

Ondes et Moho

Les ondes sismiques révèlent la structure interne de la Terre et inspirent un nouveau type de moteur.

Pour Descartes, la Terre est un ancien soleil où, autour d'un noyau de « matière solaire », diverses couches de terre, d'eau et d'air s'empilent. Si Descartes se trompe dans sa description, il a raison dans le principe ! Aujourd'hui, nous distinguons au sein de la Terre la graine, le noyau, le manteau et la croûte. Les géophysiciens ont identifié ces couches grâce aux ondes sismiques, des déformations périodiques qui se propagent dans la Terre et à sa surface ; ils les étudient pour connaître les propriétés de la Terre et de ses tremblements.

Ondes en volume

Tout comme les fluides, les solides transmettent le son. Si l'on colle l'oreille sur une poutre métallique, on perçoit le tapotement de doigts à l'autre extrémité. Que se passe-t-il ? Les petits impacts compriment légèrement la surface du métal, laquelle se détend, comprimant la couche voisine, laquelle se détend, et ainsi de suite. Ce mécanisme se poursuit au-delà de l'extrémité de la poutre, puis dans l'air jusqu'au tympan : le son est une onde de compression. Plus la matière que traverse l'onde est rigide, plus l'onde voyage vite ; en revanche, plus la matière est dense, donc d'une grande inertie, plus la vitesse du son est petite. Par rapport aux liquides, les solides sont à la fois plus denses et plus rigides. C'est cette dernière caractéristique qui l'emporte pour conférer au son une vitesse supérieure dans les solides. De 1 500 mètres par seconde dans l'eau, la vitesse du son atteint 3 650 mètres par seconde dans la brique et 6 000 mètres par seconde dans le granite.

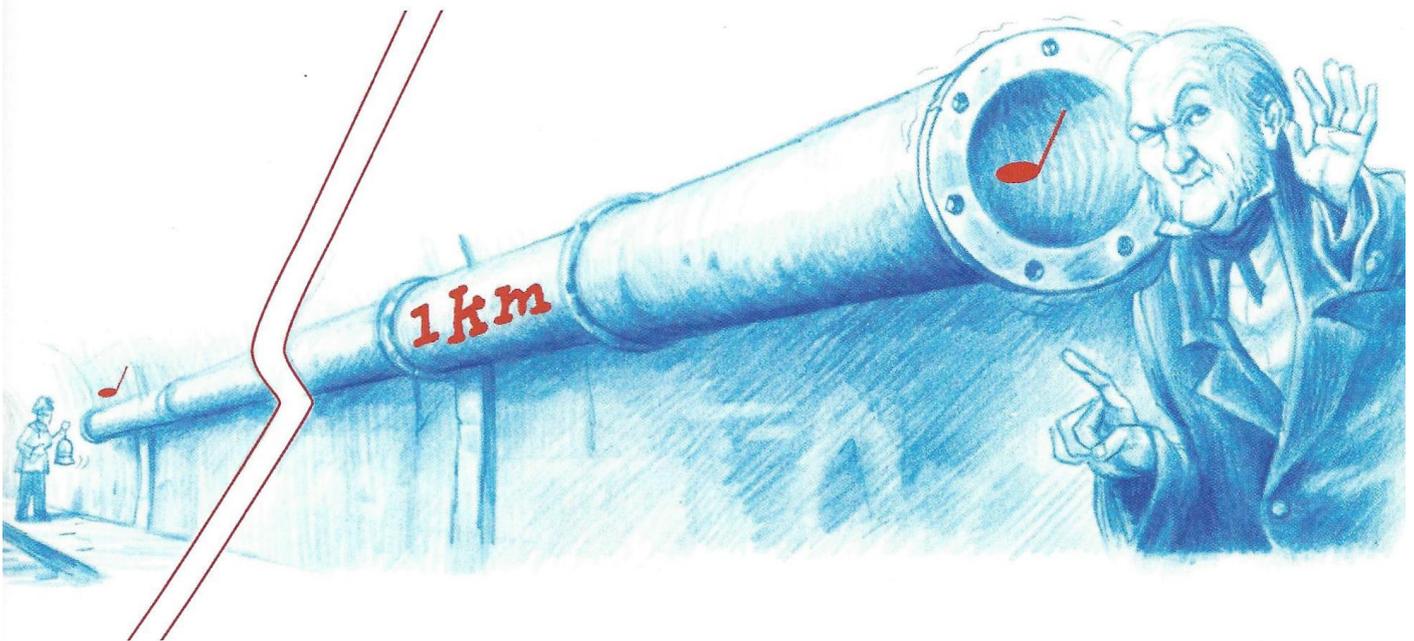
Outre les ondes de compression comme le son, les solides convoient des « ondes de cisaillement ». Un cisaillement est un ensemble de deux forces antagonistes et perpendiculaires à l'axe qui joint leurs points d'application. Le propre d'un cisaillement est de déformer la matière sans changer son volume. Un liquide ne résiste pas à un cisaillement : si l'on « découpe » de l'eau avec des ciseaux, celle-ci s'écoule. En revanche, un solide ne se laisse pas cisailer sans

résistance : il faut de l'énergie pour découper de la tôle avec une cisaille. L'élasticité des solides et leur résistance au cisaillement expliquent que les déformations de cisaillement s'y propagent de proche en proche. Tandis que les oscillations de compression de la matière sont parallèles à la direction de propagation, celles de cisaillement sont perpendiculaires.

Comment se compare la vitesse des ondes de cisaillement à celle du son ? Un corps, quel qu'il soit, résiste plus à une compression de son volume qu'à une action qui, tel un cisaillement, laisse l'espace qu'il occupe globalement inchangé. Ainsi, puisqu'un solide résiste moins au cisaillement qu'à la compression, les ondes de cisaillement dans les solides sont plus lentes que les ondes de compression. Dans le sol, une onde de cisaillement se propage à trois kilomètres par seconde, alors que la vitesse du son y est de six kilomètres par seconde.

Mettant à profit ces deux types d'ondes, les géophysiciens étudient la structure de la Terre. Les déformations brutales du sol lors d'un séisme produisent à la fois des ondes de compression et de cisaillement. Environ deux fois plus rapides que les ondes de cisaillement, les ondes de compression prennent de l'avance au cours de la propagation. La durée écoulée entre la réception des ondes est proportionnelle à la distance qu'elles ont parcourue. Un seul sismographe mesurant ce délai suffit donc à déterminer l'éloignement de l'épicentre d'un séisme. En revanche, il faut au moins trois sismographes situés en des points différents du globe pour « trianguler » la position et la profondeur de l'épicentre.

1. Le son se propage plus de 15 fois plus vite dans la fonte du tube (solide) qu'à l'intérieur (air). Au début du XIX^e siècle, le physicien Jean-Baptiste Biot prouva ce fait dans les tuyaux des premiers égouts de Paris.



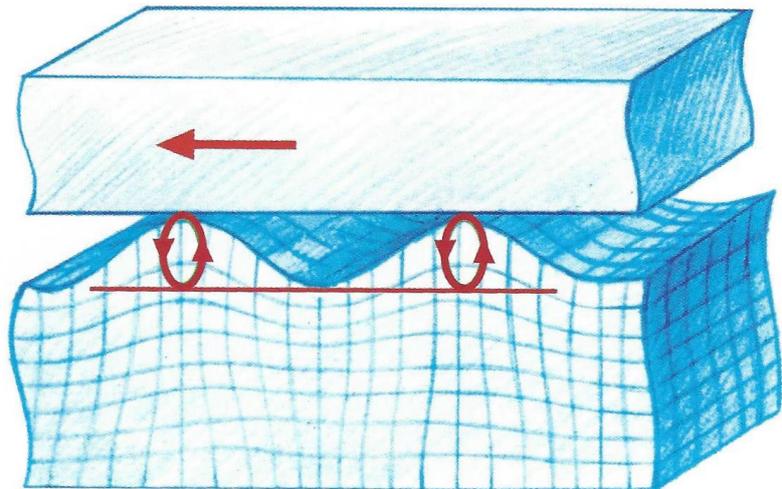
Quand ils connaissent la source d'une onde sismique, les géophysiciens tirent de nombreuses informations de la façon dont elle se propage au sein de la Terre. Comme toutes les ondes, une onde sismique est en partie réfléchiée et en partie transmise lorsqu'elle rencontre une surface de séparation entre deux milieux de nature ou de densité différentes. Vers 1914, le Croate Andrija Mohorovicic réalisa ce qu'implique le retour d'échos chaque fois qu'une onde sismique se propage vers l'intérieur de la Terre : la présence vers 70 à 150 kilomètres de profondeur d'une discontinuité notable de densité. Connue aujourd'hui sous le nom de « Moho », cette discontinuité marque la séparation entre la croûte terrestre et le manteau. Découverte de la même manière et résultant d'une réflexion plus profonde, la discontinuité de Gutenberg, se trouve vers 3 000 kilomètres de profondeur et sépare le manteau du noyau.

Fait étonnant, les géophysiciens ont constaté que le noyau transmet les ondes de compression, mais pas les ondes de cisaillement. C'est donc qu'il est liquide ! Toutefois, lorsqu'ils ont poussé leur analyse, ils se sont aperçu qu'une sphère solide – la graine – se trouve au centre du noyau. Son rayon est d'environ 1 500 kilomètres.

Ondes de surface

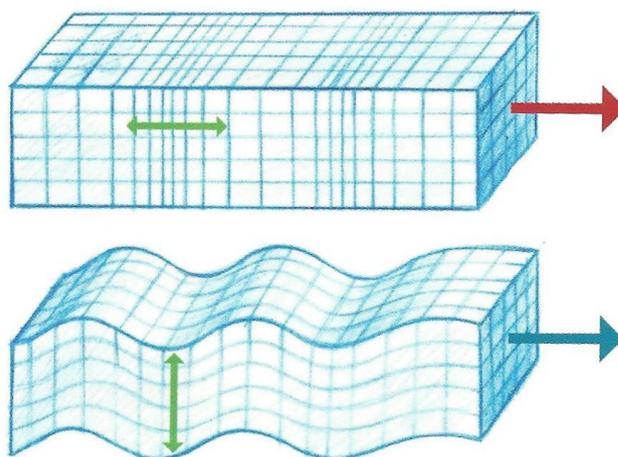
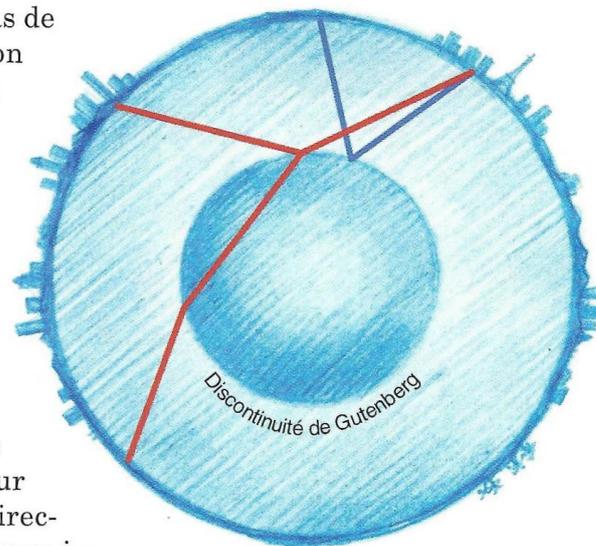
Les séismes produisent un troisième type d'ondes mécaniques se propageant en surface. Nommées ondes de Rayleigh, ces ondes superficielles sont semblables à la houle : elles sont une combinaison d'ondes de compression (mouvements horizontaux) et d'ondes de cisaillement (mouvements verticaux). Ainsi, un objet posé sur le

2. Dans ce moteur, la partie mobile roule sur les sommets des ondes de Rayleigh.



sol effectue un mouvement elliptique au passage d'une onde de Rayleigh. Il se déplace dans le sens de l'onde au bas de son mouvement, puis dans le sens contraire à son sommet. Comme les ondes de Rayleigh se propagent à la surface, la matière qu'elles compriment peut s'échapper vers le haut. Partout où elles compriment la terre, le sol se soulève, partout où elles l'étirent, le sol s'enfonce. Cette liberté de mouvement résulte de la présence de l'atmosphère et non de matière au-dessus du sol. Elle réduit la rigidité du sol. Ainsi, les ondes de Rayleigh sont moins rapides encore que les ondes de cisaillement, leur célérité atteignant seulement 2,7 kilomètres par seconde. Comme la houle, une onde de Rayleigh reste à la surface, qu'elle déforme sur une profondeur de l'ordre de sa longueur d'onde. Puisque son énergie se disperse dans deux directions de l'espace et non pas dans les trois, elle s'atténue moins vite que les autres ondes sismiques. On détecte encore l'onde de Rayleigh émise par un tremblement de terre après qu'elle a fait trois fois le tour de la Terre.

Même si les ondes de surface ne renseignent pas sur la structure interne de la Terre, les géophysiciens les ont étudiées en détail, car elles représentent l'essentiel du risque dû aux tremblements de terre. Les connaissances accumulées se sont révélées précieuses dans... l'industrie. Ainsi, le mouvement très particulier d'une surface en présence d'une onde de Rayleigh a donné une nouvelle idée de moteur aux ingénieurs japonais. Rapide et précis, bien adapté aux petits mouvements, celui-ci est notamment utilisé au sein des objectifs d'appareils photographiques. La pièce à mouvoir est déposée sur une céramique piézo-électrique, un matériau qui se déforme sous l'effet d'une tension électrique. Lorsqu'on soumet une céramique fixe à une fréquence électrique supérieure à 20 kilohertz, des ondes de Rayleigh s'y propagent, faisant onduler la surface. Soulevée sur les « sommets de vague », la pièce mobile se déplace avec eux, tandis que la matière arrondie du sommet « roule » vers l'arrière. À l'arrêt du courant, la céramique s'aplatit instantanément et le frottement entre pièces fige le mouvement. Dommage que les ondes de Rayleigh détruisent nos maisons, au lieu de simplement les déplacer à la surface de la Terre!



3. Deux types d'ondes sismiques se propagent au sein de la Terre: les ondes de compression (en rouge) et les ondes de cisaillement (en bleu). Tandis que les premières se propagent au sein du noyau liquide de notre planète, les secondes sont réfléchies à sa surface.