

Un séisme historique revu à la hausse

À la fin du XIX^e siècle, un tremblement de terre ravageait la Riviera franco-italienne. Une nouvelle étude montre qu'il a été bien plus fort qu'on ne le croyait. Cette découverte amène les géologues à réévaluer le risque sismique de la région.



PAR Christophe Larroque, maître de conférences à l'université de Reims Champagne-Ardenne et chercheur au laboratoire Géoazur de Nice-Sophia Antipolis



AVEC Oona Scotti, chercheur à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire de Fontenay-aux-Roses



ET Mansour Ioualalen, chargé de recherche au laboratoire Géoazur de Nice-Sophia Antipolis.



Dans la ville italienne de Taggia, en Ligurie, de nombreux bâtiments ont été détruits par le tremblement de terre de 1887.

© FONDS JEAN LUCE/BERGÉ-ANDREU, DÉPÔT AUX ARCHIVES DÉPARTEMENTALES DES ALPES-MARTIMES

Le 23 février 1887 à 5 heures du matin, un séisme ébranle toute une région du nord-ouest de l'Italie, autour du golfe de Gênes. Des dégâts importants se produisent sur plus de 100 kilomètres de côte, en particulier dans les villes d'Imperia, de Menton et de Nice. Plus de trois cents villages sont touchés. L'un d'eux, Bussana, en Italie, est entièrement détruit.

Le tremblement de terre est ressenti en Suisse, en Autriche et jusque dans les Pyrénées. Une trentaine de minutes après la première secousse, un tsunami déferle sur Gênes, Nice et d'autres villes

de la côte. Certaines vagues, enregistrées par les deux marégraphes de l'époque, atteignent par endroits 2 mètres de haut, un record pour le nord-ouest de la Méditerranée ! Au final, le bilan humain est lourd : 635 morts et 555 blessés.

Il s'agit du séisme le plus fort connu dans la région. À ce titre c'est une source importante d'informations pour nous qui cherchons à évaluer le risque sismique dans toute la zone de jonction entre les Alpes et la Méditerranée. On sait qu'à l'échelle humaine ces gros tremblements de terre sont rares dans cette zone qui est pourtant l'une des plus sismiques de l'ouest de l'Europe [1]. La sismicité >>>

Un séisme historique revu à la hausse

*** y est dite modérée, c'est-à-dire de magnitude* inférieure à 6 sur l'échelle de Richter. Mais une secousse telle que celle de 1887 peut-elle se reproduire ? Que révèle-t-elle des mécanismes à l'origine des séismes à l'œuvre dans cette région ?

Pour le savoir, il faut d'abord préciser les caractéristiques de ce séisme. À commencer par sa magnitude. Or, en 1887, les réseaux de sismographes, qui aujourd'hui enregistrent les ondes émises lors de tremblements de terre et permettent de quantifier sa puissance, n'existent pas. Pour évaluer l'ampleur de ces séismes dits « historiques », les sismologues n'ont d'autre recours que d'étudier, *a posteriori*, les traces de l'événement dans le paysage et les dégâts occasionnés consignés dans les registres historiques.

On sait que les ruptures brutales de la croûte* terrestre qui se produisent à proximité de la surface lors des forts séismes peuvent transformer le paysage en quelques secondes : des blocs de croûte de plusieurs kilomètres sont déplacés sur plusieurs mètres, des collines sont transformées, le cours des rivières est dévié... Ces bouleversements sont irréversibles. Mais, au fil du temps, l'érosion efface partiellement ou totalement

ces traces en surface. Pour le séisme de Ligurie, désigné ainsi parce qu'il a affecté toute la Ligurie – la

région du golfe de Gênes –, peu de données géologiques subsistent.

Reste l'analyse des dommages qui reflètent en un point donné le mouvement du sol produit par le séisme et permettent de déterminer ce qu'on appelle l'intensité du séisme. L'intensité est un paramètre plus subjectif que la magnitude car il est évalué à partir des dégâts matériels relevés sur place par des témoins et des enquêteurs.

Premières estimations. Au début des années 1990, en s'intéressant au risque sismique dans la Péninsule, des géologues italiens reprennent les intensités répertoriées dans les catalogues de sismicité italiens. Puis ils utilisent une loi empirique pour passer de l'intensité à la magnitude, en faisant une hypothèse sur la profondeur du point d'origine du séisme. Les chercheurs proposent ainsi des magnitudes, variant de 5,6 à 6,5, sans qu'il y ait consensus. Finalement, la valeur établie par Graziano Ferrari, de l'université de Bologne, entre 6,4 et 6,5, est toutefois retenue (pour une profondeur de séisme estimée à 17 kilomètres) [2].

Il n'existe pas non plus de consensus concernant la localisation du séisme en

* **LA MAGNITUDE** est la quantité d'énergie libérée lors d'un tremblement de terre.

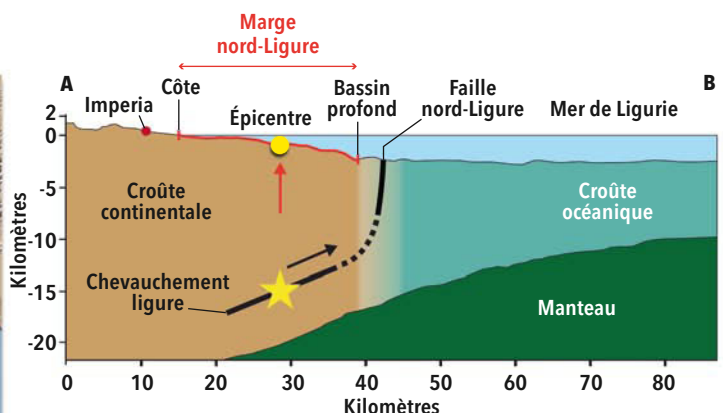
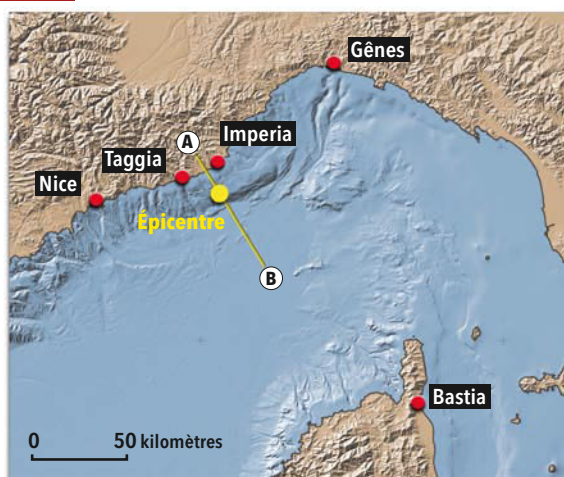
* **LA CROÛTE** est l'enveloppe superficielle du globe terrestre.

surface, nommée « épicentre ». Pour les uns, le tremblement de terre avait eu lieu à terre, à 25 kilomètres au nord d'Imperia, pour les autres, en mer, à 10 kilomètres au sud de cette même ville.

Pour préciser ces paramètres, nous avons premièrement ajouté les intensités des catalogues français à celles des italiens, soit plus de 2 200 données au total ! Et surtout, nous avons utilisé une loi empirique établie en 2006 par l'une d'entre nous, Oona Scotti, en collaboration avec William Bakun, de l'Institut d'études géologiques des États-Unis [3]. Cette loi, construite à partir des tremblements de terre récents en France, est plus adaptée à la zone allant de la Provence à la Ligurie. Elle est ainsi plus précise que celles utilisées il y a vingt ans par les géologues italiens.

Notre démarche nécessite toujours une hypothèse de départ sur la profondeur du séisme. Étant donné que tous les séismes récents dans cette région se sont produits entre 10 et 20 kilomètres de profondeur, et que les caractéristiques en jeu (flux de chaleur, épaisseur de la croûte) ne se modifient que très lentement, nous avons fait l'hypothèse que le séisme de Ligurie, qui ne date que

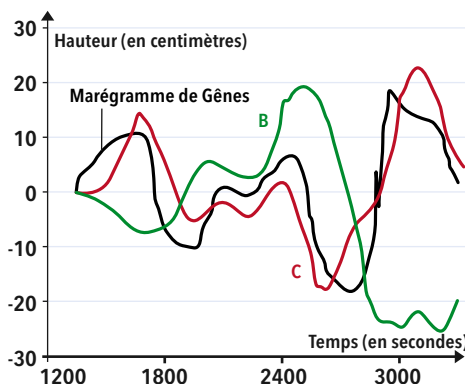
Fig.1 Contexte géologique



LA LOCALISATION en surface du séisme (point jaune) est en mer, à 20 kilomètres au sud de la ville d'Imperia. Le séisme a été déclenché par une faille à 15 kilomètres de profondeur, le chevauchement Ligurien (vue en coupe ci-dessus). Cette faille est reliée à une autre faille, qui atteint la surface, la faille nord-Ligure. © INFOGRAPHIES BRUNO BOURGEOIS

Fig.2 Le meilleur scénario

LA COURBE EN NOIR représente la hauteur de vagues (marégramme) du tsunami enregistré au port de Gênes. Les courbes B (en vert) et C (en rouge) représentent deux des marégrammes modélisés en faisant varier les caractéristiques de la faille qui a provoqué le séisme. La courbe C correspond au scénario produit par une faille inverse inclinée à 20° vers le nord. C'est cette courbe qui reproduit le mieux le marégramme de Gênes.



de cent trente ans, s'est produit dans ce même intervalle de profondeur.

Résultat : la magnitude que nous obtenons pour modéliser l'intensité de la secousse est comprise entre 6,5 et 7,1. Cet intervalle est nettement supérieur à celui déterminé auparavant par Graziano Ferrari. De plus, le nouvel épicentre déterminé situe le séisme en mer, à environ 20 kilomètres au sud d'Imperia.

Restait à trouver l'origine de ce séisme, autrement dit la faille qui a cassé en profondeur et qui l'a déclenché. Comment ? Au début de notre étude, il y a six ans, il existait très peu de données sur les failles actives de la région. Nous avons donc organisé trois campagnes océanographiques entre 2007 et 2009, dans la mer de Ligurie, la partie de la mer Méditerranée qui borde la région. C'est ainsi que nous avons découvert une faille active inconnue jusqu'ici, que nous avons baptisée la faille « nord-Ligure ». Située dans la zone épicentrale, elle pourrait être à l'origine du séisme de 1887.

En partant de cette hypothèse, nous avons réalisé des dizaines de simulations de tsunami, en faisant varier les caractéristiques de la faille nord-Ligure (dimension et inclinaison). Pour définir la configuration de la faille considérée, nous avons modélisé les trois phases de la formation d'un tsunami : le déplacement brutal du fond de la mer induit par le glissement des blocs de part et d'autre de la faille, la transmission de ce déplacement à la couche d'eau et la propagation des vagues vers la côte.

Nous avons alors obtenu différents tracés des hauteurs de vagues (nom-

més « marégrammes ») que nous avons comparés à ceux enregistrés le 23 février 1887. Selon nos résultats, pour obtenir les hauteurs de vagues relevées sur le marégramme de Gênes à l'époque, soit entre 10 et 20 centimètres, le glissement de faille doit atteindre 150 centimètres pour une surface de faille de 600 kilomètres carrés. Ces valeurs correspondent à un séisme de magnitude 6,9 [fig. 2] [4].

Faille potentielle. En revanche, une magnitude de 6,5, comme celle établie par Graziano Ferrari en 1991, correspondrait à une faille d'au moins 300 kilomètres carrés ayant glissé sur moins de 80 centimètres. Or un tel glissement ne suffit pas à provoquer le tsunami observé. En outre, la magnitude de 6,9 est bien compatible avec notre intervalle de magnitudes, allant de 6,5 à 7,1.

Nous avons ainsi déterminé une nou-

velle magnitude, une localisation et une faille potentielle pour le séisme de Ligure. Mais est-ce bien la faille nord-Ligure qui l'a déclenché ? Ombre au tableau : le meilleur scénario pour reproduire les vagues situe le séisme à 15 kilomètres de profondeur et impose une faible inclinaison vers le nord (environ 20°) au plan de faille activé lors du séisme. Or la faille nord-Ligure présente une forte inclinaison en surface (environ 60°). Il y a donc de grands risques pour que celle-ci soit reliée à une seconde faille en profondeur, que nous avons baptisé « chevauchement Ligure ». Pour nous, c'est donc lui qui est à l'origine du séisme et du tsunami de 1887.

De plus, cerise sur le gâteau : l'identification du chevauchement Ligure et de son fonctionnement nous a fourni une nouvelle information sur la géodynamique de la région.

On sait depuis longtemps que la marge nord-Ligure, la pente allant du littoral jusqu'au bassin profond, se soulève à une vitesse de l'ordre de 0,3 millimètre par an depuis au moins 5 millions d'années. Or aucune des structures géologiques connues dans la zone ne rend compte de ce mouvement de soulèvement. Excepté le chevauchement Ligure, qui entraîne le soulèvement de la marge lorsqu'à chaque séisme, le bloc nord glisse au-dessus du bloc sud.

Au-delà de l'analyse de l'événement particulier de 1887, nous savons désormais que des séismes de forte magnitude peuvent se produire à la jonction des Alpes et de la Méditerranée, bien que celle-ci soit située loin de la limite entre les plaques Europe et Afrique. Cette information est essentielle pour réévaluer le risque sismique dans une région fortement peuplée, où de telles magnitudes sont rarement envisagées. ■

L'essentiel

➤ **LE SÉISME** du 23 février 1887 est le plus fort connu dans le nord-ouest de l'Italie. Il a fait plus de 600 morts.

➤ **LA MAGNITUDE** de ce tremblement de terre a été évaluée à 6,5 en 1991.

➤ **FONDÉE SUR LES DÉGÂTS** matériels à terre et les hauteurs des vagues de tsunami, une nouvelle étude estime que cette magnitude est proche de 7.

[1] C. Larroque et al., *Groupe APS*, 57, 2012.

[2] G. Ferrari, *Tectonophysics*, 193, 131, 1991.

[3] W.H. Bakun et O. Scotti, *Geophysical Journal International*, 164, 596, 2006.

[4] C. Larroque et al., *Geophysical Journal International*, 190, 87, 2012.

Pour en savoir plus

➤ André Laurenti, *Les Alpes-Maritimes à l'écoute des séismes*, Serre, 2006.