

# Du courant dans les roches

PASCAL BERNARD

*On détecte les courants électriques dans les roches afin de prévoir les séismes.*

**D**es courants électriques dans le sous-sol permettraient-ils de prévoir les éruptions volcaniques et les séismes ? Dès 1794, l'Italien Filomarino, duc de La Torre, a recherché de tels signaux à l'aide d'un électromètre qu'il promenait sur les pentes du Vésuve en éruption. Il a fallu près de deux siècles pour que des expériences effectuées en laboratoire relancent les recherches des géophysiciens sur le terrain ; dans les régions sismiques, ils tentent d'extraire les signes électriques avant-coureurs des séismes.

Cette recherche a été ravivée par l'observation d'un potentiel électrique entre les deux faces d'une roche où circule un courant d'eau. Les sels dissous dans l'eau des pores ou des fissures libèrent des ions positifs et négatifs ; dans certaines roches, les ions porteurs d'une charge particulière se fixent à la surface des grains solides, laissant dans le liquide un excédent d'ions de charge électrique opposée. L'eau qui circule dans la matrice perméable déplace ces ions en solution, mais pas les ions associés aux grains, et le déplacement de ces particules chargées engendre un courant électrique. Expérimentalement on mesure ainsi

qu'une eau modérément chargée de sels, poussée à travers une roche perméable par une différence de pression de une atmosphère, produit une tension électrique de quelques dizaines de millivolts. L'intensité du courant électrique est proportionnelle à la vitesse d'écoulement et, donc, à la différence de pression entre les faces d'entrée et de sortie de l'eau.

Depuis une vingtaine d'années, de nombreuses expériences de laboratoire sur des roches de différents types – granites, calcaires, grès, basaltes, etc. – et de différentes perméabilités – pores, fissures – ont affiné et quantifié cette théorie. Cet effet d'électrofiltration n'est pas une création artificielle de laboratoire : il a été révélé depuis plusieurs décennies dans la nature par des prospections qui employaient des couples d'électrodes enterrées, distantes de plusieurs dizaines, voire plusieurs milliers de mètres ; en outre, il semble lié aux fortes circulations d'eau sur les pentes des massifs montagneux ou dans les sites hydrothermaux. Toutefois cette corrélation reste qualitative, en raison de notre ignorance des écoulements souterrains. De plus, ces effets sont parfois fortement perturbés, voire masqués par le bruit électro-

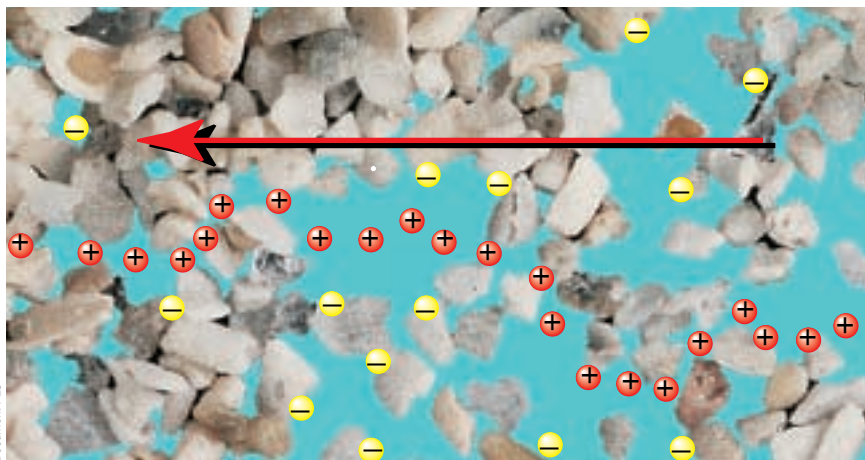
tellurique naturel, qui atteint quelques millivolts à quelques centaines de millivolts par kilomètre. Les sources de ce bruit sont variées : pour l'essentiel, ce sont les courants électriques dans l'ionosphère, à 70 kilomètres d'altitude au-dessus du site, eux-mêmes engendrés par les particules chargées provenant du Soleil et par les orages atmosphériques de la planète ; des orages locaux peuvent avoir aussi une influence directe.

Malgré ces bruits naturels, et malgré les parasites artificiels – trains, lignes électriques, industries, etc. –, des géophysiciens curieux ont installé des lignes électrotelluriques dans nombre d'endroits sismiques de la planète et enregistré des perturbations de potentiel avant des séismes, notamment au Japon et en Grèce. Bien que les corrélations observées soient faibles, ces perturbations ont souvent été pressenties comme des signaux précurseurs des séismes. Des mécanismes variés ont été proposés pour les expliquer, tels des effets piézo-électriques liés aux variations de contrainte tectonique, mais l'électrofiltration reste le mécanisme privilégié, car c'est celui qui transformerait le plus efficacement de l'énergie mécanique en énergie électrique, au sein de l'écorce terrestre, baignée d'eau.

Les corrélations avec les séismes, si elles ne sont pas fortuites, résulteraient donc de fortes perturbations des circulations d'eau souterraine avant les séismes. Comme la nucléation de la rupture sismique sur une faille se produit à une dizaine de kilomètres sous la surface, les circulations de fluides précurseurs, qui seraient déclenchées par des déformations a-sismiques rapides ou par la fracturation hydraulique entre aquifères à des pressions différentes, s'effectueraient à ces profondeurs. Comment le champ électrique associé est-il alors détectable en surface, alors qu'il décroît avec le cube de la distance ? Des instabilités de fluides, plus proches de la surface, seraient-elles alors déclenchées par ces mêmes déformations profondes ? Ce serait sans doute des sources électriques moins puissantes...

## DU LABORATOIRE AU TERRAIN

D'autre part, nous n'avons qu'une vague idée de l'importance de ces phénomènes à l'échelle de la croûte terrestre. Les seules expériences bien contrôlées concernent des échantillons de roches de quelque dix centimètres de long, avec une mesure de l'effet électrocinétique entre les faces de l'échantillon, directement là où se produit le courant (voir la figure 2) ; or les géophysiciens s'intéressent à des sources bien plus grandes, qui atteignent des centaines, voire des milliers de mètres.



1. Le mécanisme de l'électrofiltration : les ions négatifs restent fixés aux grains des roches, tandis que les ions positifs sont entraînés avec l'eau.

Pour mieux cerner ces phénomènes électrocinétiques en vraie grandeur, et passer du qualitatif au quantitatif, une équipe associant l'Institut de physique du Globe de Paris, l'École normale supérieure, le Commissariat à l'énergie atomique et le Centre de géophysique de Garchy a organisé une première expérience sur le terrain. Le site choisi fut celui du Mayet-de-Montagne, près de Vichy, où plusieurs forages dans le granite recoupent, à 200 mètres de profondeur, une zone altérée subhorizontale de quelques mètres d'épaisseur et de forte perméabilité. Lors de l'expérience, on pompait l'eau d'un des forages afin de provoquer une circulation d'eau importante, dont les effets électrocinétiques étaient enregistrés par deux magnétomètres et par un réseau de 15 électrodes installées, tant en profondeur, à proximité de la zone altérée, qu'en surface.

Après avoir résolu les multiples problèmes que pose une telle expérimentation (signaux parasites des clôtures électriques, dévidage de kilomètres de câbles à travers bois et champs, creusement de longues tranchées pour que ces mêmes câbles échappent à la curiosité masticatoire des vaches, etc.), nous avons enregistré un signal électrique qui a d'abord semblé décevant : le bruit électrique continu était de forte amplitude – 200 millivolts sur des lignes de 50 mètres de long ! – et d'une période caractéristique comprise entre 5 et 10 secondes. À ce niveau de bruit, ni le pompage ni le rééquilibrage ultérieur de l'aquifère n'engendraient de signal perceptible.

En revanche, l'élimination des bruits parasites par un filtrage fait apparaître un signal électrique systématique dans les dix minutes qui suivent l'arrêt de la pompe, décroissant en proportion de la hauteur d'eau dans le puits, enregistrée en parallèle. Il s'agit donc bien d'un signal d'électrofiltration, avec des différences de potentiel maximales de l'ordre de 10 millivolts pour 100 mètres de distance, pour une perturbation de hauteur d'eau d'environ une atmosphère. En outre, un signal magnétique se distingue légèrement du bruit de fond au moment où l'on enregistre le signal électrique ; il faudra cependant attendre l'analyse détaillée de l'ensemble de ces données, incluant celles du magnétomètre de référence, pour conclure à un effet magnétique clairement identifié.

Ce signal n'est pas d'interprétation facile, car les différences de potentiel entre les électrodes ne décroissent pas nettement avec la distance, ce qui témoignerait d'une forte hétérogénéité des propriétés électriques du massif granitique. Dans les zones sismiques, pour les mêmes raisons d'hétérogénéité électrique de la croûte, l'éventuelle détection



2. Échantillon de roche (cylindre) où l'on fait circuler de l'eau ; une différence de potentiel électrique apparaît entre les faces d'entrée et de sortie de l'eau.



3. Descente d'une électrode dans un des puits de Mayet-de-Montagne.

d'une source électrique profonde par des réseaux d'électrodes ou de magnétomètres installés en surface ne permettra sans doute pas de localiser ni de caractériser cette source de manière précise : d'autres mesures géophysiques complémentaires seront indispensables pour comprendre les processus physiques de déformation profonde. C'est

dans cet esprit que nous établissons aujourd'hui un réseau de surveillance continue du golfe de Corinthe, dans le cadre du projet européen GAIA. L'expérience du Mayet-de-Montagne devrait faciliter les interprétations des mesures magnétotelluriques, appuyées par les observations sismologiques, géodésiques et hydrogéologiques.

Pascal BERNARD est sismologue à l'Institut de physique du Globe.

L'expérience du Mayet-de-Montagne a été réalisée par P. PINETTES, P. BERNARD, et F. CORNET de l'I.P.G.P., L. JOUNIAUX et J.-P.

POZZI de l'E.N.S., V. BARTHES du C.E.A., G. OGANESSIAN et G. NOZIERES de Garchy.

Archimède(s), l'émission franco-allemande de vulgarisation scientifique d'ARTE, présente ce sujet les mardi 4 et 11 mars à 20 heures.