

La Terre au millimètre près

Océans, continents, chaînes de montagnes, volcans, la géodiversité de notre planète est étonnante. Une planète qui peut sembler statique et peu changeante – mais pas pour le géologue, qui extrait des roches leur histoire et sait donc que le visage de la Terre est constamment modifié. La tectonique des plaques, manifestation en surface des mouvements qui agitent la Terre interne, fournit un cadre logique à la formation des océans et des chaînes de montagnes, ou encore à l'occurrence des séismes et des volcans. Mais la Terre se déforme aussi sous le poids des glaces ou des eaux océaniques et continentales, qui varient avec l'évolution des températures globales – les changements de forme de la Terre sont donc aussi des indicateurs de son état de santé climatique. Ces changements de forme sont minimes – quelques millimètres à centimètres par an – mais sont directement mesurables, sur quelques années, grâce à la géodésie spatiale, littéralement la « mesure de la forme de la Terre depuis l'espace ».

L'Académie des Sciences a joué un rôle important dans la détermination de « La Figure de la Terre », titre de l'ouvrage de 1749 du géodésien Bouguer au retour d'une expédition au Pérou avec La Condamine. La mesure de la longueur d'un degré de méridien proche de l'Equateur, comparée à celle réalisée en Laponie par Clairaut et Maupertuis quelques années auparavant, permet alors de démontrer que la Terre est, au premier ordre, un ellipsoïde de révolution aplati aux pôles, d'en calculer la taille, et au passage de participer à définir le mètre. La géodésie moderne était donc née, mais ses méthodes restèrent longtemps insuffisamment précises pour mesurer, par exemple, les mouvements des plaques tectoniques.

La course à l'espace lors de la guerre froide mettra un terme à ces limitations en stimulant le développement des technologies nécessaires à l'envoi de satellites artificiels dans l'espace. L'un de ces systèmes spatiaux, le GPS, permet le positionnement précis pour tous et tout le temps – il a en quelque sorte démocratisé la géodésie spatiale. On connaît son impact dans la vie courante – qui n'a pas de GPS dans son téléphone mobile intelligent – mais on sait moins qu'il a permis des découvertes scientifiques récentes de premier plan.

J'étais jeune chercheur à la *Scripps Institution of Oceanography* en Californie, au début des années 1990, quand nous mettions au point les méthodes qui permettaient d'en extraire des positions de précision centimétrique. Cela nous mettait en capacité, par exemple, de mesurer directement comment les plaques tectoniques se déforment à leurs frontières. Aujourd'hui, nous mesurons ces positions avec une précision millimétrique en temps quasi-réel à plusieurs milliers de stations. Le défi actuel est d'identifier, dans ces données massives, des signaux géologiques pertinents. Face à cela, les techniques dites de l'intelligence artificielle nous permettent de faire de nouveaux pas en avant.

Le GPS, complété par d'autres systèmes équivalents comme le « Galileo » européen, fait maintenant partie des outils classiques du géologue. Il permet de mesurer directement l'accumulation d'énergie sismique le long des failles, en préparation aux séismes à venir. Cette information nous avait par exemple permis de montrer, dès 2008, que la faille responsable du séisme dévastateur d'Haïti en 2010 pouvait générer un événement de

magnitude 7.2, ce qui se s'est effectivement produit. Mais la géodésie spatiale montre maintenant que le « cycle de vie » des failles contient aussi des épisodes pendant lesquels elles glissent lentement et silencieusement – sans causer de séismes. Nous l'avons par exemple observé dans le rift est africain en août 2007, où une faille glissa d'un mètre en une semaine sans séisme majeur associé. Ces observations ouvrent la voie vers la compréhension des propriétés mécaniques des systèmes de failles et du rôle des fluides qui y circulent, et peut-être un jour vers la prévision des séismes.

Il reste cependant une catégorie de séismes qui échappe à notre compréhension, ceux des continents stables, loin des frontières entre les plaques tectoniques. Ils posent des problèmes spécifiques pour le dimensionnement et la maintenance d'ouvrages sensibles, nucléaires par exemple, dans des zones réputées géologiquement stables – comme une grande partie de la France métropolitaine. Nous avons montré que les failles sismiques dans ces régions, contrairement à leurs alter egos en frontière de plaque, n'y accumulent pas d'énergie élastique – les séismes y relâchent donc une énergie « fossile » accumulée au cours des temps géologiques. La mesure de zéro (!) par géodésie spatiale apporte donc une information qui nous actuellement amène à revoir notre modèle conceptuel – ces séismes ne sont pas le résultat de la tectonique des plaques.

La géodésie spatiale, qui vous l'aurez compris est mon outil géologique favori, m'a amené en Haïti en janvier 2010, quelques jours après le séisme du 12 janvier 2010, pour y déterminer, par mesure GPS, la faille géologique responsable. Cette mission fut surtout pour moi la mise en évidence d'une autre faille, celle qui sépare les scientifiques – sismologues en l'occurrence – et les décideurs. Comme conseiller scientifique pour le pays, mon travail consistait surtout à expliquer de la sismologie simple, de manière à insérer le maximum d'éléments scientifiques dans les prises de décisions de l'époque. De retour dans la sphère académique, je continue de soutenir ce pays pour qu'il se construise une masse critique de géoscientifiques capables de gérer, en autonomie, les questions de risques naturels sur son territoire.

Il y a donc un peu plus de 50 ans, les premiers satellites étaient lancés, la tectonique des plaques devenait la théorie globale des sciences de la Terre. Je suis un enfant de ces avancées majeures. Je remercie ceux qui, au cours de ce bref demi-siècle, m'ont poussé vers les sciences, ceux qui me les ont enseignées, ceux qui m'ont guidé, ainsi que les étudiants à qui je peux transmettre et les collaborateurs scientifiques avec qui je peux partager – tous enrichissent mes réflexions.

Eric Calais

Discours de présentation à l'Académie des Sciences

Mardi 29 mai 2018