

➤ l'Atlantique nord-est et la Méditerranée occidentale, est l'un des onze centres d'alerte aux tsunamis au niveau international. Le Japon est un exemple dont on peut tirer quelques enseignements.

LES LEÇONS DU JAPON

Le 11 mars 2011, un tsunami a dévasté toutes les villes portuaires du nord-est de l'archipel, et gravement endommagé la centrale nucléaire de Fukushima, où la menace avait été sous-évaluée. Mais le tsunami a causé beaucoup

moins de victimes qu'en 2004, illustrant le bon fonctionnement d'un système développé dès les années 1950, capable de détecter rapidement le séisme, d'évaluer le tsunami et d'alerter des populations bien entraînées à ce risque.

En particulier, les capteurs de pression immergés et les bouées GNSS en surface ont repéré très précisément le tsunami une vingtaine de minutes après le séisme (*voir la figure page suivante*). L'amplitude de plusieurs mètres des vagues au large, un record, a conduit à augmenter le niveau d'alerte sous-estimé dans un

DES TSUNAMIS VOLCANIQUES

Au soir du 22 décembre 2018 le volcan Anak Krakatau (voisin du Krakatau), en Indonésie, crache de la lave visible depuis les plages de Java, à 40 kilomètres. Soudain, vers 21 heures, un panache de cendres obscurcit le ciel. Et une demi-heure plus tard, des vagues de plusieurs mètres de hauteur dévastent les côtes de Java, puis de Sumatra, faisant plus de 430 victimes. Des centaines de maisons et de bateaux sont détruits. Les études ont depuis montré que le volcan avait été biseauté par un glissement de terrain de plus de 150 millions de mètres cubes de roches, dont l'entrée en mer a provoqué le tsunami.

Ces tsunamis dits «volcaniques», moins fréquents que leurs homologues sismiques, représentent un défi, car les centres d'alerte ne les prennent pas en compte. De plus, les observatoires volcanologiques sont rarement équipés pour surveiller la formation de vagues inhabituelles autour des volcans. Enfin les autorités et les populations locales ne sont pas sensibilisées à ce risque. Autant de facteurs qui



Le Stromboli, en Italie, juste avant le glissement de terrain du 30 décembre 2002.

accentuent la dangerosité de ce type de tsunamis. Ils ne sont pourtant pas inconnus. Un seul exemple, en août 1883, une éruption cataclysmique du Krakatau a engendré des tsunamis pendant plusieurs jours. Au paroxysme, le panache de cendres et de roches s'élevant à plus de 40 kilomètres d'altitude s'est écroulé sur lui-même, provoquant un tsunami de 15 mètres sur les côtes du détroit de la Sonde. Bilan: 30 000 morts. Les écoulements au sens large sont responsables de la majorité des tsunamis volcaniques. Lors de l'entrée dans l'eau, le transfert d'énergie produit une vague d'impulsion suivie de vagues secondaires. Cette vague initiale atteint

parfois plusieurs centaines de mètres de hauteur dans le cas de mégaglislements d'îles océaniques. La différence principale entre les vagues générées par les glissements de terrain et celles dues à des séismes se situe à la source: les premières sont caractérisées par une forte amplitude initiale avec des longueurs d'onde modestes. La conséquence est un impact plus localisé. D'autres mécanismes sont possibles, notamment dans le cas des volcans immergés. Lorsque le magma entre en contact avec l'eau à faible profondeur, des explosions percent parfois la surface de l'eau, formant un «cratère» qui ensuite se soulève puis s'effondre. Les vagues formées se propagent de façon radiale autour

de l'explosion. Un tel phénomène a été observé en 1996 dans le lac Karymsky, en Russie. Les effondrements de caldeiras sous-marines sont aussi susceptibles de générer des tsunamis, mais il n'existe aucun cas avéré. La compréhension des tsunamis liés à l'activité et l'instabilité des volcans a beaucoup progressé. Mais l'exemple de l'Anak Krakatau en 2018 pointe des lacunes en matière de prévention. Le tsunami généré par un effondrement du flanc nord du Stromboli en 2002 avait incité les Italiens à établir un dispositif de vigilance et d'alerte sur ce volcan qui figure déjà parmi les plus surveillés du monde. Deux balises flottantes équipées de capteurs de pression hydrostatique reliés à un système de positionnement par satellite sont venues compléter les nombreux équipements disposés sur le volcan: en 2019, ils ont enregistré les deux tsunamis induits par des écoulements.

RAPHAËL PARIS
chercheur au laboratoire
Magmas et volcans, à
l'université Clermont-Auvergne.

premier temps par les données sismiques. Ces données en mer, indispensables, ont poussé les autorités japonaises à intensifier, depuis 2011, leurs investissements dans des systèmes de câbles sous-marins de plusieurs milliers de kilomètres, déployés près des zones de subduction, équipés de plus de 200 capteurs sismiques et capteurs de pression.

À terre aussi, la densité des réseaux sismiques et de capteurs GNSS permet au Japon d'être très performant sur l'alerte précoce. Couplées aux données en mer, ces observations aident à caractériser très rapidement le séisme et l'amplitude du tsunami.

D'ici peu, les centres d'alerte, au Japon et ailleurs, recevront des informations supplémentaires recueillies dans les plus hautes couches de l'atmosphère (voir l'encadré page 37). Des mesures satellitaires contribueront également à cerner rapidement la nature des déformations de la croûte terrestre. Ensemble, ces nouveaux jeux de données apporteront dans la prochaine décennie une meilleure connaissance d'un tsunami en temps réel.

L'alerte aux tsunamis reste néanmoins un défi lorsqu'ils sont provoqués par des éruptions volcaniques ou des glissements de terrain (voir l'encadré page ci-contre). Certains volcans sont désormais dotés de systèmes locaux de détection, notamment le Stromboli, en Italie, depuis

un tsunami important en 2002. Mais équiper l'ensemble des volcans menaçants est très coûteux au regard de la rareté des tsunamis atypiques qu'ils génèrent. Le système d'alerte de la Caraïbe a néanmoins émis des recommandations pour intégrer les sources volcaniques dans les procédures d'alerte, en lien avec les observatoires volcanologiques.

Les trois piliers indispensables des systèmes d'alerte sont toujours : l'évaluation de l'aléa et du risque ; la surveillance et l'alerte ; la prévention. Si les initiatives internationales ont contribué à renforcer chacun de ces piliers depuis 2004, la réussite nécessite, nous l'avons vu, des efforts permanents aux échelles locales de décision et de préparation. Des progrès sont aussi attendus du côté de la modélisation.

L'AIDE DES MODÈLES

De fait, les simulations numériques des tsunamis s'améliorent notablement. Elles livrent des modèles toujours plus précis et rapides, reproduisant par exemple des tsunamis historiques ou récents (voir la figure page suivante). Les spécialistes peuvent aussi les comparer à des données marégraphiques et se projeter dans des scénarios futurs. Les modélisations, menées en cours d'alerte, sont également de plus en plus utilisées pour prévoir les effets à distance dès qu'un séisme tsunamigénique se

Le tsunami du 11 mars 2011, au Japon, a été détecté dans les dizaines de minutes qui ont suivi le séisme, d'abord par des capteurs de pression au fond de la mer (TM-1 et TM-2), puis par les bouées équipées de capteur GPS plus près des côtes (Iwate M et S). Les signaux révèlent comment l'amplitude du tsunami augmente en s'approchant de la côte. À gauche, le long de la zone de subduction, les données géophysiques donnent un aperçu du glissement le long de la faille, pendant le séisme, atteignant localement 40 mètres.

