

ments nécessaires à l'énoncé du théorème des nombres premiers sont l'arithmétique élémentaire et la notion de limite de l'analyse réelle. Il était donc naturel de chercher une démonstration élémentaire de ce théorème ; après une contribution importante de Norbert Wiener en 1932, comme corollaire de sa théorie générale, c'est en 1949 qu'on eut la réponse, positive, par Paul Erdős et Atle Selberg.

Une deuxième question fondamentale est de discerner parmi les propriétés des nombres entiers celles qui sont essentielles pour obtenir la loi de répartition des nombres premiers. Arne Beurling a ainsi fondé en 1938 la théorie des nombres premiers généralisés et des nombres entiers généralisés : les nombres premiers généralisés sont les suites de nombres réels tendant vers l'infini, et les nombres entiers généralisés sont les nombres réels que l'on forme en multipliant entre eux les nombres premiers généralisés. A. Beurling a établi que les nombres premiers généralisés vérifient le théorème des nombres premiers quand les nombres entiers généralisés ont une répartition suffisamment régulière.

Après Hadamard et la Vallée-Poussin, de nombreux mathématiciens ont tenté de dessiner les limites de la régularité de la répartition des nombres premiers. Le premier théorème d'oscillation fut l'œuvre de John Littlewood qui, en 1914, infirma une conjecture de Gauss en démontrant que $\pi(n) - \text{li}(n)$ change de signe une infinité de fois quand n tend vers l'infini. Plus récemment, dans les années 1980, Helmut Maier a montré que la densité des nombres premiers entre n et $n + \log(n)^s$ n'est pas équivalente à $1/\log(n)$ quand n tend vers l'infini, cela pour tout nombre s fixé.

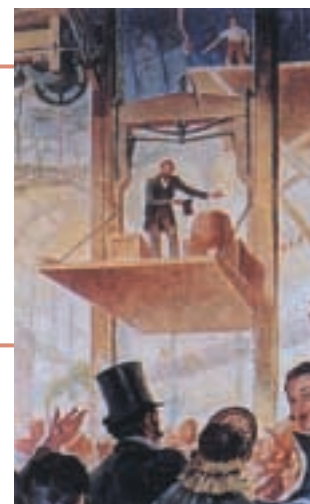
Notre siècle a surtout revisité le crible d'Ératosthène et précisé considérablement le théorème de Dirichlet sur la progression arithmétique. Toutefois, 138 ans après sa formulation, l'hypothèse de Riemann, indémontrée, reste un obstacle au développement de la théorie des nombres premiers.

Michel BALAZARD est mathématicien à l'Université de Bordeaux.

Gérald TENENBAUM et Michel MENDÈS-FRANCE, *Les nombres premiers*. Que sais-je?, P.U.F. (à paraître)

La sûreté des ascenseurs

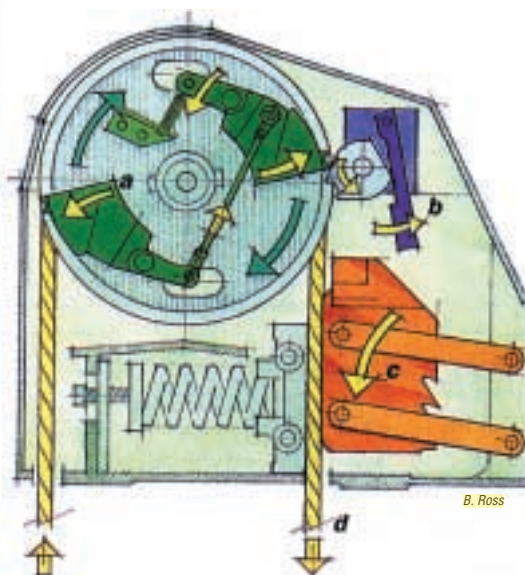
En 1854, à l'exposition du Crystal Palace de New York, Elisha Graves Otis descendait au-dessus de la foule sur une plate-forme lorsqu'un assistant coupa le câble auquel celle-ci était accrochée. Le «parachute» inventé par Otis empêcha la plate-forme de tomber. Trois ans plus tard, le premier ascenseur, mû par la vapeur, transportait des passagers dans le magasin E.V. Haughwout & Company de New York.



Otis Elevator Company

LE LIMITEUR DE VITESSE

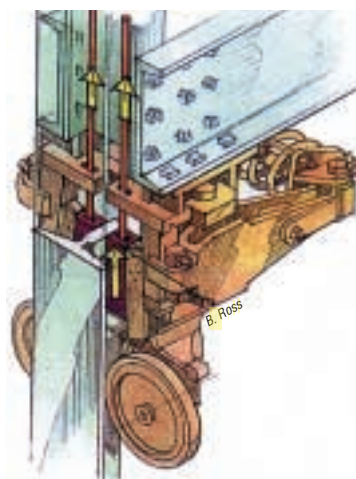
Lorsque la vitesse de descente d'un ascenseur dépasse une limite prédéfinie, des masses articulées sur un disque en rotation s'écartent de l'axe (a) sous l'effet de la force centrifuge et actionnent un loquet (b) qui libère à son tour une mâchoire mobile (c). En tombant, la mâchoire bloque le câble du limiteur (d).



B. Ross

LA SÛRETÉ

Si l'action du limiteur de vitesse ne ralentit pas assez la chute de la cabine, une sûreté est enclenchée. La tension du câble du limiteur actionne une tringlerie fixée sur la cabine. Une paire de coins est alors libérée : leur blocage sur le rail de guidage arrête la cabine.



B. Ross

L'usage du treuil est ancien. Cet appareil a facilité la tâche des constructeurs des pyramides égyptiennes et celle des bâtisseurs de cathédrales du Moyen Âge. Toutefois,

faute d'un mécanisme de freinage de sécurité efficace, ces premiers ascenseurs étaient peu sûrs et aucun passager ne s'y aventurait. Tout changea en mai 1854 : Elisha Graves Otis présenta le premier système mécanique, nommé parachute, qui, à l'aide de ressorts et de pièces de serrage, prévient la chute libre de la cabine.

Les mécanismes de sûreté des ascenseurs ont été beaucoup améliorés depuis. Néanmoins, les principes mis au point par Otis sont toujours en usage, même dans les plus hauts immeubles du monde. Dans les ascenseurs modernes, si la cabine descend trop vite, un limiteur de vitesse coupe le courant électrique et enclenche un frein. Si la cabine ne s'arrête pas, une sûreté située sous la cabine est activée : des coins viennent serrer les rails de guidage. La cabine s'arrête alors en moins de deux secondes.

Ce parachute fait de l'ascenseur l'un des moyens de transport les plus sûrs. Les 440 000 ascenseurs installés en France transportent sans dommages 100 millions de passagers par jour.

William SHEERAN, Société Otis

Du courant dans les roches

PASCAL BERNARD

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

Des 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-

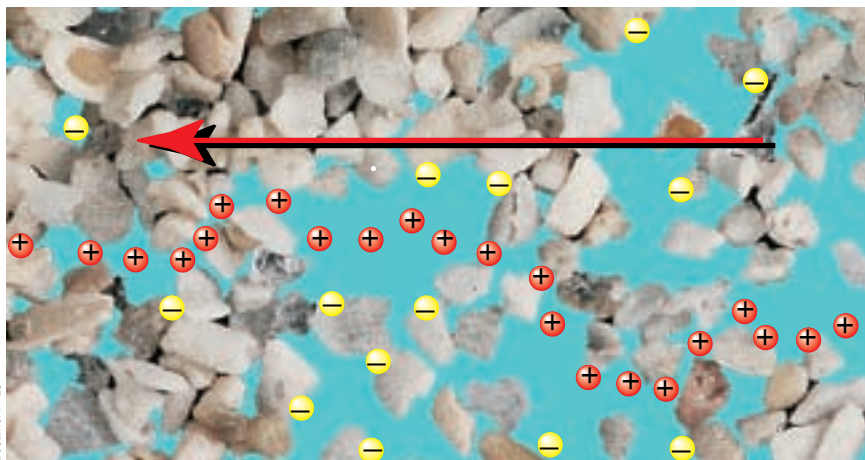
tellurique naturel, qui atteint quelques millivolts à quelques centaines de millivolts par kilomètre. Les sources de ce bruit sont variées : pour l'essentiel, ce sont les courants électriques dans l'ionosphère, à 70 kilomètres d'altitude au-dessus du site, eux-mêmes engendrés par les particules chargées 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 aismiques 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 seraient 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.