh Everett en 1957 (voir l'article page 26 à 34). La plupart des cosmologistes pensent que la question de l'inflation éternelle est probablement importante sur le plan conceptuel, mais que ses conséquences pratiques sont limitées. C'est peut-être une erreur, mais au quotidien, on n'utilise pas cette notion d'inflation éternelle lorsqu'on cherche à résoudre les problèmes de l'inflation dans notre univers.

Le problème du réchauffement, par exemple ?

Oui, mais pas seulement. J'ai récemment publié un article qui, je pense, sera important pour étudier des scénarios inflationnaires réalistes. Jusqu'à présent, nous nous sommes uniquement concentrés sur la forme du potentiel. Mais j'ai montré que nous avons omis une autre propriété importante. Dans une théorie à plusieurs champs scalaires, la dynamique de ces derniers est soumise à la géométrie de l'espace interne dans lequel vivent ces champs et ne dépend donc pas uniquement du potentiel. L'une des conséquences de ce nouveau facteur est que l'inflation peut s'interrompre de façon prématurée. Pour chaque modèle donné, les limites de compatibilité des données observationnelles sont alors modifiées. On le voit, il y a encore beaucoup de chemin à faire pour comprendre vraiment l'inflation.

Existe-t-il des alternatives à l'idée d'inflation ?

Il y en a quelques-unes. Je n'en suis pas spécialiste, mais le consensus scientifique est qu'elles présentent toutes des problèmes plus importants que l'inflation. L'univers avec rebond, par exemple, décrit un univers qui se contracte puis repart en expansion. L'idée est séduisante dans la mesure où elle évite la singularité initiale du Big Bang. Selon Paul Steinhardt, ce modèle ne présente pas certains problèmes de conditions initiales de l'inflation. Mais aucune théorie physique ne permet à l'heure actuelle de réaliser de manière satisfaisante un tel rebond.

L'inflation cosmique reste aujourd'hui le scénario le plus satisfaisant sur les plans théorique et observationnel. Mais les physiciens adorent les surprises et guettent la nouvelle idée qui fera progresser notre compréhension du monde – même si elle doit détrôner l'inflation! ■

Propos recueillis par Sean Bailly

Il y a encore beaucoup de chemin à faire pour comprendre vraiment l'inflation

compte qu'elle n'est pas satisfaisante. L'article virulent de Paul Steinhardt a été mal accueilli par la communauté et une trentaine de scientifiques lui ont répondu dans une lettre ouverte. Les critiques de Paul Steinhardt sont multiples; il évoque notamment la non-testabilité de l'inflation et le problème de l'inflation éternelle.

De quoi s'agit-il ?

L'inflation éternelle est l'idée que si un champ scalaire provoque l'inflation, cette phase d'expansion ne peut pas prendre fin, parce qu'elle est alimentée par des fluctuations quantiques. Cela avait été découvert en 1983 par Paul Steinhardt et d'autres. L'expansion exponentielle ne s'interromprait que dans des régions limitées, où se formeraient des univers analogues au nôtre. Ces bulles forment un multivers. Le problème, pour

L'ESSENTIEL

> À 20 kilomètres au sud de Rome se trouve la zone volcanique des monts Albains.

> Les géophysiciens ont reconstitué l'histoire de ses éruptions au cours des derniers 900 000 ans. Ils ont ainsi prouvé que, contrairement aux légendes, aucune ne s'est produite pendant l'Antiquité.

> Ils constatent aussi que la croûte terrestre de toute la région est en train de s'élever.

> Cela les conduit à un modèle du fonctionnement volcanique des monts Albains.

> Il suggère que le grand volcan des monts Albains serait en train de redevenir actif.

L'AUTEUR



FABRIZIO MARRA
géologue et chercheur
à l'Institut italien de géophysique
et de volcanologie (INGV),
à Rome

Le volcan aux portes de Rome

À 20 KILOMÈTRES DE LA «VILLE ÉTERNELLE», UNE ZONE VOLCANIQUE EST AU REPOS DEPUIS 36 000 ANS. MAIS SON HISTOIRE ÉRUPTIVE ET SON SOULÈVEMENT ACTUEL, D'ENVIRON DEUX MILLIMÈTRES PAR AN, SUGGÈRENT QU'ELLE REDEVIENT ACTIVE. FAUT-IL S'EN INQUIÉTER ?



Ce cratère, le lac d'Albano, a été formé il y a quelque 36 000 ans par une éruption explosive. Il se trouve dans les monts Albains, des collines volcaniques boisées situées à 20 kilomètres au sud-est du centre de Rome.

Une ville éternelle bordée de volcans? Depuis longtemps, des chercheurs avancent que des éruptions se sont produites au cours de l'histoire de Rome dans les monts Albains (*Colli albani* en italien), un ensemble de collines du Latium situé à seulement 20 kilomètres au sud-est de la cité. Ils se fondent entre autres sur Tite-Live (-59 à 17 de notre ère) qui, ayant mal interprété certains mythes, mentionna des « pluies de pierres » et autres « incendies dans la forêt albaine ». Du reste, même au début du siècle présent, il se trouve encore des chercheurs affirmant avoir prouvé que dans l'Antiquité des phénomènes volcaniques ont fait déborder de façon catastrophique un lac de cratère des monts Albains: le lac Albano.

Or il se trouve qu'entre 2003 et 2006, à la demande de la Protection civile italienne et de l'INGV, l'Institut italien de géophysique et de volcanologie, j'ai coordonné un projet stratégique d'évaluation des risques géologiques dans la région romaine. Au cours de ce projet, nous avons montré que ni les débordements catastrophiques du lac Albano ni les éruptions censées les avoir provoqués au cours de l'Antiquité ne sont prouvés. Pour autant, les recherches que j'ai menées ensuite avec de nombreux collègues de l'INGV, de l'université Sapienza à Rome, du CNR (Conseil national de la recherche italien) et de l'université du Wisconsin à Madison, aux États-Unis, donnent raison à ceux qui ne se résignent pas à voir dans les monts Albains un volcan éteint. Nous avons tout récemment (en 2016) publié leur conclusion: cette zone volcanique donne des signes de réveil (*voir la bibliographie*)!

LE LAC ALBANO EST UN MAAR

Avant d'aborder ce qui fonde cette conclusion, expliquons pourquoi le lac Albano n'a pu déborder pendant l'Antiquité. Ce lac est un maar, c'est-à-dire un cratère formé par l'explosion provoquée par la rencontre entre du magma ascendant et les nappes phréatiques. L'éruption achevée, il s'est empli d'eau. A-t-il ensuite débordé? Oui à en croire Tite-Live, qui évoque « une élévation inhabituelle des eaux du lac »; auparavant, Cicéron (106 à 43 avant notre ère) écrit que le « lac d'Albano [...] dépassa son niveau habituel ». Selon Denys d'Halicasse (60 à 8 avant notre ère), qui vécut bien après ces événements légendaires, ces débordements se seraient produits en 398 avant notre ère et auraient entraîné la même année la construction de l'exutoire romain qui équipe le lac.

Réalisée dans le cadre du projet stratégique mentionné plus haut, l'étude de la façon dont fut creusé ce tunnel d'évacuation des eaux montre que jamais le lac n'a pu être assez haut

pour déborder. Les *fossore*, c'est-à-dire les mineurs romains qui réalisèrent l'excavation, s'étaient répartis en deux équipes, l'une creusant depuis l'intérieur du cratère et l'autre depuis l'extérieur. Une fois reliées les deux moitiés de tunnel, ils procédèrent à l'abaissement du fond du tunnel d'admission jusqu'au

Pas d'activité éruptive depuis le dernier événement survenu il y a 36000 ans

niveau du lac. Si l'on suppose que l'exutoire fut creusé l'année du débordement (Denys d'Halicasse) pour empêcher une nouvelle catastrophe, alors cela implique qu'en 398 avant notre ère, après avoir débordé, le niveau du lac est rapidement redescendu sous celui de l'entrée de l'exutoire. Or celui-ci se trouve quelque 70 mètres sous le bord le plus bas du cratère... Le lac a-t-il pu monter au point de déborder, puis redescendre la même année de 70 mètres pour retrouver son « niveau habituel » (Cicéron) indiqué par le départ de l'exutoire? C'est très peu plausible...

La théorie des débordements du lac Albano a par ailleurs semblé appuyée un moment par la découverte d'anciens sols sous des dépôts volcaniques. Leur datation au radiocarbone a en effet livré des âges compatibles avec une inscription dans la mémoire humaine. On a donc pensé que les dépôts volcaniques recouvrant ces paléosols témoignaient des éruptions associées aux inondations catastrophiques évoquées dans les légendes romaines.

Au cours du projet stratégique mené de 2003 à 2006, nous avons toutefois éliminé le moindre doute sur la présence de produits volcaniques de moins de 5000 ans dans les monts Albains. Après un dernier épisode éruptif survenu il y a 36000 ans, dans le cratère d'Albano justement, plus aucune éruption n'a eu lieu. Le manque de fiabilité de la datation des paléosols par le radiocarbone est par ailleurs apparu quand la datation par la méthode argon-argon des dépôts volcaniques les recouvrant a livré des âges compris entre 69000 et 36000 ans, soit précisément les dates des deux derniers cycles éruptifs des monts Albains.



ESA/Programme Copernicus

BIOGRAPHIE



FABRIZIO MARRA est chercheur principal à l'INGV (Institut italien de géophysique et de volcanologie). Il a étudié les liens existant entre les glaciations, les variations du niveau de la mer et les processus sédimentaires dans la région romaine, ainsi que l'histoire éruptive des zones volcaniques entourant Rome, qui ont fourni à la ville les tufs et les pouzzolanes avec lesquels elle a été construite.

Ainsi, Tite-Live ne nous renseigne aucunement sur l'activité passée de la zone volcanique des monts Albains et, à ce stade, rien n'indique non plus qu'une quelconque éruption s'y soit produite dans l'Antiquité.

Du reste, nous avons aussi établi qu'aucune éruption n'a eu lieu dans les monts Albains au cours des derniers 36 000 ans. Ce fait constitue justement l'une des raisons allant dans le sens d'un réveil volcanique. Il ressort en effet de nos échantillonnages des produits éruptifs et de leurs datations que durant toute l'ère d'activité des monts Albains, des cycles éruptifs se déclenchent en moyenne tous les 41 000 ans ; par ailleurs, quelles que soient leurs amplitudes, ils sont séparés par des périodes de repos d'une durée approximative de 38 000 ans. Le dernier cycle éruptif s'est produit dans le cratère d'Albano. Il a débuté il y a 41 000 ans pour se terminer il y a 36 000 ans. Ainsi, le temps qui s'est écoulé depuis la dernière éruption dans les monts Albains n'excède pas le temps moyen séparant deux cycles d'éruptions : il s'agit justement là de l'un des critères que l'on prend en compte pour déclarer actif un volcan.

Au cours des quinze dernières années, en collaboration avec le laboratoire Wiscar de l'université du Wisconsin à Madison et le Centre de

géochronologie de Berkeley en Californie – des laboratoires hautement spécialisés dans la datation des roches –, l'INGV a daté plus de 100 échantillons couvrant une grande partie des produits éruptifs affleurant dans la région de Rome. Près de vingt ans de travail avaient été nécessaires pour identifier ces roches, les échantillonner, puis les faire dater. C'est ainsi que nous avons reconstitué l'histoire éruptive des monts Albains depuis ses débuts il y a 900 000 ans (voir l'encadré page 44).

Aucun éjecta (c'est-à-dire produit éruptif éjecté) de plus de 600 000 ans n'a été trouvé en surface, mais il est possible de déduire de la composition de certaines roches volcaniques si des cycles éruptifs ont eu lieu avant leur formation. Leurs matrices incorporent en effet des xénocristaux – littéralement des « cristaux étrangers » –, isolés au sein de la population de cristaux produite par l'éruption qui les a formées. Les xénocristaux des roches des monts Albains attestent indirectement que des éruptions ont eu lieu dans ces collines dès 900 000 ans. En classant les xénocristaux des monts Albains par tranches d'âges, puis en les dénombrant, nous avons établi statistiquement que la fréquence de ces éruptions anciennes a culminé tous les 100 000 ans environ.

L'ACTIVITÉ S'INTENSIFIE

À partir de 600 000 ans dans le passé, l'activité des monts Albains s'intensifie et devient plus fréquente. La phase dite du Tuscolano-Artemisio débute alors : elle est fortement explosive, ce qui induit l'émission d'énormes coulées pyroclastiques. Ces nuées ardentes sont produites par l'effondrement du panache volcanique, c'est-à-dire de la colonne de cendre et de vapeur, haute de plusieurs kilomètres parfois, qui se forme lors d'une éruption explosive, telle la célèbre éruption plinienne qui a enseveli Pompéi et Herculaneum. Ces nuées dévalent les flancs du volcan dans toutes les directions, recouvrant de magma fragmenté et incandescent les régions environnantes jusqu'à de grandes distances.

Pendant la phase du Tuscolano-Artemisio, la zone de Rome a été à plusieurs reprises entièrement recouverte de dépôts pyroclastiques, parfois de plusieurs mètres d'épaisseur. Ils constituent les célèbres tufs et autres pouzzolanes (les tufs sont de véritables roches ; les pouzzolanes des sables consolidés) extraits de carrières à ciel ouvert ou souterraines (*arenari*) dont se servent les habitants du Latium depuis l'Antiquité pour construire.

Durant la phase du Tuscolano-Artemisio débutant il y a 561 000 ans, cinq grands cycles éruptifs se produisent, que séparent des intervalles de 30 000 à 45 000 ans. Cette régularité est une particularité des monts Albains. Elle s'est maintenue pendant toute leur histoire ➤

La zone volcanique des monts Albains se trouve tout près d'une région très urbanisée. Le lac d'Albano (en bas à droite) est entouré de communes de la banlieue de Rome, lesquelles jouxtent directement une partie de Rome (non visible).



> éruptive, malgré la diminution progressive de l'intensité des cycles éruptifs.

Une longue période de repos de 57 000 ans suit la phase du Tuscolano-Artemisio. Ensuite commence la phase des Faete avec ses très nombreuses éruptions stromboliennes. On désigne par cette expression dérivée du nom du volcan Stromboli (l'une des îles Éoliennes) les éruptions constituant une activité éruptive moyennement explosive accompagnée de projections de cendres et lapilli (éjectas constitués de petites pierres). Accompagnées de diverses

coulées de lave, ces éruptions ont entraîné la formation de nombreux petits édifices volcaniques (cônes de scories) répartis dans toute la zone volcanique. Pour modérée qu'ait été l'activité pendant la phase des Faete, elle a été très étendue et s'est poursuivie pendant 58 000 ans (voir l'encadré ci-dessous).

Parmi les épanchements de lave de la phase des Faete, la grande coulée de Capo di Bove se distingue par son importance (voir la figure ci-dessous). Émise il y a 278 000 ans par un cratère placé sur le flanc nord-ouest de la caldeira de

HISTOIRE D'UNE ZONE ACTIVE

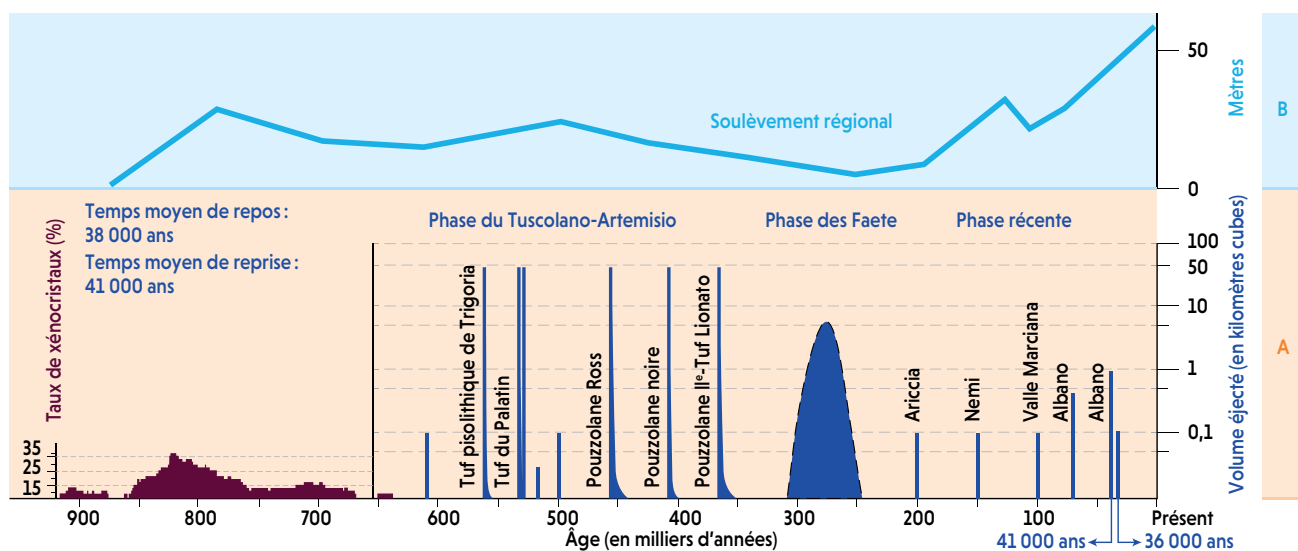
Le schéma ci-dessous résume les faits qui font penser que les monts Albains seraient en train de redevenir une zone volcanique active. Pendant toute l'ère d'activité de ce grand volcan, de grandes phases d'activité se sont succédées.

Les deux premières phases des derniers 600 000 ans – la phase du Tuscolano-Artemisio et celle des Faete – portent le nom des édifices volcaniques qu'elles ont laissés. Durant ces grandes phases d'activité, des cycles éruptifs plus ou moins amples se sont suivis à un rythme régulier (A). Le temps moyen qui s'écoule entre le début d'un cycle éruptif et le début du suivant est de l'ordre de 41 000 ans. Depuis 600 000 ans, 13 cycles éruptifs d'une durée de quelques milliers d'années se sont succédés ; ils sont représentés par les petites barres verticales. Exprimés en milliers d'années, les âges des éruptions ont été déterminés grâce aux isotopes de l'argon contenus dans leurs produits. Des périodes de repos presque absolu d'une durée moyenne de 38 000 ans séparent ces cycles éruptifs.

Le dernier a commencé au cratère d'Albano il y a 41 000 ans et s'est achevé il y a 36 000 ans, ce qui implique que la période qui s'est écoulée entre le début du dernier cycle éruptif et

aujourd'hui (41 000 ans) est du même ordre que la période au bout de laquelle l'activité volcanique des monts Albains revient. Les 36 000 ans écoulés depuis la fin du dernier cycle éruptif sont du même ordre que le temps moyen de retour à l'activité depuis 900 000 ans, mais dépasse sa valeur au cours des derniers 100 000 ans, qui n'a été que de 31 000 ans. Ces constatations suggèrent fortement que le système volcanique des monts Albains doit être considéré comme actif et peut-être sur le point de déclencher de nouvelles éruptions.

Or, dans le même temps, le lent soulèvement de toute la région apparaît semblable à ceux qui ont précédé le début de l'activité volcanique dans les monts Albains il y a 800 000 ans et le début de la phase explosive du Tuscolano-Artemisio il y a 600 000 ans (B). Ce soulèvement a commencé il y a 200 000 ans pour culminer avec la nouvelle phase d'activité du cratère d'Albano. Il atteint 2 millimètres par an dans la région des monts Albains. Au cours des deux derniers millénaires, le champ de pression régnant dans la croûte terrestre des monts Albains a cessé d'être compressif pour devenir extensif : une situation qui favorise l'ouverture des failles et des fractures et la remontée du magma depuis les profondeurs.



Tuscolano-Artemisio (une caldeira est une dépression due à la «vidange» d'une chambre magmatique sous-jacente), elle a avancé en ligne droite sur plus de dix kilomètres en direction du site de Rome, ne s'arrêtant que sur le lieu de ses futures portes. Or c'est justement de la porte de Saint-Sébastien, le long de la partie sud-est du mur d'Aurélien qui entoure le centre historique de Rome, que part la voie Appienne (*Via Appia*). Cette ancienne voie consulaire (grande voie de l'Empire) court le long de la crête de la coulée, la parcourt dans son ensemble, puis continue vers Naples. Les *basoli*, c'est-à-dire les pavés de lave de la voie Appienne et de nombreuses autres voies consulaires, ont été tirés de la lave leucitique de la coulée de Capo di Bove (les nombreux cristaux blancs de leucite qu'elle contient lui ont valu le nom d'«œil de poisson» ou d'«œil-de-perdrix»). Plus récemment, les leucitites albaines ont fourni le matériau des fameux *sampietrini*, les pavés qui recouvrent aujourd'hui encore un grand nombre des voies de Rome.

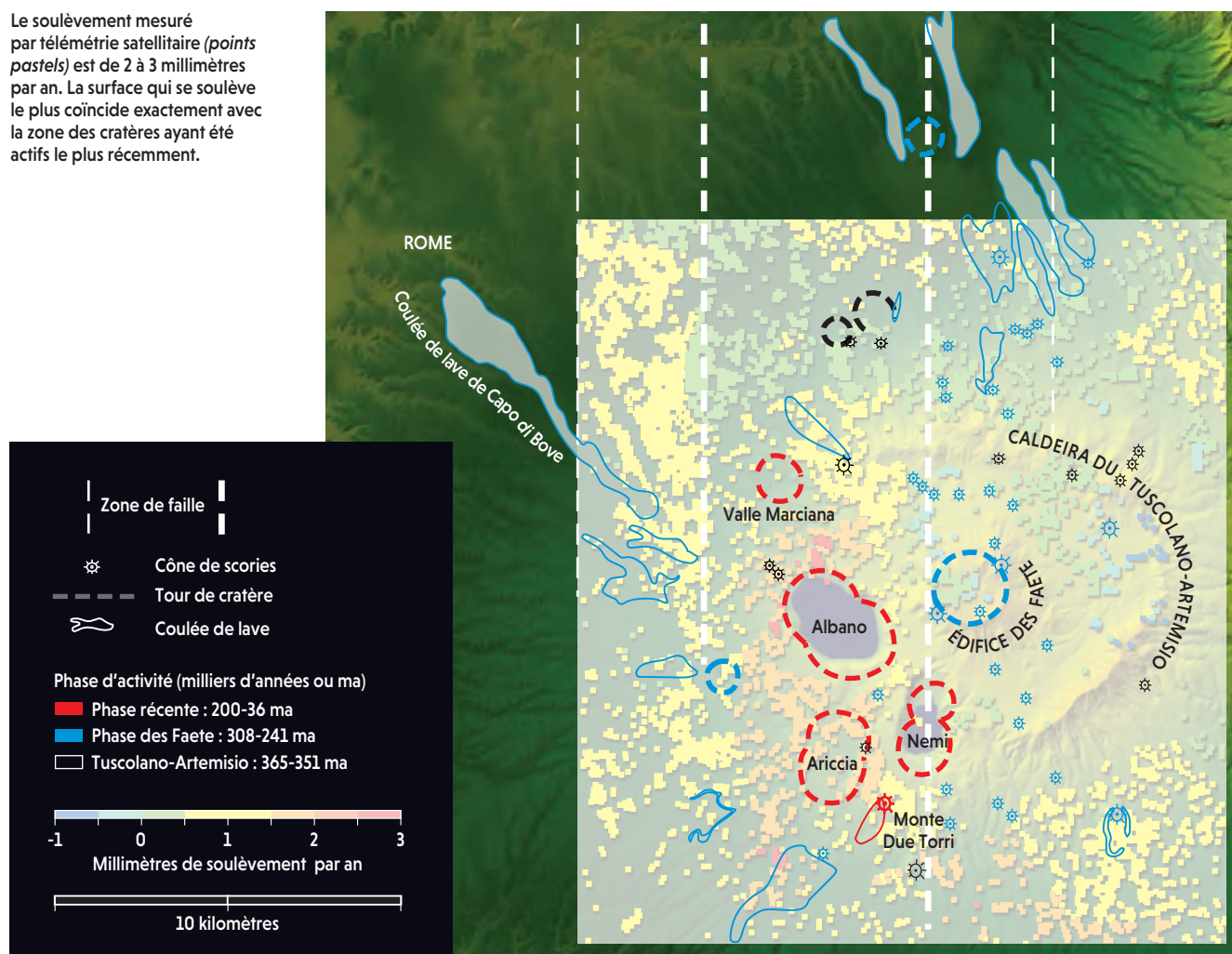
La dernière éruption effusive de la phase des Faete a été suivie par une inactivité de près

de 40000 ans. Puis, à partir d'il y a 200000 ans, la «phase récente» commence. Une activité explosive s'établit dans le cratère d'Ariccia, l'un des centres éruptifs des monts Albains situé à seulement deux kilomètres au sud de celui d'Albano. Pendant les éruptions de la phase récente, du magma interagit avec de l'eau infiltrée par des failles, et cela produit ce que l'on nomme des «surges volcaniques», c'est-à-dire des nuées ardentes d'ampleur.

Ces grandes coulées pyroclastiques produisent des cendres et des lapillis stratifiés, qui se déposent radialement autour du cratère à la faveur des explosions répétées dues aux montées successives en pression de la vapeur produite par le contact entre l'eau des nappes phréatiques et le magma. Lors d'une explosion, des anneaux de vapeur portant de la cendre s'élèvent et s'étendent comme le nuage d'une explosion nucléaire. Ce phénomène atmosphérique alterne avec les coulées pyroclastiques, qui se forment chaque fois que se créent des panaches volcaniques assez hauts.

Dans l'ensemble, l'activité de la phase récente a été plus modérée que pendant la >

Le soulèvement mesuré par télémétrie satellitaire (*points pastels*) est de 2 à 3 millimètres par an. La surface qui se soulève le plus coïncide exactement avec la zone des cratères ayant été actifs le plus récemment.





Les roches volcaniques dont sont constitués l'aqueduc de Claude à Rome (*ci-dessus*) et la voie Appienne (*à droite*) proviennent soit de tufs (débris volcaniques consolidés), soit de coulées de lave des monts Albains. Elles ont fourni des informations sur l'histoire éruptive de cette zone volcanique.

> phase du Tuscolano-Artemisio, même si elle a aussi été très explosive et accompagnée de projection de lapillis à très grandes distances. Comme pendant la phase du Tuscolano-Artemisio, les cycles éruptifs de la phase récente se sont manifestés à chaque fois dans un cratère différent et ont été séparés par des périodes de repos régulières de 50 000 ans environ. Ainsi, l'activité du cratère d'Ariceia a été suivie, il y a 150 000 ans, par celle du cratère voisin de Nemi, puis celle-ci à son tour, il y a environ 100 000 ans, par celle du val Marciana, situé à quelques kilomètres au nord d'Albano.

À partir d'il y a 69 000 ans, toutefois, il semble que la fréquence des retours d'activité ait augmenté, puisque le nouveau cycle éruptif s'est déclenché après quelque 30 000 ans, exactement comme pendant les premières grandes éruptions de la phase du Tuscolano-Artemisio. Dans le même temps, l'intensité des éruptions croissait. Deux cycles explosifs survinrent au cratère d'Albano, produisant des coulées pyroclastiques de dimensions notables, telle celle d'il y a 36 000 ans à l'origine du dépôt dit du *peperino de Marino*, ou du *peperino albano*. Il s'agit d'une roche très dure, que les Romains employaient volontiers pour réaliser des sarcophages et le soubassement de temples. Elle doit son nom à son aspect «poivre et sel» caractéristique (*peperino* signifie «petit poivre»), créé

par la présence dans cette roche de très nombreux grains noirs (cristaux de pyroxène) et blancs (cristaux de leucite).

Les éjectas des deux cycles éruptifs d'Albano, survenus le premier il y a 69 000 ans et le second entre 41 000 et 36 000 ans, ont franchi des distances considérables, tant vers Rome qu'en direction du nord-est. Quatre cônes d'éjection ont même dépassé les limites de la caldeira du Tuscolano-Artemisio; à l'heure actuelle, nous pouvons en retrouver des traces jusque dans les bassins montagneux de l'Apennin central, tel le Fucino et la plaine de Sulmona, qui sont à plus de 100 kilomètres... Ce retour de l'intensité et de gros volumes éjectés durant le dernier cycle éruptif se manifeste aussi par la grande étendue de l'activité. Elle se traduit par l'apparition de l'édifice volcanique du Monte Due Torri, à environ deux kilomètres au sud des cratères d'Ariceia et de Nemi. Il y a 40 000 ans, ce volcan a projeté de la lave et des lapillis alors que dans le cratère d'Albano se produisaient en même temps de violentes éruptions phréato-magmatiques (dues à la rencontre d'eau et de magma).

UNE PHASE COMMENCE

Ces observations donnent à penser qu'à Albano, c'est une nouvelle phase volcanique, et pas seulement un nouveau cycle éruptif, qui débute. Il semble en effet que les phases d'activité des monts Albains commencent lorsque culmine le soulèvement de la région entière. Expliquons. Au cours des dernières 800 000 années, la côte donnant sur les monts



Albains et ceux du Latium septentrional (monts Sabatins, Vico et Volsins) a subi des soulèvements répétés coïncidant chaque fois avec le début de phases volcaniques.

En particulier, un soulèvement très important est survenu il y a entre 900 000 et 800 000 ans, en même temps que le début des premières phases d'activité volcanique; un second soulèvement s'est produit il y a 600 000 à 500 000 ans, au début de la phase explosive du Tuscolano-Artemisio. Enfin, la dernière phase de soulèvement s'est produite en deux étapes: la première coïncide avec le début de la phase volcanique récente; la deuxième, plus marquée, avec le fort regain d'activité en termes de volumes et de fréquence, qui caractérise les deux cycles éruptifs d'Albano et Monte Due Torri. Selon nous, ces soulèvements régionaux peuvent être mis en relation avec des remontées de magma à l'origine des monts Albains, lesquelles provoquent un «gonflement» de la croûte terrestre. Une impression que confirme l'étude de l'évolution géochimique du magma éjecté à partir d'il y a 69 000 ans.

Or des recherches récentes en tectonique et en paléogéographie révèlent que la région de Rome est en train de se soulever. En outre, les études de télémétrie satellitaire effectuées à l'INGV montrent qu'un soulèvement de la zone volcanique des monts Albains s'ajoute au mouvement général de la région. De 2 à 3 millimètres par an au cours des vingt dernières années, ce soulèvement continu se produit exactement dans la zone où sont survenues les éruptions les plus récentes. Il se concentre par ailleurs dans un secteur bordé par deux zones de faille limitant une portion de croûte terrestre allongée dans la direction nord-sud (voir la figure page 45). Ce morceau de croûte porte les centres éruptifs de la phase récente. Tout cela conduit à l'hypothèse que du nouveau magma serait en train de s'accumuler sous cette zone, ce qui expliquerait son «gonflement».

La réévaluation d'études de tomographie sismique (sorte de scanographie de la croûte terrestre) menées par le passé à l'occasion de l'arrivée des ondes de tremblements de terre lointains suggère que cette zone d'accumulation du magma pourrait se trouver entre 5 et 10 kilomètres de profondeur. C'est assez profond pour ne pas susciter d'inquiétudes immédiates, mais compatible avec la présence d'une chambre magmatique.

Une autre observation importante provient de l'étude des causes des longues périodes d'inactivité séparant les différentes éruptions des monts Albains. Les recherches effectuées ont révélé que le comportement des monts Albains se distingue nettement de celui des autres zones volcaniques d'Italie centrale ayant été actives en même temps. Cette différence semble liée à la tectonique particulière

de la région de Rome. Les forces qui s'exercent sur la croûte terrestre sont en effet compressives, alors qu'elles sont extensives dans les régions voisines. La compression horizontale que l'on observe dans la région de Rome a pour effet d'y sceller les fractures et les failles par lesquelles le magma remonte pendant les éruptions. Le magma produit sous la région de Rome reste donc en profondeur jusqu'à ce que son accumulation progressive ait engendré des pressions dépassant celles que les forces compressives exercent sur les failles. Une fois ce seuil atteint, la poussée verticale due à l'accumulation de magma ouvre les failles et les fractures: le champ de pression devient alors extensif, malgré la compression due à la tectonique, et un nouveau cycle éruptif commence.

Menées il y a plusieurs années par des chercheurs de l'INGV, des recherches en géologie structurale ont permis de comprendre que la région de Rome est passée d'un état de compression à l'état d'extension actuel, et que cette inversion s'est produite il y a moins de 2000 ans. Ces collègues ont en effet observé les déformations horizontales qu'induit une compression sur un aqueduc romain du II^e siècle (voir la photographie page précédente). Ces déformations montrent que le champ de pression existant après la construction de l'ouvrage comprimait la croûte terrestre régionale.

Les choses ont changé depuis. Aujourd'hui, les indicateurs géophysiques témoignent de l'existence d'un champ de pression extensif, qui tend à élargir les fractures de la croûte terrestre sous les monts Albains et dans la région romaine. Ces observations suggèrent qu'une remontée de magma pourrait être responsable du soulèvement actuel des monts Albains.

UNE ÉRUPTION PEUT-ÊTRE DANS QUELQUES SIÈCLES

Prédire quand se produira une éruption est impossible, mais c'est une question de siècles ou de millénaires. De plus, nous n'avons pour le moment aucune certitude quant à l'existence d'une chambre magmatique sous les monts Albains! Le soulèvement observé dans la zone des cratères récents pourrait en effet s'expliquer aussi par la présence souterraine de fluides et de gaz sous pression. Une nouvelle tomographie sismique de la région suivie par une modélisation numérique de la source de la déformation nous aidera à clarifier les raisons du soulèvement continu en cours dans la zone des cratères récents.

Nous verrons ce qu'il en est, mais il importe déjà de placer les monts Albains sous surveillance constante, afin que les signaux d'une future éruption puissent être enregistrés à temps par nos arrières-arrières-arrières... petits-enfants. ■

BIBLIOGRAPHIE

F. Marra et al., **Assessing the volcanic hazard for Rome : ⁴⁰Ar/³⁹Ar and In-SAR constraints on the most recent eruptive activity and present-day uplift at Colli Albani Volcanic District**, *Geophysical Research Letters*, vol. 43(13), pp. 6898-6906, 2016.

E. D'Ambrosio et al., **L'attività recente del centro eruttivo di Albano tra scienza e mito : un'analisi critica del rapporto tra il vulcano laziale e la storia dell'area albana**, atti del convegno Lazio e Sabina, sesto incontro di studi sul Lazio e la Sabina, pp. 125-136, Rome, 2010.

C. Martel, **Les crises de la montagne Pelée**, *Pour la Science* n° 439, mai 2014.

