



La Giddy House est une ancienne artilerie, construite en 1888 à Port-Royal, en Jamaïque. La portance du sol liquéfié lors du séisme de 1907 n'a pas été suffisante pour soutenir le poids du bâtiment.

Un phénomène similaire se produit au démarrage d'une avalanche de sol à la suite de pluies soutenues. Le temps qu'il faut à l'avalanche pour démarrer dépend fortement de la compacité du milieu granulaire. Si l'empilement est lâche, le glissement se fait instantanément et mobilise l'ensemble du massif. Pour un milieu compact, au contraire, rien ne se passe dans un premier temps. Puis le sol s'effondre lentement. En effet, il faut que suffisamment d'eau entre dans les pores pour que les grains s'écartent et aient assez de latitude pour s'écouler. Comme dans la liquéfaction, la vitesse à laquelle s'effectue cette dilatance des grains dépend de la perméabilité du sol. Une avalanche de sol compact et fin, peu perméable, mettra plus de temps à se déclencher que si le sol est composé d'un sable grossier et plus perméable.

DE LONGUES COULÉES SOUS-MARINES

Les mécanismes à l'origine de ce phénomène ont été étudiés ces dernières années à l'échelle du grain, expérimentalement par l'équipe d'Olivier Pouliquen à l'université d'Aix-Marseille et numériquement à Montpellier. Ces travaux ont montré que, soumis à un cisaillement, l'assemblage de grains se déforme peu à peu, par petits mouvements, à mesure que la pression dans les pores s'équilibre. Cette phase, dont la durée augmente avec la viscosité du fluide et diminue avec la taille des grains, est appelée fluage et précède le déclenchement de l'avalanche.

Que se passe-t-il une fois l'avalanche déclenchée? Du fait de sa viscosité, le fluide va-t-il ralentir l'avalanche ou, au contraire, contribuer à ce qu'elle se propage plus loin par un effet de

lubrification entre grains? C'est une question cruciale pour la prévention des risques. Des avalanches sous-marines ou côtières peuvent mobiliser des masses considérables de débris, se propager sur des pentes faibles à plus d'une centaine de kilomètres. Elles endommagent les câbles sous-marins et peuvent sectionner des forages au large. Il y a 8000 ans, le glissement de terrain de Storegga, à la bordure continentale de la Norvège, a mis en mouvement des milliers de kilomètres cubes de sédiments. En engendrant un tsunami dont la vague a dépassé par endroits la dizaine de mètres, il a dévasté les côtes norvégiennes et a atteint l'Écosse!

Les interactions des grains avec le fluide jouent un rôle majeur dans la propagation de l'avalanche. Lors de la mise en mouvement des sédiments au niveau des pentes continentales, les grains gagnent en inertie et entraînent l'eau dont ils sont entourés. Il s'agit alors d'une suspension s'écoulant sur le fond marin. Contrairement aux avalanches dans l'air, les grains restent longtemps sans contacts entre eux, sous l'effet lubrificateur de l'eau de mer; l'avalanche sous-marine peut ainsi se propager sur une très grande distance (voir la figure page précédente, à gauche). Mais l'effet dépend aussi de l'énergie initiale communiquée aux grains; c'est pourquoi la géométrie initiale des massifs joue un rôle important dans l'éventuelle prévision de la distance d'arrêt.

Les travaux dont nous avons fait état ici ont permis de dégager certains paramètres qui contrôlent l'équilibre des grains et leur comportement dynamique dans des situations où les interactions entre grains et celles avec le fluide sont importantes – des situations que l'on rencontre fréquemment en sciences de la Terre et en ingénierie. Dans ce champ de recherche, les simulations numériques ont l'intérêt de donner accès à un ensemble de paramètres que l'on peut faire varier librement, mais aussi de voir l'organisation détaillée en volume des grains et de mesurer les forces, aspects très difficiles à étudier dans les expériences.

Les simulations numériques se révéleront sans doute aussi fécondes dans les recherches portant sur le cas où les grains sont immergés non pas dans une phase fluide unique, mais dans un mélange diphasique constitué par exemple d'air et d'eau. Une telle situation est courante en sciences des sols ou dans les procédés agroalimentaires (fabrication du cous-cous, par exemple), et cela appelle des études nouvelles: lorsqu'un milieu granulaire n'est que partiellement saturé d'eau, les effets de capillarité produisent une adhésion entre les grains, comme dans les pâtes ou la boue. Ainsi pourra-t-on mieux comprendre comment l'eau mouille et colle les grains, que ce soient ceux d'une préparation agroalimentaire, d'un milieu géologique ou... d'un château de sable. ■

BIBLIOGRAPHIE

É. Guyon, J.-Y. Delenne et F. Radjai, **Matière en grains**, Odile Jacob, 2017.

F. Radjai et al. (dir.), **Powders and grains 2017**, 8^e conférence internationale sur la micromécanique des milieux granulaires (3-7 juillet 2017, Montpellier), *EPJ Web of Conferences*, vol. 140, 2017 (accès libre sur www.epj-conferences.com).

L. Amarsid et al., **Visco-inertial regime of immersed granular flows**, *Physical Review E*, vol. 96, article 012901, 2017.

B. Andreotti et al., **Les Milieux granulaires**, EDP Sciences, 2011.

P. Mutabaruka et al., **Transient dynamics of a 2D granular pile**, *European Physical Journal E*, vol. 38, article 47, 2015.

GdR MiDi, **On dense granular flows**, *European Physical Journal E*, vol. 14(4), pp. 341-365, 2004.



L'ESSENTIEL

> Les scientifiques savent depuis longtemps que les microbes ont joué un rôle capital dans le développement de la vie sur Terre. L'idée communément admise était que les communautés microbiennes fonctionnent sur la base d'une compétition pour les ressources.

> Mais une profusion de nouvelles données sur les microbes qui peuplent

les fonds marins et les eaux souterraines dans le monde entier a révélé que de nombreuses espèces collaborent avec d'autres.

> Ces découvertes suggèrent que la coopération entre microorganismes serait le mode de fonctionnement standard de la vie microbienne et la force motrice de la biosphère.

LES AUTEURS



JEFFREY MARLOW
postdoctorant au
département de biologie
évolutive et organismique
de l'université Harvard,
aux États-Unis



ROGIER BRAAKMAN
chercheur
au département
d'ingénierie civile
et environnementale
du MIT, aux États-Unis

L'esprit d'équipe des microbes

La loi du plus fort ne prime peut-être pas chez les microorganismes. Au contraire, la coopération entre espèces serait fréquente. Au point d'influer sur le climat.

Huit cents mètres sous la surface de l'océan, au large de la côte de l'Oregon, les phares du submersible *Alvin* illuminent une oasis de vie colorée. Des tapis moelleux de microbes blancs, jaunes et orange recouvrent le fond marin parsemé de champs de palourdes et de moules. Des poissons aux yeux globuleux – des sébastes à bouche jaune – observent le sous-marin avec méfiance, tandis que des panaches de bulles s'élèvent de monticules composés de roches à dominante calcaire. L'auréole lumineuse attire les visiteurs comme un leurre et révèle graduellement le décor semblant tout droit sorti d'un autre monde.

Quelques heures plus tôt, lors de cette expédition de 2010, l'un de nous (Jeffrey Marlow) s'était glissé dans la grande sphère en titane qui constitue l'habitacle de l'*Alvin*, en compagnie de deux autres explorateurs. Nous avons collé nos

visages aux fenêtres circulaires en même temps que nous descendions dans un kaléidoscope de teintes bleutées. Notre destination était Hydrate Ridge, une zone rocheuse où de vastes quantités de méthane suintent de la croûte terrestre. La découverte de sites semblables à Hydrate Ridge a explosé ces dernières années (une seule expédition dans l'est du Pacifique, en 2016, en a exhumé 450) et les scientifiques s'efforcent aujourd'hui de comprendre leur impact sur l'environnement. Le méthane est, après tout, un puissant gaz à effet de serre: bien qu'il ne compose que 0,00018% de l'atmosphère, il représente 20% de son potentiel de réchauffement. Selon des estimations, 10% du méthane qui se retrouve dans l'atmosphère chaque année remonte du fond des océans. Une libération totale du méthane du plancher océanique mènerait à une apocalypse climatique, mais quelque chose empêche le gaz d'atteindre la surface: les microbes qui s'en nourrissent dans les roches. >