

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) écrivait 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