

## ET POURTANT, ELLE BOUGE...

Même lorsqu'elle semble calme, la surface de la Terre n'est pas immobile : de récentes découvertes, explique le sismologue **Michel Campillo**, montrent que la science peut suivre ses vibrations ambiantes, et guider nos choix pour nous protéger, ainsi que notre environnement.

**R**egardons la Terre. Que ce soit le sol d'un parc, le pavage d'une rue ou un élément du paysage comme une montagne, notre première impression, qui nous permet de garder l'équilibre, c'est l'immobilité de ce sol et la vie qui s'y développe. Cette Terre immobile nous sert de référence quotidienne, intuitive et sensorielle. Au-delà du passage des saisons, nous retrouvons les éléments du relief que nous connaissons, et qu'ont connus nos parents. L'actualité nous rappelle pourtant, souvent dramatiquement, que la surface de la Terre n'est pas immobile : les tremble-

ments de terre viennent ébranler notre certitude de stabilité. Mais nous gommons bien vite ces expériences troublantes, pour nous inscrire à nouveau dans un référentiel immuable.

L'approche scientifique nous oblige au contraire à considérer la Terre comme une surface mouvante. Car c'est une certitude : mesurée précisément, la surface de la Terre solide bouge en permanence. Cette mobilité s'est vu donner deux descriptions différentes et complémentaires : celle de mouvements extraordinairement lents et celle de vibrations rapides.

### UN GRAND CHAMBARDEMENT

La tectonique des plaques, première manière dont la surface se meut, fait changer très lentement notre position relative par rapport à d'autres points de la Terre. Ce

mouvement est difficile à percevoir car trop lent pour le temps humain. Il faudrait attendre longtemps, plus que toute une vie ou même peut-être qu'une civilisation, pour pouvoir l'observer.

Et pourtant l'existence des mouvements de grande ampleur et de grande extension du passé a été perçue bien avant que les moyens modernes de positionnement ne mesurent les mouvements actuels. Des générations de chercheurs ont reconstruit les grandes lignes de l'histoire des mouvements. Une histoire de chaînes de montagnes, qui apparaissent puis s'effondrent, d'océans qui s'ouvrent puis se referment... Un grand chambardement, au milieu duquel la vie apparut un jour, puis qui donna naissance à l'environnement qui a conditionné le succès de l'espèce humaine. C'est donc aussi cette dynamique lente qui nous a enfantés. Ce destin qui nous dépasse représente pourtant le fatum de nos tragédies collectives lors des grandes catastrophes naturelles. La lente évolution des continents connaît alors des moments où le temps s'accélère. Les grands séismes ou les éruptions volcaniques en sont les exemples : alors que des forces internes s'accumulent pendant des millénaires, elles peuvent se relâcher en quelques secondes.

### DES VIBRATIONS INTENSES

Lors d'un séisme, un glissement brutal se produit sur la surface de contact entre deux blocs. Des ondes sont alors émises dans la Terre, se propagent et créent des vibrations intenses qui peuvent détruire des bâtiments à des dizaines de kilomètres de leur source.

Ces vibrations sont très rapides : elles ont des périodes typiquement comprises entre un dixième de seconde

Dans le cadre de notre partenariat avec l'Académie des sciences, les académiciens nouvellement élus fin 2019 présentent un éclairage sur leur discipline et ses enjeux scientifiques, éthiques, politiques et sociétaux, à travers leur expérience personnelle.



## PROFIL

Sismologue, membre de l'Académie des sciences, **Michel Campillo** est professeur à l'université Grenoble-Alpes, Institut des sciences de la Terre. Il s'intéresse à la fois aux processus responsables des tremblements de terre et aux ondes sismiques qui révèlent la structure de la Terre. Il a proposé des méthodes innovantes pour l'imagerie de la Terre à partir du bruit sismique ambiant.

et une dizaine de secondes. Il n'est quasiment jamais possible de voir directement ce mouvement même si la vibration est communément perçue lors de séismes, même mineurs. Mais nous disposons d'instruments, les sismomètres, qui permettent de mesurer les ondes, les vitesses de propagation dans la Terre et l'énergie des séismes. Nous savons modéliser ces ondes, et, grâce à elles, nous connaissons les structures profondes de la planète. Analyser et prévoir les conséquences des séismes en différents points de la surface permet d'adopter des stratégies d'aménagement qui minimisent les risques.

### UN MURMURE INCESSANT

Si on le mesure avec une précision suffisante, le mouvement s'avère en réalité permanent. Chaque point vibre de manière continue. La Terre, qu'on aurait pu croire immobile et silencieuse, est en fait plutôt animée et bruyante. Une vibration ambiante qu'il faut écouter avec soin. Il y a le bruit « aigu » d'origine humaine avec ses variations journalières et hebdomadaires, liées à

l'intensité des activités, plus faible la nuit et les week-ends, et qui, bien sûr, a diminué avec le confinement. C'est un bruit local, fort dans les villes et absent au cœur des déserts. À l'opposé et plus puissant, existe le bruit grave des océans, résultant des houles levées dans les tempêtes. Son effet est global : une grande tempête produit des vibrations mesurables dans le monde entier. Comme nous vibrons sous l'effet du mauvais temps dans les océans du Nord en hiver et du Sud en été, ce bruit grave est permanent.

Tout ce « bruit » a longtemps été considéré par les scientifiques comme une gêne : difficile de détecter le signal d'un petit séisme au loin dans ce brouhaha sismique permanent. Depuis quelques années, nous savons que ce murmure peut être déchiffré et qu'il contient les informations sur les structures internes de la Terre. On peut réaliser des imageries sismiques, similaires au principe des imageries médicales (échographies et tomographies) quand on dispose de nombreux points de mesure du bruit ambiant. Plus besoin d'attendre les séismes, il suffit d'écouter ce murmure incessant de la Terre. Comme nous connaissons aujourd'hui de mieux en mieux les structures profondes, nous pouvons comprendre les processus lents qui sont à l'œuvre et ont construit notre environnement.

### DES SÉISMES SILENCIEUX

Ces dernières années nous ont apporté d'autres découvertes. Les mesures de positionnement continues (et pour beaucoup le GPS) ont permis de préciser les mouvements lents des différents blocs qui composent la surface. Elles ont aussi révélé que les mouvements de la surface ne se limitent pas à de très lents mouvements géologiques permanents et à des instabilités sismiques très rapides ; ils consistent aussi en des déformations transitoires sur des durées de l'ordre d'un jour, d'un mois, d'une année. Par exemple, les glissements lents (ou séismes silencieux) qui sont découverts progressivement dans de nombreuses régions du monde remettent en question les modèles qui ont prévalu depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle. Trop lents pour produire des ondes sismiques mesurables, trop courts pour avoir été décrits avec les méthodes du passé, ils atteignent pourtant l'énergie de grands séismes et durent des jours ou des mois. Les nouvelles découvertes suggèrent que la déformation se fait sur un continuum de vitesses et de durées. Cette nouvelle représentation ne remet pas en cause les bases de la tectonique des plaques entraînée par la convection profonde dans le manteau, mais )))

**Les glissements lents qui sont découverts progressivement dans de nombreuses régions du monde remettent en question les modèles qui ont prévalu depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle.**

### LE SITE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES :

[www.academie-sciences.fr](http://www.academie-sciences.fr)

» elle les enrichit et les complète. Notre Terre est donc plus continûment changeante que nous l'avions perçue. Et c'est bien notre capacité d'observation qui a conditionné notre représentation de la Terre solide.

La nature d'une roche et ses caractéristiques physiques s'expriment par la vitesse à laquelle les ondes s'y propagent. Aujourd'hui, avec l'utilisation du bruit ambiant pour l'imagerie, nous pouvons mesurer cette vitesse de façon continue. Et nous avons découvert que la vitesse des ondes changeait de façon mesurable. Après quelques années d'études, on se rend compte que les causes des évolutions sont multiples. Les vitesses ont changé sous une grande partie du Japon après le gigantesque séisme de Tohoku en 2011 ; elles changent aussi en réponse à des événements météorologiques qui provoquent un chargement de la surface de la Terre par les eaux de pluie, et elles changent même avec la déformation induite par les mouvements relatifs des planètes (les marées terrestres). Avec le bruit ambiant qui permet de découvrir des changements en profondeur associés à de très faibles déformations, et grâce aux progrès dans la détection de très petits séismes, une fenêtre s'ouvre sur les phénomènes se produisant sous nos pieds : un nouveau monde est à découvrir.

### L'INFLUENCE DE L'HOMME

Munis des outils de la géophysique, nous pouvons nous interroger sur notre influence sur ce monde souterrain finalement pas si immuable. Depuis longtemps, on a observé que des activités industrielles (mines, exploitation des hydrocarbures, grands barrages) sont associées à une activité sismique spécifique. Les récents développements de l'exploitation des gaz de schiste aux États-Unis ne laissent aucun doute sur la réalité de l'influence humaine. Ainsi, avec les injections massives de fluides pollués, l'État de l'Oklahoma, zone auparavant sismiquement inactive, concentre désormais

**L'exploitation des gaz de schiste aux États-Unis ne laisse aucun doute sur la réalité de l'influence humaine. Avec les injections massives de fluides pollués, l'État de l'Oklahoma, zone auparavant sismiquement inactive, concentre désormais plus de séismes que la Californie.**

plus de séismes que la Californie. Ceux-ci ne sont dans ce cas qu'un élément aggravant de l'impact de l'usage des hydrocarbures à ajouter au dérèglement climatique. La géothermie profonde, alternative pourtant intéressante car sans impact sur les gaz à effet de serre, produit les mêmes effets. Plusieurs grands projets ont ainsi été abandonnés du fait de la sismicité induite et du rejet par la population d'une technique ressentie comme dangereuse.

La Terre sous nos pieds n'est ni immobile ni immuable. Elle est changeante et nos activités peuvent l'affecter. Ne croyons pas non plus qu'elle soit toujours bienveillante si l'homme n'intervient pas. L'histoire nous montre que ses colères ont fait payer un lourd tribut à des populations entières et détruit des civilisations. C'est un monde merveilleux et dangereux à la fois. Pour se protéger collectivement des catastrophes qui se préparent en profondeur, comme pour protéger notre environnement en un temps où il faudra faire appel à des ressources naturelles souterraines pour accompagner la nécessaire transition énergétique, faire des choix est crucial. Pour cela, la science aide à forger des représentations du monde en s'appuyant sur des observations renouvelées qui viennent parfois bousculer nos certitudes. ★

### M. Campillo, « l'Objet de mes recherches » :

<https://www.isterre.fr/annuaire/pages-web-du-personnel/michel-campillo/>

« Ce bruit sismique qui sonde la Terre », de M. Campillo, in « Pour la science », n° 409, 2011. Disponible en ligne.

« Que savons-nous vraiment des séismes ? Que faire pour nous en protéger ? » de M. Campillo et R. Van der Hilst (2016) :

<https://theconversation.com/que-savons-nous-vraiment-des-seismes-que-faire-pour-nous-en-proteger-61452>

« Crises sismiques : quand le pétrole fait trembler l'Oklahoma », de R. Lacassin (2017) :

<https://theconversation.com/crises-sismiques-1-quand-le-petrole-fait-trembler-l-oklahoma-50037>

**L'immense faille de San Andreas, l'une des plus étudiées au monde, fait de la Californie une zone particulièrement propice aux séismes.**



KEVIN SCHAFER / GETTY IMAGES