

fois lors de la petite enfance et à l'adolescence. D'une part, la qualité de vie à l'âge adulte dépend en partie des erreurs commises à l'adolescence, d'où l'importance de prévenir ces dernières. D'autre part, la maîtrise de soi dans l'enfance prédit la propension à commettre des erreurs à l'adolescence, qui pourrait donc être atténuée grâce à des mesures précoces.

Même à l'âge adulte, la maîtrise de soi peut être améliorée. Des psychosociologues ont montré qu'à l'instar d'un muscle, cette capacité se renforce quand on l'entraîne, mais qu'elle est diminuée par le stress, l'alcool ou la fatigue.

L'étude de Dunedin et l'étude *E-risk* sont des projets de longue durée, qui n'ont pas fini de nous renseigner sur la maîtrise de soi. Leurs membres continueront d'avancer en âge et, nous l'espérons, d'accepter de participer à chaque nouvelle collecte de données. Le grand don à la science de ces personnes est leur collaboration leur vie durant à ces travaux.

Jusqu'ici, nous avons négligé l'imagerie cérébrale, mais nous allons bientôt y

remédier. Nous avons prévu d'analyser les variations structurelles au sein du cerveau des sujets de l'étude. Nous utiliserons aussi l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), notamment pour analyser les supports cérébraux de la maîtrise de soi. Plus tard, nous étudierons la façon dont les participants vivent la ménopause, les pertes de mémoire, l'accession au stade de grands-parents et la retraite.

À notre époque, le nombre d'enfants tend à diminuer et celui de personnes âgées à augmenter. On s'attend à ce que cette tendance se poursuive et les jeunes travailleurs devront alors soutenir de plus en plus de retraités. Ainsi, la valeur que la société place sur chaque enfant et les contributions qu'elle attend de lui augmenteront. Ces changements démographiques augmentent la valeur de la maîtrise de soi. Les deux cohortes que nous étudions, nées dans des pays différents et pendant des décennies différentes, suggèrent fortement que le développement de cette capacité se révélera essentiel pour la santé, la richesse, la sécurité et le bonheur de l'humanité. ■

BIBLIOGRAPHIE

Enhancing and Practicing Executive Function Skills with Children from Infancy to Adolescence, Center on the Developing Child at Harvard University.
<http://developingchild.harvard.edu/>

R. F. Baumeister et J. Tierney, *Willpower : Rediscovering the Greatest Human Strength*, Penguin Books, 2011.

B. J. Casey *et al.*, Behavioral and neural correlates of delay of gratification 40 years later, *PNAS*, vol. 108, pp. 14 998-15 003, 2011.

A. Diamond, Interventions shown to aid executive function development in children 4 to 12 years old, *Science*, vol. 333, pp. 959-964, 2011.

T. E. Moffitt *et al.*, A gradient of childhood self-control predicts health, wealth, and public safety, *PNAS*, vol. 108, pp. 2693-2698, 2011.



LES RENDEZ-VOUS DU MUSÉUM

{ Partagez les savoirs }

Entrée gratuite

COURS PUBLICS Cycle : Histoire de l'Homme : une préhistoire africaine

Jeudi 2 avril – 18h
Le Middle Stone Age, une époque moderne de la pierre en Afrique

Jeudi 9 avril – 18h
Diffusion, migration, transition : dynamiques des changements comportementaux dans la préhistoire africaine

D. Pleurdeau, préhistorien, maître de conférences, Muséum.

Grand Amphithéâtre du Muséum — 57 rue Cuvier, Paris 5^e

MÉTIERS DU MUSÉUM

Dimanche 26 avril – 15h : Océanographe, *J.-M. Verstraete*.

FILMS Cycle : Carte-blanc à Olivia Mokiejewski

Samedi 18 avril – 15h30 : *Soleil vert*
Réal. : *R. Fleischer* (1973, 93')
Projection suivie d'échanges avec *O. Mokiejewski*, journaliste spécialisée dans l'économie de l'environnement et *F. Nicolino*, journaliste.

Samedi 25 avril – 15h30 : *Le projet NIM*
Réal. : *J. Marsh* (2012, 99')
Projection suivie d'échanges avec *O. Mokiejewski*, journaliste et *E. Grundmann*, biologiste, naturaliste et reporter animalière française.

Au Jardin des Plantes

Détails sur mnhn.fr, dans "l'agenda du jardin"

POUR LA SCIENCE

Auditorium de la Grande Galerie de l'Évolution
36 rue Geoffroy St-Hilaire, Paris 5^e

Quand l'eau met le feu aux volcans

Michel Detay

Lorsque le magma remonte des profondeurs de la Terre, l'eau qu'il contient se transforme en vapeur. L'énorme volume alors occupé par ce gaz explique pourquoi les éruptions volcaniques sont avant tout une histoire d'eau.



EN 2010, LE VOLCAN ISLANDAIS EYJAFJÖLL est entré en éruption sous le glacier qui le recouvrait. La rencontre du magma (au second plan, une fontaine de lave) et des glaces (au premier plan, recouvertes de cendres) ont entraîné une série d'énormes explosions.

Le 18 mai 1980, un séisme déclenche l'effondrement de toute la face Nord du mont Saint Helens. Brusquement, le magma de ce volcan du Nord-Ouest des États-Unis se retrouve à la pression atmosphérique. La vapeur d'eau qu'il contient se décomprime brutalement, ce qui projette dans l'atmosphère 1,2 kilomètre cube de roches... Classée au cinquième rang sur l'échelle d'explosivité volcanique qui en comprend huit, l'explosion dite plinienne du mont Saint Helens libère une énergie équivalente à 27 000 bombes de Hiroshima. Et tout cela en raison d'un détail : l'eau que contenait le magma du volcan.

L'eau et le feu... Dans la philosophie naturelle d'Aristote, ces deux éléments sont des contraires. Est-ce la raison pour laquelle ils explosent parfois quand, dans

d'autres classifications, telle l'opposition entre volcans rouges et gris, ou encore entre volcans effusifs et explosifs...

Toutefois, l'étude des volcans actifs a montré qu'un édifice volcanique peut d'une éruption à l'autre, voire au cours d'une même éruption, passer d'une activité rouge à grise, changer de style éruptif ou devenir explosif alors qu'il était effusif... Ainsi, en 2010, le volcan islandais Eyjafjöll a bloqué l'espace aérien européen en passant d'un style d'éruption effusif à un style explosif (*voir la photographie pages 52-53*). De même, la Soufrière-Hills de Montserrat, dans les Antilles, a connu depuis 1995 pratiquement tous les styles éruptifs possibles. Ces styles ne sont donc guère caractéristiques d'un volcan, mais uniquement d'une phase de l'éruption.

phénomène qui est contrôlé par la vitesse de la remontée. Bref, nos connaissances volcanologiques actuelles ont rendu largement obsolètes les classifications anciennes.

Pourquoi ? Essentiellement parce que l'étude physico-chimique des fluides géologiques a permis de comprendre que les éléments volatils du magma (les gaz) jouent un rôle essentiel dans le mécanisme éruptif. Or l'eau est le plus abondant des volatils, de sorte que pour appréhender le mécanisme éruptif, il faut s'intéresser de près au rôle qu'elle joue dans la formation des magmas et dans leur ascension jusqu'à la surface. En effet, l'eau et les fluides géologiques jouent un rôle majeur non seulement dès le stade de la genèse du magma, mais aussi tout au long de sa remontée. Ce sont en particulier la quan-



un volcan, la nature les mêle à la terre et à l'air ? Nous allons examiner cette question en nous appuyant sur les considérations physico-chimiques de la volcanologie moderne, plutôt que sur la philosophie naturelle des Anciens : nous verrons en particulier que les grands responsables des dynamiques éruptives sont la vapeur d'eau et les autres gaz magmatiques.

Longtemps, la volcanologie n'a été qu'une science d'observation. Sans doute est-ce pourquoi son vocabulaire et ses concepts restent souvent éloignés des explications physico-chimiques... Les volcanologues ont ainsi décrit de nombreux styles éruptifs – hawaïen, strombolien, vulcanien, péléen, plinien, fissural, islandais, etc. – pour ne, finalement, garder que les cinq premiers. Ils ont aussi créé

L'opposition entre « volcans rouges », qui produisent une lave fluide, et « volcans gris », qui émettent des produits pyroclastiques lors d'éruptions violentes, semble aussi réductrice. Si chaque style est associé à certains types de produits éruptifs, un volcan ne développe jamais exactement les mêmes types de lave au cours de sa période d'activité.

Les classifications anciennes obsolètes

De même, si l'on s'est longtemps concentré sur le volume de gaz émis au cours d'une éruption, il semble que ce qui influence vraiment son déroulement est la façon dont le gaz s'exsolv (se sépare) de la roche en fusion lors de l'ascension du magma,

tité d'eau dissoute dans le magma et la manière dont la vapeur se sépare de la phase solide, qui contrôlent les régimes éruptifs. L'hydrovolcanologie est donc une partie essentielle de la volcanologie.

Depuis que les astronautes ont observé notre planète de l'espace, elle a pris le nom de « planète bleue », tant l'eau y abonde : 71 % de la surface terrestre est couverte d'océans. Mais ce que l'on a omis de considérer, c'est que la majorité des planchers océaniques sont de nature volcanique. Sur les terres émergées, on dénombre environ 1 500 volcans qui ont été actifs au cours de l'Holocène (les 10 000 dernières années). Or sur le plancher océanique, il y aurait, estime-t-on, au moins 1,5 million d'édifices volcaniques. Notre planète océane est aussi une planète volcan ! Pour preuve, sur Terre,

les roches d'origine magmatique l'emportent largement sur les roches sédimentaires.

Pouvons-nous en conclure que nous marchons sur un océan de magma sur lequel flotterait la croûte terrestre ? Non. L'idée que la matière constituant le manteau terrestre (les 2885 kilomètres séparant la croûte du noyau de la Terre) est en fusion est fautive. Nous ne marchons pas sur un océan de magma, et il n'y a pas de « feu central », car les roches qui constituent le manteau sont à l'état solide. Étant donné l'augmentation de la pression et de la température avec la profondeur, la fusion, même partielle, des roches du manteau – des péridotites, formées de silicates de fer (10 %) et de magnésium (90 %) – est impossible.

Pour autant, une énorme masse d'eau, estimée à l'équivalent de deux à trois hydros-

■ L'AUTEUR



Michel DETAY est géologue et volcanologue de terrain. Il a observé et photographié un grand nombre de volcans.

LES ÎLES ÉOLIENNES, ici Panarea et Stromboli, sont des volcans sous-marins qui ont fini par émerger. L'eau conditionne leur volcanisme, puisque ces îles sont nées de la subduction sous-marine de la plaque africaine sous la plaque européenne.

Voyons comment. Le magma primaire, celui qui apparaît loin en profondeur sous la croûte, se forme par fusion partielle à partir des péridotites. *A priori*, se dit-on, ce matériau fond quand la température s'élève, par exemple quand la convection fait remonter des roches profondes et très chaudes, donc moins denses. Toutefois, la hausse de la température ne joue qu'un rôle mineur par rapport à celui de la baisse de pression qui accompagne la remontée.

Franchir le solidus

En effet, pour qu'une roche fonde, il faut soit augmenter sa température, soit abaisser la pression qu'elle subit. Cela revient à dire que sur la carte de tous ses états physiques possibles – son « diagramme de phase » – il

phères, soit deux ou trois fois 10^{21} kilogrammes – est dissoute dans le manteau. Cette eau s'y trouve soit sous sa forme moléculaire habituelle (H_2O), soit sous la forme d'ions hydroxydes (OH^-) attachés aux silicates des roches. Ainsi, l'eau peut faire partie de la formule chimique de certains minéraux, où l'ion OH^- est intégré dans la structure cristalline. C'est le cas dans les amphiboles, la lawsonite, la chlorite, etc. Ces deux derniers minéraux contiennent ainsi 14 % d'eau.

On trouve aussi de l'eau dans des minéraux anhydres tels que l'olivine ou le quartz, car il arrive que leur structure intègre des défauts ponctuels contenant de l'eau. Quelle que soit son origine, l'eau des profondeurs influe de façon cruciale sur les propriétés physico-chimiques du manteau supérieur.

L'ESSENTIEL

■ Un volcan peut changer de style éruptif au cours d'une même période d'activité, voire d'une même éruption.

■ Le phénomène est lié aux composés volatils contenus dans le magma, dont l'eau.

■ Jusqu'à 90 % du volume des gaz volcaniques est de la vapeur d'eau.

■ L'eau et les autres composés volatils finissent par occuper plus de 90 % du volume éruptif, ce qui rend l'éruption explosive pendant sa première phase au moins.

Sauf mention contraire, les photographies sont de Michel Detay

faut lui faire franchir le *solidus*, la courbe tracée par ses points de fusion en fonction de la pression et de la température (voir la figure page 59). Le *solidus* est donc la courbe qui sépare la région du diagramme où la roche est à l'état purement solide de celle où elle est partiellement fondue.

On constate que, à pression donnée, la température de fusion d'un type de roche est plus basse quand cette roche est hydratée ou contient de l'eau. En d'autres termes, au cours de la baisse de pression accompagnant leur remontée, les roches hydratées franchiront plus facilement le *solidus* que les roches sèches (voir la figure page 59). Ainsi, l'addition à une roche de seulement 1 % d'eau abaisse son point de fusion d'environ 100 °C. La température d'une roche variant peu au cours de sa