

# La « mission Marmara » tente de cerner la menace sismique à Istanbul

Les dix millions d'habitants de l'ancienne Constantinople vivent dans la crainte d'un tremblement de terre majeur. Une équipe de spécialistes franco-turcs explore la faille nord-anatolienne pour mieux comprendre le mouvement des plaques dans cette région à très hauts risques

« ON DOIT S'ATTENDRE à un ou plusieurs gros séismes en mer de Marmara, face à Istanbul, sur la partie sous-marine de la faille nord-anatolienne, car les contraintes tectoniques y sont très fortes. Les recherches que nous menons avec des scientifiques turcs dans la région montrent qu'il y a à cet endroit une lacune sismique, géographique et temporelle où doit se produire inévitablement un séisme important », explique Rolando Armijo, physicien spécialiste de tectonique à l'Institut de physique du globe de Paris (IPGP), et responsable scientifique du programme de coopération franco-turc sur le risque sismique dans la région d'Istanbul et de la mer de Marmara.

Cette coopération a été mise en place en novembre 1999 à la suite des deux séismes meurtriers d'août et novembre 1999, afin d'évaluer plus précisément les risques encourus par la population stambouliote, forte de quelque dix millions d'habitants. Piloté par l'Institut national des sciences de l'univers du CNRS, ce programme rassemble les compétences de chercheurs de plusieurs laboratoires et centres scientifiques français et turcs.

Après avoir étudié la faille nord-anatolienne (FNA) dans sa partie terrestre, et notamment la portion concernée par les séismes de 1999, les scientifiques ont entamé en

## Une ville peu préparée au risque

« La probabilité d'une secousse sismique d'intensité 7 ou plus sur l'échelle de Richter est de 60 % dans les trois décennies à venir », a récemment affirmé Naci Görür, sismologue et directeur du centre de recherche Marmara. « Mais Istanbul n'est pas prête. Jusqu'à 60 % des bâtiments de la ville ne résisteront pas au fort séisme attendu. » Depuis les deux secousses meurtrières d'Izmit et de Düzce, en 1999, tout ce qui touche à la coordination des secours et à la gestion des dégâts a été globalement mis en place par les autorités locales. Mais « nous attendons des mesures de renforcement des bâtiments d'Istanbul, des informations sur les zones les plus exposées, et que soit envisagée l'évacuation des endroits non sûrs ». Mais ces précautions sont rarissimes, car politiquement délicates et financièrement coûteuses.

## Enquête publique à Marcoule

L'USINE Melox de Marcoule (Gard) fait actuellement l'objet d'une enquête publique, lancée en octobre, par les ministères de l'environnement et de l'industrie. L'enquête concerne l'extension des capacités de l'unité de fabrication du combustible nucléaire Mox, mélange d'oxydes d'uranium et de plutonium. La Cogema, qui exploite le site, souhaite faire passer la production annuelle de 100 à 145 tonnes, afin d'y rapatrier l'activité de son usine de Cadarache (Bouches-du-Rhône), qui n'est plus conforme aux normes antisismiques. La fermeture de l'usine de Cadarache avait été réclamée dès 1995 par l'Autorité de sûreté nucléaire, « gendarme du nucléaire », jusqu'ici sans succès, la Cogema mettant en balance la fermeture de Cadarache et l'extension de l'usine Melox.

Au sein des gouvernements successifs, l'opposition entre les ministères de l'industrie et de l'environnement a contribué à bloquer durablement le dossier, au bénéfice de la Cogema. La fermeture de Cadarache, repoussée d'année en année, pourrait intervenir courant 2003 et coïncider avec l'arrêt d'extension de Melox, indiquait-on, mardi 5 novembre, au ministère de l'environnement. Les associations anti-nucléaires, qui réclament la fermeture immédiate de l'usine de Cadarache, estiment injustifiée l'extension de Melox, qui ne sert, à leurs yeux, qu'à prolonger la filière moribonde du plutonium, retraité par Cogema dans son usine de la Hague (Manche).

## L'AFFRONTEMENT DE DEUX PLAQUES TECTONIQUES

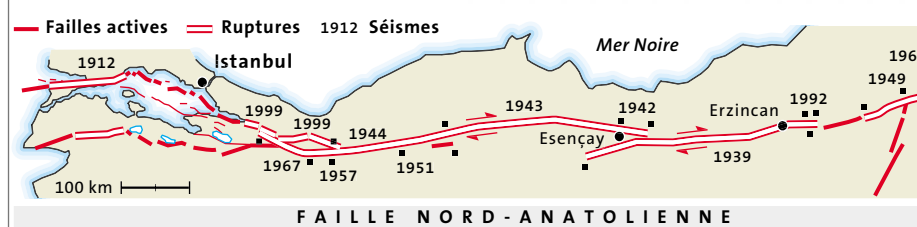
### La faille nord-anatolienne au niveau de la mer de Marmara



La faille nord-anatolienne traverse la Turquie d'est en ouest sur plus de 1 000 km. Elle résulte de l'affrontement de deux plaques tectoniques : la plaque arabique et la plaque eurasiatique, et comporte une branche nord (A) et une sud (B). La branche A est particulièrement étudiée, car elle a provoqué les deux gros séismes de 1999, et elle traverse la mer de Marmara, qui comporte trois bassins profonds de 1 200 mètres. Les spécialistes pensent que le prochain séisme important se produira en mer de Marmara, au large d'Istanbul (▲).

Sources : CNRS, INSU, IPGP

### Les séismes du XX<sup>e</sup> siècle



des régions très peuplées et frappées de plein fouet par les deux séismes ». « Nous étions obligés de faire nos études en plein milieu du malheur, en expliquant aux victimes que c'était nécessaire. C'est pour moi, se souvient Rolando Armijo, l'expérience la plus dure que j'aie jamais connue ».

Outre les données recueillies sur terre, les scientifiques ont également obtenu des informations sur les mouvements sismiques par interférométrie radar – avec notamment les satellites européens ERS-1 et ERS-2 –, mais aussi par GPS. Tout cela a permis d'établir que les deux séismes de 1999 avaient rompu une faille presque verticale sur une longueur totale d'environ 180 km et sur une profondeur de 15 km.

### RECHERCHES DIFFICILES

Sur terre, les deux séismes meurtriers de 1999 à Izmit (17 août, magnitude 7,4, 30 000 morts) et à Düzce (12 novembre, magnitude 7,2, 350 morts et 2 500 blessés) avaient été préalablement analysés par l'équipe franco-turque, et aussi par des spécialistes américains : la FNA offre en effet des similitudes avec la faille de San Andreas en Californie. Les recherches ont été difficiles, car elles ont été menées « dans

des régions très peuplées et frappées de plein fouet par les deux séismes ». « Nous étions obligés de faire nos études en plein milieu du malheur, en expliquant aux victimes que c'était nécessaire. C'est pour moi, se souvient Rolando Armijo, l'expérience la plus dure que j'aie jamais connue ».

Outre les données recueillies sur terre, les scientifiques ont également obtenu des informations sur les mouvements sismiques par interférométrie radar – avec notamment les satellites européens ERS-1 et ERS-2 –, mais aussi par GPS. Tout cela a permis d'établir que les deux séismes de 1999 avaient rompu une faille presque verticale sur une longueur totale d'environ 180 km et sur une profondeur de 15 km.

Par ailleurs, l'interférogramme radar effectué sur la région où se trouve l'épicentre du séisme d'Izmit a montré que la rupture s'était prolongée sous la mer, d'une cinquantaine de kilomètres à l'ouest de la ville de Gölçü, vers Istanbul. Le séisme de Düzce, en novembre, a ensuite prolongé cette rupture de 35 km. Désormais, le prochain segment qui devrait en toute logique rompre comme un bouton de chemise se trouve dans la mer de Mar-

mara, surveillée et explorée pendant trois ans.

La première campagne maritime « Marmara », réalisée en 2000 sur le Suroit (Ifremer), a en effet permis aux scientifiques de cartographier précisément l'expression superficielle du système de failles sous-marines, long de 160 km, large d'une vingtaine et jalonné par trois fossés d'une profondeur de 1 200 mètres. Les deux autres campagnes, menées en 2001, « Seismarmara » et « Marmaracore » ont précisé la structure profonde de cet ensemble de failles jusqu'à 10 km

## Tokyo, San Francisco et les autres

Istanbul n'est pas la seule grande ville à être menacée par un fort séisme. Partout où il y a des failles, les contraintes s'accroissent en surface tandis qu'en profondeur les mouvements se font en douceur. Arrive un moment où, en surface, la faille rattrape brutalement son retard et provoque une secousse plus ou moins violente. Certaines régions particulièrement sensibles sont l'objet de surveillances renforcées. C'est le cas de Tokyo et du système de failles de Nankai à l'origine d'importants séismes. C'est aussi celui des villes de San Francisco et de Los Angeles, qui vivent dans l'attente d'un « Big One ». La première parce qu'elle voisine la célèbre et meurtrière faille de San Andreas et la seconde parce qu'elle est menacée par un système de failles annexes. Mais ces zones à risques, plus médiatisées parce que liées à de grandes métropoles occidentales, ne doivent pas faire oublier que partout où il y a une faille il y a un risque, et que des villes comme Alger ou Izmir sont, comme Kobe – dont le système de failles, peu étudié, a donné lieu récemment à un tremblement de terre meurtrier –, sous la menace de fortes secousses.

## Une des zones les plus instables du monde

Une faille coulissante qui se termine dans le golfe de Corinthe

LA FAILLE nord-anatolienne (FNA) traverse la Turquie sur plus de mille kilomètres. « C'est l'un des décrochements les plus sismiques du monde, comparable à la célèbre faille de San Andreas, en Californie », explique Rolando Armijo, physicien au laboratoire tectonique et mécanique de la lithosphère à l'IPGP. « C'est une faille coulissante et décrochante, donc horizontale, qui se termine dans le golfe de Corinthe après avoir traversé le nord de la mer Egée. »

Ce décrochement tectonique, qui a commencé à se former il y a environ quinze millions d'années, résulte de l'affrontement de deux plaques continentales, la plaque arabique et la plaque eurasiatique, qui convergent aujourd'hui sur le bord est de la Méditerranée. Le bloc anatolien de l'Eurasie est pris en étau entre ces deux blocs et se déplace le long de la faille à la vitesse de 23 mm/an, selon un processus d'extraction similaire à celui du plateau tibétain.

Sur la moitié de son parcours, la FNA suit un tracé simple avec un coulissement. Sur l'autre, située vers l'ouest, elle se diversifie au niveau de la mer de Marmara en formant un double coude. C'est cette action qui entraîne un étirement de la croûte terrestre très important et provoque un effondrement très rapide selon un processus que l'on retrouve dans les autres bassins en extension (fossé rhénan, rift africain).

Il y a cinq millions d'années, ce fossé nouvellement créé a été peu à peu envahi par la mer. Mais le mouvement d'étirement se pour-

suit encore aujourd'hui. Du fait du jeu de segments de failles secondaires, il a produit les trois bassins actuels de la mer de Marmara, profonds de 1 200 mètres. Pour toutes ces raisons, « cette zone est étonnamment sismique, et la partie la plus active est située dans cette mer à environ 25 km au sud d'Istanbul », rappelle Rolando Armijo.

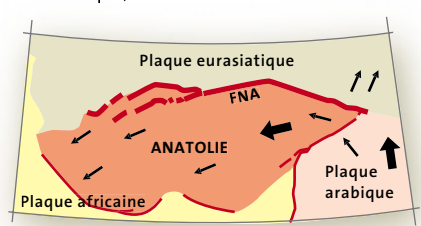
Les séismes historiques qui ont frappé la Turquie, en particulier la « séquence sismique » des XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles, éclairent le présent. Cette séquence a démarré en 1668 par un très grand tremblement de terre. Comme au XX<sup>e</sup> siècle, cette première rupture a lieu à des centaines de kilomètres à l'est d'Istanbul, sur la partie la plus linéaire de la FNA.

### « CONTRAINTES DE COULOMB »

Puis, en 1719, a eu lieu de nouveau un grand séisme, dont l'aire de destruction est superposable à celle des deux grands tremblements de terre de 1999. Plus tard s'est produit un autre séisme, en 1754, fortement ressenti à Istanbul, qui semble prolonger la rupture sous la partie orientale de la mer de Marmara. Deux grands séismes s'enchaînent le 22 mai et le 5 août 1766. Le premier sous la partie occidentale de la mer de Marmara, le second, qui ferme la série, vers les Dardanelles.

« Il semble donc que, lorsque tout le système de failles est proche de la rupture, on arrive à un stade critique caractérisé par une susceptibilité extrême aux petites perturbations et à une forte corrélation entre parties distantes du système, explique Rolando Armijo. Or force est de constater

La faille nord-anatolienne (FNA) correspond au glissement de deux blocs continentaux se traduisant par l'expulsion de l'Anatolie vers le sud-ouest. Le premier bloc, la plaque arabique, progresse vers le nord; le second, la plaque eurasiatique, reste stable.



ments sismiques sous-marins, en utilisant le sondeur multifaisceaux du sous-marin autonome Victor-6000, afin de reconnaître les ruptures historiques, de les dater, et d'engager une reconstitution paléosismologique des différents segments de la faille. « Il est important en effet de pouvoir déterminer si la célèbre séquence des grands tremblements de terre du XVIII<sup>e</sup> siècle (1719, 1754, mai et août 1766) s'est produite par un enchaînement de ruptures sur la branche nord de la FNA traversant entièrement la mer de Marmara », s'interroge Rolando Armijo. Car la séquence des séismes du XX<sup>e</sup> siècle sur cette faille offre une grande similitude avec celle du XVIII<sup>e</sup> siècle

### TROIS ÉLÉMENTS

Lors de « Marmarascarp », l'équipe franco-turque a identifié trois éléments importants. Elle a découvert « à l'ouest de la mer de Marmara, près du détroit des Dardanelles, une rupture de 60 km de long, qui pourrait être le prolongement du séisme de Ganos en 1912 », explique encore Rolando Armijo. Puis, une seconde, plus petite, de 20 km de long, proche d'Istanbul, qui pourrait correspondre au séisme de 1963. Et, enfin, nous avons observé les traces de la rupture de 1999. Tous éléments qui nous permettent de combler la lacune géographique et sismique. »

Les scientifiques de l'équipe pensent que le séisme de 1912 a dû être très important et qu'il s'est déployé sur une portion de la faille nord-anatolienne aussi longue qu'à Izmit. L'énergie accumulée sur cette partie de la faille aurait donc diminué. Mais il demeure la partie proche d'Istanbul, où les segments qui restent peuvent provoquer des séismes. Au vu de ces résultats, Rolando Armijo penche pour une rupture partielle et certainement violente du système, mais écarte « l'hypothèse d'une rupture unique de l'ensemble provoquée par un séisme exceptionnel de magnitude voisine de 8 ». Un scénario, que Xavier Le Pichon, professeur au Collège de France et responsable scientifique de la mission « Marmara », envisage pourtant. Toutefois, s'il est toujours difficile de prévoir avec précision la magnitude du tremblement de terre à venir, chacun reste persuadé qu'il sera très important et probablement meurtrier.

Christiane Galus