

Louis Géli
Hélène Géli

Un crapaud
peut-il
détecter
un séisme



90
clés pour
comprendre
les séismes
et tsunamis

éditions
Quæ

Un crapaud peut-il détecter un séisme ?

90 clés pour comprendre les séismes et tsunamis

Collection *Clés pour comprendre*

Le tout bio est-il possible ?

90 clés pour comprendre l'agriculture biologique
Bernard Le Buanec, 2012, 240 p.

Les poissons d'élevage sont-ils stressés ?

80 clés pour comprendre l'aquaculture
Michel Girin, 2012, 144 p.

Où les papillons passent-ils l'hiver ?

100 clés pour comprendre les papillons
Patrice Leraut, 2012, 144 p.

Nos aliments sont-ils dangereux ?

60 clés pour comprendre notre alimentation
Pierre Feillet, 2011, 240 p.

Le loup hurle-t-il à la lune ?

180 clés pour comprendre les carnivores
Luc et Muriel Chazel, 2011, 216 p.

Toutes les bières moussent-elles ?

80 clés pour comprendre les bières
Jean-Paul Hébert et Dany Griffon, 2010, 224 p.

Les insectes ont-ils un cerveau ?

200 clés pour comprendre les insectes
Vincent Albouy, 2010, 200 p.

Éditions Quæ

RD 10

78026 Versailles Cedex, France

© Éditions Quæ, 2012

ISBN : 978-2-7592-1817-2

ISSN : en cours

Louis Géli et Hélène Géli

Un crapaud
peut-il
détecter
un **séisme**

?

90
clés pour
comprendre
les séismes
et tsunamis

« Assurons-nous bien du fait
avant que de nous inquiéter de la cause.
Il est vrai que cette méthode est bien lente
pour la plupart des gens qui courent naturellement
à la cause, et passent par-dessus la vérité du fait.
Mais enfin, nous éviterons le ridicule d'avoir
trouvé la cause de ce qui n'est point. »
Fontenelle

Remerciements

Nous remercions les éditions Quae d'avoir mené à bien ce projet d'ouvrage, et plus particulièrement Nelly Courtay pour sa disponibilité, sa patience et sa détermination ainsi que Véronique Leclerc, qui nous a fait partager son expérience.

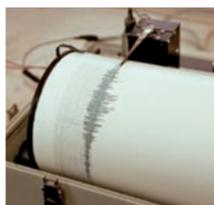
Nous sommes très reconnaissants à Jean-Claude Sibuet, qui nous a fait l'amitié de nous autoriser à publier son témoignage exceptionnel sur le séisme japonais du 11 mars 2011, ainsi qu'à Mary-Hélène Noël Kawachi, scientifique française vivant au Japon depuis 16 ans, qui a accepté de nous livrer ses émotions et son vécu de cette catastrophe.

Notre reconnaissance va également à Pierre Henry, Xavier Le Pichon et Émile Okal pour leur éclairage sur le séisme de Tohoku ainsi qu'à tous les collègues qui ont pris de leur temps pour discuter certains points de l'ouvrage ou pour fournir des images, libres de droits : Éric Calais, Azzedine Boudiaf, Michel Ollagnon, Serge Lallemant, François Schindélé, Marion Bard, Pierre-Yves Bard, Michel Bouchon, Jean-François Ritz, Rémy Bossu, Gilles Mazet-Roux, Pascal Bernard, Philippe Lognonné, Gilles Charpentier, Patrick Lebreton, Jean-Claude Ruegg, Sébastien Hardy, Julien Dorol, Jeff Kubina, Marc-André Gutscher, Rolando Armijo, Jean Vandemeulebrouck, Robin Lacassin. Quant à Nikos Nadiillidis et Christoph Grützner, ils nous ont fourni gracieusement de splendides photographies, qu'ils en soient remerciés.

Un grand merci enfin à Laetitia Morvan pour sa contribution à l'iconographie.

Table des matières

Avant-propos	9
Que sont les séismes et tsunamis ?	11
Évaluation et prédiction des risques	49
Prévention sismique, une planète à deux vitesses	79
Peut-on prévoir les séismes ?	101
Tohoku et Fukushima, le drame japonais du 11 mars 2011	123
Obstacles et perspectives	157
90 clés pour comprendre les séismes et tsunamis	169
Pour en savoir plus	173
Crédits photographiques	175







Avant-propos

Après chaque grand tremblement de terre, les mêmes questions reviennent, immanquablement. Pourquoi n'avait-on pas prévu une telle catastrophe ? Pourquoi autant de dégâts ? Et avec elles, que font nos scientifiques ? À l'ère des progrès technologiques toujours plus performants et de l'exigence toujours plus grande du risque zéro, le public a du mal à comprendre pourquoi l'on n'arrive toujours pas à prédire des phénomènes aussi destructeurs que les tremblements de terre. Des phénomènes susceptibles de libérer en quelques instants une énergie équivalente à plusieurs milliers de fois la bombe d'Hiroshima ! Et pourtant. Entre la recherche toujours en cours de signes avant-coureurs fiables et la prévision réussie, le chemin est encore long... Et le sujet complexe. Nous avons tenté de le rendre accessible à tous, à travers une lecture volontairement nomade, simple et attrayante, qui permettra à chacun de zoomer de façon sélective ou d'épuiser *in extenso* le contenu de l'ouvrage.

Après avoir exposé quelques notions élémentaires sur les séismes et tsunamis, le livre propose un état des lieux de la protection contre les risques sismiques et de la prédiction. Comme tout ce qui touche aux relations entre science et société, la prévision est un sujet extrêmement sensible, qui relève autant des sciences sociales que des sciences dites « dures ». Les aspects sociologiques et culturels, qui rendent si difficile la prévision, sont donc également évoqués.

Cette difficulté de prévision pose en effet de nombreuses questions auxquelles la communauté scientifique se doit de rendre compte.

Ces questions, ce sont en premier lieu celles du contribuable, qui s'inquiète à juste titre de savoir si les efforts des scientifiques, qui travaillent à ses frais, ne sont pas inutiles. Certes, si l'on n'arrive toujours pas à prédire la date, l'heure et le lieu des grands séismes, on sait en revanche comment déterminer les zones potentiellement menacées et on connaît les mesures à prendre pour limiter les dégâts provoqués par les tremblements de terre.

Ce sont aussi celles du citoyen, qui s'interroge sur la catastrophe d'Haïti ou de Fukushima. Que savaient vraiment les scientifiques ? Pouvait-on prévoir un tsunami d'une telle ampleur ? Un tel séisme peut-il se produire en France ?

Ce sont enfin celles du scientifique lui-même, qui se demande, comme tout un chacun, pourquoi on n'y arrive pas malgré les espoirs et les moyens mis en œuvre alors qu'on y arrive bien avec la météo ou les éruptions volcaniques. Les séismes seront-ils un jour prédictibles ? Et avec quoi ? Cette difficulté est-elle simplement due à l'état actuel de nos connaissances ou est-ce un domaine qui ne sera jamais prédictible ? Et si c'est le cas, quels sont alors les obstacles ? Les perspectives ?...

L'exercice de style requis par le parti-pris du question/réponse n'est pas facile. Il demande un véritable art de la vulgarisation que bon nombre de scientifiques pointus ont du mal à intégrer. Vulgariser, c'est aller à l'essentiel, accepter de laisser de côté bon nombre de connaissances qui paraissent toujours indispensables au sujet. Je remercie donc tout particulièrement Hélène, qui par sa plume de journaliste, m'a aidé et accompagné pour cette partition à quatre mains.

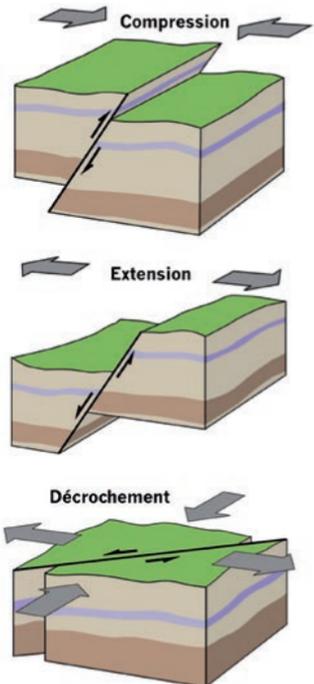
Que sont

les séismes et tsunamis ?

1 Qu'est-ce qu'un séisme ?

Notre planète est recouverte de plaques qui se frottent et s'encastrent les unes dans les autres comme un puzzle. Ces plaques, loin d'être immobiles, bougent et avancent sous l'effet des grands flux générés par la chaleur à l'intérieur de la terre. Cette chaleur crée des courants de convection, qui modifient les propriétés des roches et les fait entrer en mouvement, en entraînant du même coup les plaques situées au-dessus. Au sein de cette grande marmite, certaines plaques s'écartent. D'autres se rapprochent et entrent en collision. D'autres encore, glissent l'une sur l'autre ou coulissent l'une à côté de l'autre. Quel que soit le cas de figure, c'est là, aux frontières de ces plaques, que se produisent la plupart des séismes.

Mises sous contrainte pendant des centaines, voire des milliers d'années, les roches finissent par atteindre un seuil de rupture



Les différents types de faille

mécanique au-delà duquel elles ne peuvent plus résister. Elles cassent alors en libérant brutalement toute l'énergie accumulée, à l'image d'un élastique tiré jusqu'à la rupture. Si la secousse est violente, la rupture atteint la surface et crée des bouleversements physiques dans le paysage. Ce sont les tremblements de terre tels qu'on les connaît. Dans le cas contraire – et ce sont les séismes les plus nombreux – la secousse reste confinée en profondeur et personne ne la ressentira.

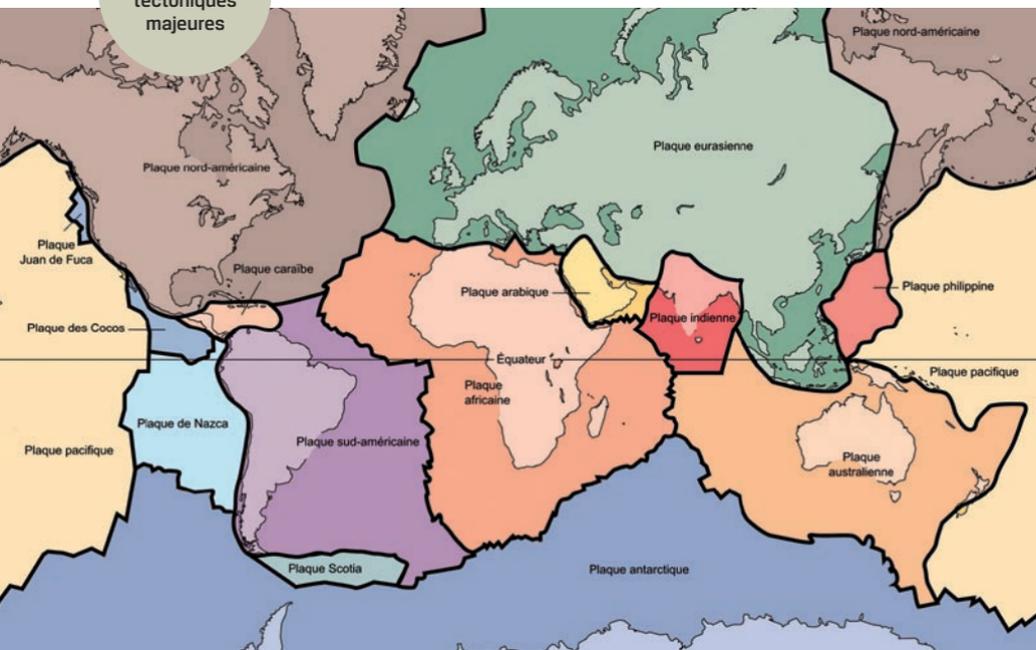
2 Où se produisent les séismes ?

Les séismes ne sont pas du tout répartis au hasard. Certaines zones du globe sont en effet plus actives que d'autres. La Sibérie, l'Afrique de l'Ouest, l'Australie, et le Nord de l'Europe sont des régions considérées comme plutôt stables jusqu'à présent. D'autres vivent en alerte rouge permanente, comme les zones de collision Afrique-Eurasie et Inde-Eurasie, le pourtour du Pacifique, l'arc des Antilles, l'arc indonésien...

Si l'on regarde une carte, on s'aperçoit que ces zones sismiques dessinent sur la Terre des lignes relativement étroites correspondant exactement au découpage des plaques tectoniques.

Ainsi, même si certains tremblements de terre dévastateurs peuvent se produire à l'intérieur des plaques, plus de 95 % des séismes se passent aux limites de ces plaques.

Carte des plaques tectoniques majeures



Le lien entre séisme et faille n'a été vraiment formalisé que très tard, en 1906. Le 18 avril de cette année, la région de San Francisco aux États-Unis est dévastée par un tremblement de terre de magnitude estimée à 8 et la ville, entièrement détruite. La commission d'investigation dirigée par H.F. Reid pour étudier les faits, rapporte que le séisme a été provoqué par un glissement de 5 à 10 mètres selon les endroits, sur une portion longue de 400 kilomètres de la faille de San Andreas ! Cette relation de cause à effet faille-séisme marque une avancée décisive des connaissances. Reste à comprendre un autre lien essentiel. Celui de ces failles avec la tectonique des plaques, tout un contexte général...

Quel est le lien entre séisme et faille ?

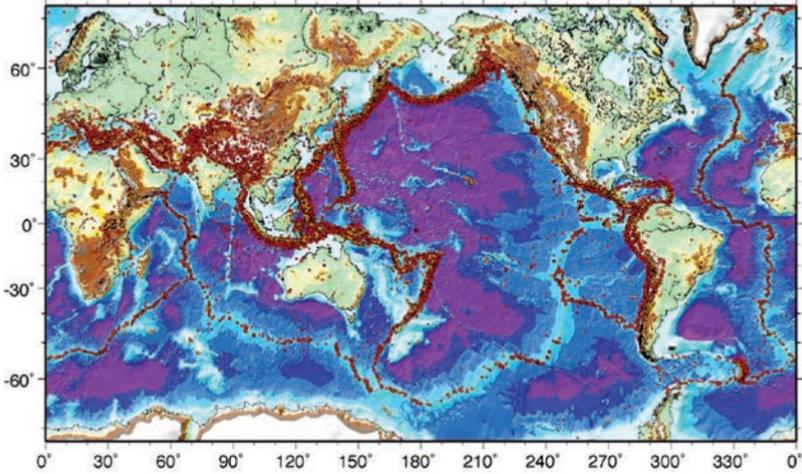
Au total, c'est près d'un million de séismes qui secoue la Terre chaque année ! Évidemment, la plupart sont de tout petits séismes parfaitement imperceptibles. Cent mille d'entre eux sont de magnitude 3 et 4, et un à deux seulement dépassent la magnitude 8. Quant aux séismes géants de magnitude 9, il n'y en a eu que deux depuis le début du xx^e siècle et probablement plus de 600 depuis la fin de la dernière période glaciaire, il y a 10 000 ans.

3 Les séismes sont-ils tous à la frontière de plaques ?

Non, pas forcément. Certains séismes se produisent à l'intérieur des plaques. Ce sont en général les plus difficiles à prédire sur le long terme et les plus dangereux en raison même de leur caractère singulier. Pour les scientifiques, de tels séismes restent des mystères. Comment se produisent-ils ? Selon quels mécanismes ? Un certain nombre d'hypothèses existent.

La première est liée à l'existence de failles cachées. L'histoire de la planète Terre est un éternel recommencement, les continents cassent, se disloquent, sont emportés par les tapis roulants formés par les plaques en mouvement, avant de se reformer. Or, il arrive parfois que ces continents se ressoudent à l'endroit même où ils ont cassé, comme une plaie qui se cicatrise. C'est là, dans ces anciennes zones de rupture (qui sont aussi des zones de fragilité) que se situent ces failles cachées. Reste que certaines sutures ne se réactiveront jamais. Et à l'inverse, certaines zones réactivées ne sont pas toutes d'anciennes sutures. Rien n'est jamais simple...

Plusieurs séismes relevant de cette hypothèse ont été identifiés. C'est le cas du séisme de magnitude 5.9 qui a frappé le



Carte de sismicité mondiale de 1973 à 2004

centre du Québec en 1988. Ou encore celui qui a eu lieu en août 2011 en Virginie à l'est des États-Unis, une zone au beau milieu de la plaque nord-américaine. Là encore, on pense à la réactivation d'anciennes failles inactives, ici liées à la chaîne de montagne des Appalaches. Plus proches de nous, le sud de la Bretagne ou la Vendée, par exemple, sont des zones sismiquement actives avec des séismes de magnitude 5, alors même qu'elles ne sont ni l'une ni l'autre en bordure de plaques ! La raison est simplement qu'il existe ici de nombreuses failles très anciennes qui sont réactivées régulièrement (la faille sud-armoricaine notamment) malgré les faibles contraintes. Tous ces paramètres complexes font qu'il est parfaitement imprudent d'affirmer qu'aucun séisme n'arrivera jamais dans ces régions que l'on considère actuellement comme stables.

Autre explication avancée pour certains séismes intra-plaques, l'existence de barrages qui, avec leurs alternances de niveaux pourraient, dans certains cas, modifier l'état de contraintes dans le sous-sol et déclencher un séisme.

Ces séismes, souvent mal compris, sont une véritable source d'angoisse pour les sismologues et les pouvoirs publics qui ne peuvent en aucun cas prévoir leur survenue. Outre les nombreux débats tournant autour de ce sujet, cette difficulté de prévision est aussi la porte ouverte aux prédictions les plus fantaisistes. En 1989, Iben Browning, un climatologue américain, sismologue autoproclamé, a créé un véritable vent de

L'un des cas de séisme intra-plaque les plus connus est celui de New Madrid, une ville des États-Unis localisée dans la vallée du Mississippi à la frontière du Missouri, de l'Arkansas et du Tennessee. Le 16 décembre 1811, New Madrid, qui était alors l'un des plus grands ports fluviaux du Nouveau-Monde, est dévastée par deux tremblements de terre à quelques heures d'intervalle. Et ce n'est pas fini ! Un mois plus tard, le 23 janvier 1812, un troisième séisme vient une nouvelle fois frapper la ville. Un quatrième intervient encore le 7 février suivant.

La notion de magnitude étant à l'époque encore inconnue, personne n'a été capable de quantifier ces séismes. Mais au vu des récits qui ont été faits, on sait aujourd'hui que ces quatre séismes ont été extrêmement violents. De magnitude estimée entre 7.2 à 8. Probablement parmi les séismes les plus destructeurs que les États-Unis (hors Alaska) aient jamais connus. Sous l'impact, des pans entiers de terrain se sont littéralement effondrés, de nouveaux lacs ont pris naissance et il semblerait même que des tronçons du Mississippi se soient, pendant un temps, écoulés en sens inverse. Certains écrits racontent également que les cloches des églises de Boston se seraient mises à tinter et que des trottoirs se seraient fissurés à Washington...

New Madrid,
l'archétype
du séisme
intraplaque

panique en annonçant l'imminence d'un prochain séisme à New Madrid (*voir encadré*) pour décembre 1990. En vain. Reste qu'avec un regain d'activité sismique depuis septembre 2010 et plus de 500 tremblements de terre enregistrés dans le centre de l'Arkansas, New Madrid est aujourd'hui une région plus que jamais sous haute surveillance.

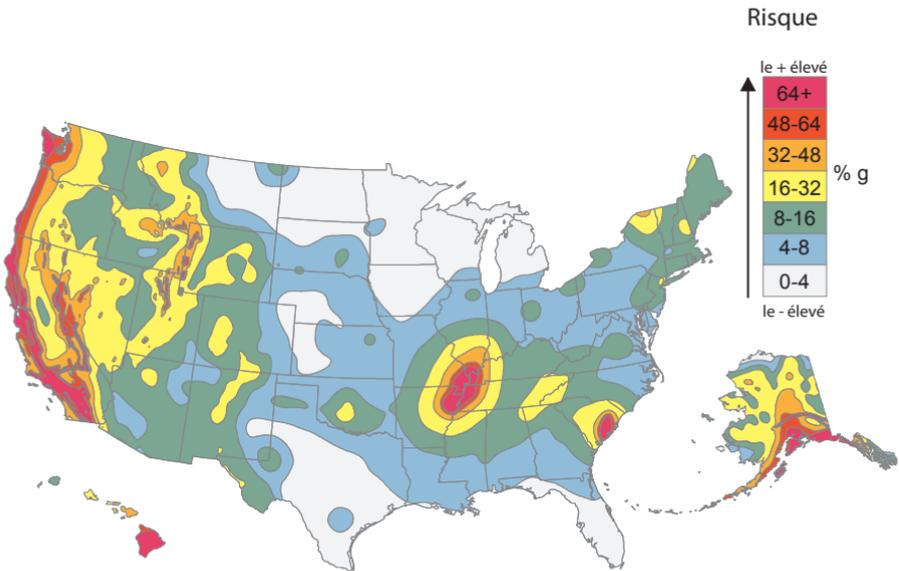
4 Séismes en frontière ou à l'intérieur de plaques, qu'est-ce que ça change ?

Les uns, aux limites de plaques, sont attendus, les autres non. Ce qui les distingue, c'est en effet la capacité que l'on a de les prédire. Les limites de plaques sont aujourd'hui relativement bien répertoriées et la plupart des grandes failles majeures connues pour représenter un risque pour les populations sont – plus ou moins bien – instrumentées. Ce qui n'est évidemment pas le cas des failles intra-plaques actives qui ne seront identifiées comme telles, que lorsqu'un séisme aura révélé leur dangerosité. Faute de révélateur, personne ne « devinera » l'existence de ces failles dormantes et aucune investigation ne sera menée.

Toutes les zones de séismes ne sont pas pour autant aussi facilement classables entre « séismes aux limites de plaques »

et « séismes intra-plaques ». Et toutes les limites de plaques ne sont pas des zones aussi franches que cela. Bon nombre d'entre elles sont en effet des régions où la sismicité est « diffuse », répartie sur de vastes étendues, si bien que la bande sismique à surveiller est plus large. C'est le cas de zones de collision continentale qui, à l'image du Tibet par exemple, s'étale sur une bande de plusieurs milliers de kilomètres de large, avec plusieurs fronts de déformation différents ! Même cas de figure dans le Bassin méditerranéen où la bande de déformation résultant de la collision entre l'Afrique et l'Eurasie, part de l'Atlas, recouvre les Aurès et la Sicile, les Apennins, les Alpes, les Balkans et l'Anatolie, jusqu'à l'Iran !... Autant dire une bande immense, presque impossible à surveiller, et pourtant en limite de plaques !

Pour estimer la probabilité d'occurrence d'un séisme, il faut en effet poser des balises de part et d'autre de chaque plaque pour calculer, à partir des informations transmises par GPS, la déformation du sol, et donc l'éventualité d'un futur séisme. Or, quand la zone de déformation est diffuse et que deux plaques se déplacent lentement l'une par rapport à l'autre, on ne peut pas parler de récurrence d'un séisme. Par exemple, si



Carte de l'aléa sismique aux États-Unis

les plaques se déplacent à raison d'un millimètre par an, il faut attendre 3 000 ans pour avoir une déformation de 3 mètres, susceptible de produire un séisme important à cet endroit. Beaucoup trop long pour élaborer le moindre calendrier prévisionnel ! Et dans ce cas, impossible de se fier aux catalogues de sismicité historique, ces inventaires des séismes passés.

5 Les séismes sont-ils toujours suivis de répliques ?

Oui, pour la plupart des gros séismes. Et elles terrorisent les populations. Après le choc principal, on assiste souvent à une série de secousses dont le nombre va progressivement diminuer. L'explication est mécanique. Après le premier séisme, la croûte terrestre se réorganise, les choses reprennent leur place et les contraintes libérées par la rupture vont être transférées sur le segment voisin. Si ce segment casse à nouveau, la rupture génère une réplique et transfère à nouveau les contraintes sur un autre segment et ainsi de suite. Trois mois après le séisme turc qui a détruit la ville d'Izmit le 17 août 1999 et fait près de 20 000 victimes, un second séisme s'est produit dans la ville voisine de Duzce, ajoutant plusieurs milliers de victimes au bilan de la catastrophe.



Le séisme de magnitude 7.3 qui a touché El Asnam (Algérie) le 10 octobre 1980 a été suivi d'une réplique de magnitude 6.3 qui a achevé de détruire la ville

Ces répliques générées par ce grand remue-ménage sont le cauchemar des sauveteurs car elles peuvent intervenir plusieurs jours, voire plusieurs mois, après le séisme avec une magnitude presque aussi forte et des effets aussi meurtriers. Déjà fragilisés par la secousse principale, certains bâtiments vont finir de s'effondrer alors même que les secours sont toujours à l'œuvre. La seconde réplique de 7.1 qui a frappé Tangshan le 28 juillet 1976 quelques heures après le premier choc du matin a achevé d'alourdir le bilan, alors même que 80 % des personnes coincées sous les décombres étaient en train d'être évacuées.

C'est souvent grâce à ces répliques que l'on peut comprendre comment s'est produit le séisme initial. Étudiées, auscultées de près par les sismologues qui, bien souvent se sont précipités sur les lieux pour installer leurs instruments, elles sont une source essentielle d'enseignement.

6 Y a-t-il un lien entre séismes et volcans ?

Une chose est certaine, séismes et volcans sont les deux conséquences d'une même cause, l'activité interne du globe. Ceci explique qu'ils vont souvent de pair, aux frontières de plaques. Lorsqu'une plaque plonge sous une autre, ça frotte et la chaleur dégagée fait fondre les roches avoisinantes. Les roches fondues remontent alors jusqu'à la surface où elles donnent naissance à des volcans. C'est ainsi que les zones de subduction sont, la plupart du temps, associées à des volcans. C'est le cas de la « ceinture de feu » du Pacifique qui va des Kouriles au Japon, des Philippines à la Papouasie, des îles Tonga à la Nouvelle-Zélande, puis le long de la cordillère des Andes, du Chili jusqu'au Mexique, et enfin du nord des États-Unis jusqu'au Aléoutiennes. C'est aussi le cas aux Antilles, en Indonésie, en Sicile, en mer Egée, etc. D'autres volcans, en revanche, ne coïncident avec aucune frontière et se trouvent à l'intérieur des plaques. C'est ce qu'on appelle le volcanisme de « point chaud », comme à Hawaï ou à la Réunion.

Mais, y a-t-il pour autant interaction entre séisme et volcan ? Certains séismes peuvent être liés à l'activité volcanique. En remontant, le magma fracture la croûte terrestre et peut engendrer un tremblement de terre. À l'inverse, un violent tremblement de terre peut dans certains cas servir de détonateur à une éruption volcanique en contribuant à faire « sauter