

l'ensemble des solutions faibles englobant celui des solutions régulières.

En 1933 et 1934, le mathématicien français Jean Leray a pu prouver l'existence de telles solutions faibles. Il a aussi démontré l'existence et l'unicité de solutions régulières, mais seulement pour des temps finis, c'est-à-dire sans pouvoir garantir que ces solutions ne deviennent pas singulières au bout d'un temps suffisamment long.

Trente ans plus tard, en 1964, les Japonais Hiroshi Fujita et Tosio Kato ont étendu le résultat de Leray avec une méthode beaucoup plus robuste, que nombre de mathématiciens ont adoptée. Les deux chercheurs ont ainsi prouvé l'existence et l'unicité de solutions régulières globalement en temps, mais pour des données petites (fluide proche de l'immobilité).

Un autre résultat important a été obtenu avec une méthode similaire à celle de H. Fujita et T. Kato : vers 1993, Marco Cannone et Yves Meyer, de l'Université de Paris-Dauphine, avec Fabrice Planchon, de l'École polytechnique, ont prouvé

qu'il existe des solutions régulières globalement en temps, pour des données fortement oscillantes.

Plus récemment encore, vers 2010, Jean-Yves Chemin, à l'Université Pierre et Marie Curie, et Isabelle Gallagher, de l'Université Paris-Diderot, ont présenté des classes de données, ni forcément petites ni forcément oscillantes, pour lesquelles les équations de Navier-Stokes ont une solution régulière globalement, dans tout l'espace.

Malgré des progrès, le problème résiste

Malgré ces avancées et d'autres, on ne dispose pas encore d'un énoncé général d'existence et d'unicité de solutions régulières. Les tentatives ont jusqu'ici échoué, car en essayant de passer de solutions faibles à des solutions régulières, des singularités apparaissent, comme celle évoquée à propos du seau d'eau.

Certaines études se sont donc concentrées sur l'évaluation de la quantité de

points où des singularités peuvent se développer. En 1982, l'Argentin Luis Caffarelli, l'Américain Robert Kohn et le Canadien Louis Nirenberg ont montré que l'ensemble de ces points est au plus de mesure nulle (cela signifie qu'il y en a éventuellement une infinité, mais qu'ils sont infiniment plus rares que les points où la solution est régulière).

Ce résultat a été sensiblement amélioré vers 2003 par l'Espagnol Luis Escauriaza et les Russes Gregory Seregin et Vladimir Šverák, qui ont étudié la régularité locale des solutions faibles de Leray et établi un critère permettant d'affirmer qu'une solution conduise à un *blow-up*.

Pour résumer, deux solutions sont envisageables au problème proposé par l'Institut Clay. Soit on montre que, sous des hypothèses réalistes, une solution régulière des équations de Navier-Stokes existe pour tous les temps, soit, au contraire, que des singularités apparaissent en général. Dans tous les cas, le résultat représentera un progrès considérable dans l'étude de ces équations aux dérivées partielles. ■



le collège
universcience
universcience.fr

Conférences
Le mardi à 18 h 30
Cité des sciences et de l'industrie

Des chimistes dans la société

À l'occasion de l'année internationale de la chimie, des chercheurs présentent une chimie au service de l'Homme.

10 mai
Comment parler de la chimie ? Ni en bien, ni en mal !
Pierre Laszlo, professeur de chimie honoraire à l'école polytechnique et à l'université de Liège.

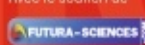
17 mai
D'où vient la peur de la chimie ?
Bernadette Bensaude-Vincent, professeure d'histoire et de philosophie des sciences à l'université de Paris-I Panthéon-Sorbonne.

24 mai
La chimie, pour percer le secret des œuvres d'art
Philippe Walter, directeur de recherche au CNRS, codirecteur du laboratoire du Centre de recherche et de restauration des musées de France.

31 mai
Les bioraffineries du futur
Franck Dumeignil, professeur des universités, membre de l'Institut universitaire de France, unité de catalyse et de chimie du solide, université de Lille.

Auditorium, entrée libre dans la limite des places disponibles
Programme complet : universcience.fr

Avec le soutien de



Le mégaséisme

Pierre Henry

Les sismologues n'avaient prévu ni le mégaséisme qui a secoué la grande île de Honshu au Japon, ni le raz de marée de 20 mètres de haut qui a suivi. Des mécanismes inédits jusqu'à présent sont en cause.

Le 11 mars 2011, une demi-heure après un mégaséisme, un raz de marée frappe la côte Nord-Est de la grande île nipponne de Honshu. Il atteint 20 mètres de haut face à certains endroits encaissés et 10 mètres à Sendai, la plus grande ville de la région. Ces amplitudes expliquent la terrible dévastation due à la vague, mais elles sont relativement modestes si l'on considère la violence inouïe du séisme qui l'a formée : sa magnitude est de 9, ce qui en fait le quatrième plus grand séisme jamais enregistré.

Pareille magnitude est une très mauvaise surprise : personne ne s'attendait à un séisme de cette ampleur à cet endroit. Comment cette possibilité a-t-elle pu échapper à la vigilance des sismologues, notamment de ceux qui furent consultés lors de l'implantation des centrales nucléaires de la région, dans les années 1970 ? Nous expliquons ici les origines de cette erreur d'appréciation et les implications de la nouvelle vision sismologique de la région qui émerge aujourd'hui.

Les Japonais nomment le tremblement de terre du 11 mars 2011 séisme du Tohoku. Ce terme, qui signifie Nord-Est en japonais, désigne la partie Nord de la grande île de Honshu secouée par le séisme. Bien connue pour sa constante activité sismique, la zone dont il provient – la fosse du Japon – se trouve au Nord du point triple du Japon, lieu où se rencontrent les plaques eurasiennne, philippine et pacifique (voir la figure 2). La subduction (plongement d'une plaque sous une autre) qui s'y produit depuis des millénaires engendre de nombreux séismes, parfois accompagnés d'importants tsunamis. Ainsi,



1. LE TSUNAMI DU 11 MARS 2011, consécutif à un mégaséisme, a emporté de nombreuses maisons de la ville japonaise de Natori, qui comptait plus de 72 000 habitants. Ces derniers n'ont eu que 30 minutes pour se mettre en sécurité après que le quatrième plus puissant séisme jamais enregistré a secoué leur ville.

de subduction du Japon



L'ESSENTIEL

- ✓ Le quatrième plus grand séisme jamais mesuré a eu lieu le 11 mars 2011 dans la fosse du Japon.
- ✓ Les sismologues ne s'attendaient pas à un tel séisme à cet endroit.
- ✓ Le Tohoku, la côte Nord-Est de la grande île de Honshu, avait été jugé assez sûr pour que l'on y plante des centrales nucléaires.
- ✓ La très grande longueur de faille qui a rompu montre qu'il faut désormais compter avec de tels mégaséismes au Japon.
- ✓ Les dépôts de tsunami retrouvés sur la plaine côtière de Sendai suggèrent qu'ils ont lieu tous les 1 000 ans environ.

© Kyodo/Xinhua/Xinhua Press/Corbis

en 1896, la moitié du Tohoku située au Nord de Sendai avait encaissé un raz de marée comparable à celui qui vient de se produire : sa vague excédait 25 mètres. Ce séisme a longtemps intrigué les sismologues, car la hauteur du tsunami était sans commune mesure avec l'intensité sismique perçue alors, ce qui introduisit un doute sur sa magnitude réelle. Comme celui du 11 mars 2011, ce tsunami était lié à la rupture d'une portion de faille proche de la fosse de subduction située à 120 kilomètres de la côte Nord-Est, là où la plaque pacifique s'enfonce sous le Japon à une vitesse d'environ neuf centimètres par an (voir la figure 2).

Soulignons que tous les séismes comparables à celui du Tohoku ont aussi été créés par le glissement brusque de failles de subduction. Dès lors, se demande-t-on, comment les sismologues ont-ils été

conduits à estimer que la zone de subduction située face à la côte Nord-Est du Japon ne produirait probablement jamais un séisme d'une telle magnitude ?

S'ils se sont laissés abuser, c'est parce que cette zone de subduction a une activité sismique régulière en apparence et distribuée sur l'ensemble de la surface de glissement (le plan de faille). De par le monde, on connaît en effet de nombreuses failles, ou segments de faille, qui n'engendrent que de petits séismes, les deux surfaces en contact ne coulissant pas forcément de façon constante, mais du moins sans grandes secousses. Le segment central de la faille de San Andreas, entre Hollister et Parkfield, en Californie, est dans ce cas. Il en serait de même de certaines failles de subduction, comme la fosse des Mariannes (connue pour sa profondeur de 11 000 mètres), dont, semble-t-il, la zone sismogène est très réduite.

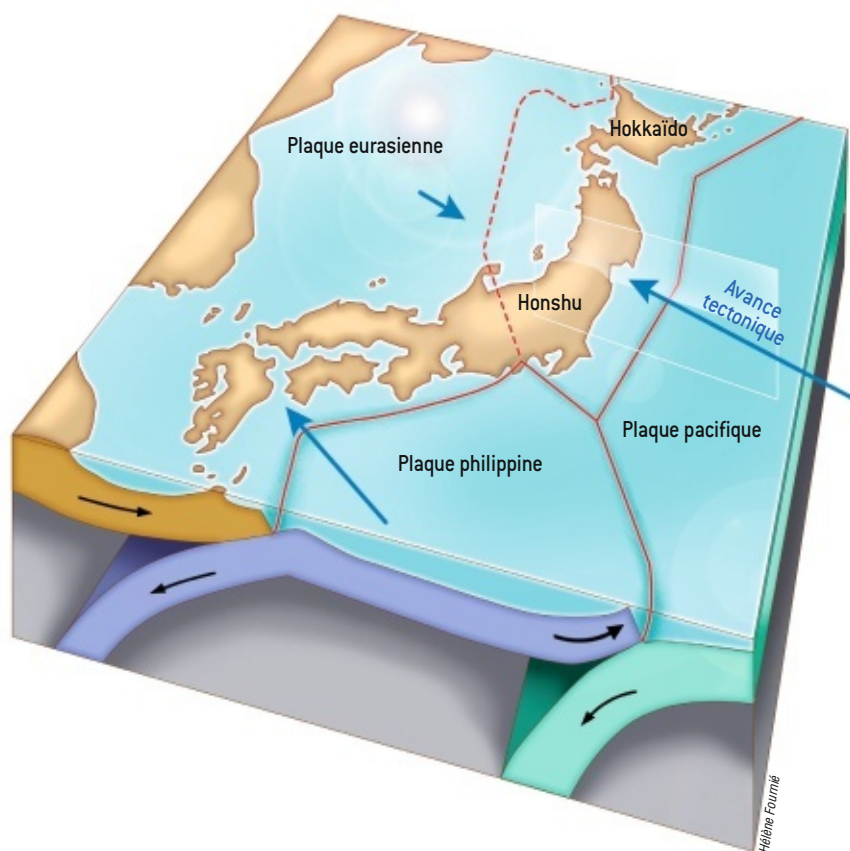
Toutefois, la plupart des failles de subduction produisent de gros séismes, tout en ayant le reste du temps une activité limitée à quelques essais de séismes bien localisés. On dit de telles failles qu'elles sont bloquées, c'est-à-dire que l'essentiel de leur subduction est compensé par le mouvement se faisant à l'occasion de rares mégaséismes. Ces événements majeurs sont suivis de nombreuses répliques. Quand ces mégaséismes arrivent avec une certaine régularité, on les qualifie de séismes caractéristiques. Tel est le cas de la faille de subduction de Nankai, où un *Big one* est attendu.

Premiers calculs du couplage sismique

D'autres failles encore ont un comportement plus complexe, qui ne facilite pas l'estimation du risque. Il en est ainsi de celle de la fosse du Japon. À la fin des années 1960, les modèles de tectonique des plaques avaient déjà fourni une bonne description de la subduction de la plaque pacifique. Les sismologues ont alors pu commencer à estimer le « couplage sismique », qui indique quelle fraction de l'avance de la plaque est compensée par les brusques glissements à l'origine des séismes. Le séisme du 11 mars 2011 aurait ainsi entraîné un glissement le long du plan de faille dépassant la vingtaine de mètres face à Sendai, qui s'est traduit par un déplacement de plusieurs mètres vers l'Est de la côte du Tohoku.

En 1977, Hiroo Kanamori, de l'Institut californien de technologie (Caltech), fut le premier à estimer le couplage sismique de la plaque pacifique. Il obtint un résultat de l'ordre de 25 pour cent, confirmé par tous les travaux qui suivirent. Ainsi, même si la faille de la fosse du Japon produit de forts séismes (jusqu'à 8,2 de magnitude), l'activité sismique est insuffisante pour compenser l'avance de la plaque pacifique. Plus on va vers le point triple situé au Sud, plus l'activité est insuffisante (voir la figure 2).

Dans la zone de subduction de la fosse du Japon, il n'y a donc pas assez de séismes pour compenser la progression de la plaque : les sismologues parlent de déficit sismique. Un détail rendait cette constatation plus inquiétante encore. Le plus gros séisme jamais enregistré dans la zone, le séisme de Sanriku en 1933 (8,4 de magnitude), ne s'est même pas déclenché sur le plan de subduction, mais



2. L'ARCHIPEL NIPPON se trouve sur la ceinture de feu. Cet alignement de volcans, qui borde le Pacifique par le Nord depuis l'Amérique du Sud jusqu'à la Nouvelle-Zélande, coïncide partout avec des frontières de plaques tectoniques et des failles. Au Japon, deux plaques tectoniques – la plaque pacifique au Nord et la plaque philippine au Sud – y passent sous la plaque eurasiennne et la plaque Nord-Amérique. Ces mouvements de subduction ont créé de profondes fosses à l'Est de l'archipel nippon : au Sud, la fosse de Nankai longe l'archipel jusqu'à la région de Tokyo ; elle est reliée par la fosse de Sagami au point triple du Japon, le lieu où se rencontrent les plaques eurasiennne, philippine et pacifique ; de là partent vers le Sud la fosse d'Izu-Bonin et vers le Nord la fosse du Japon. Des failles (en rouge) longent toutes ces fosses, où s'accumulent les contraintes créées par les mouvements de subduction et qui sont responsables de nombreux séismes.

de l'autre côté de la fosse sur la plaque pacifique. Il ne peut avoir contribué à la compensation du mouvement de subduction de la plaque pacifique.

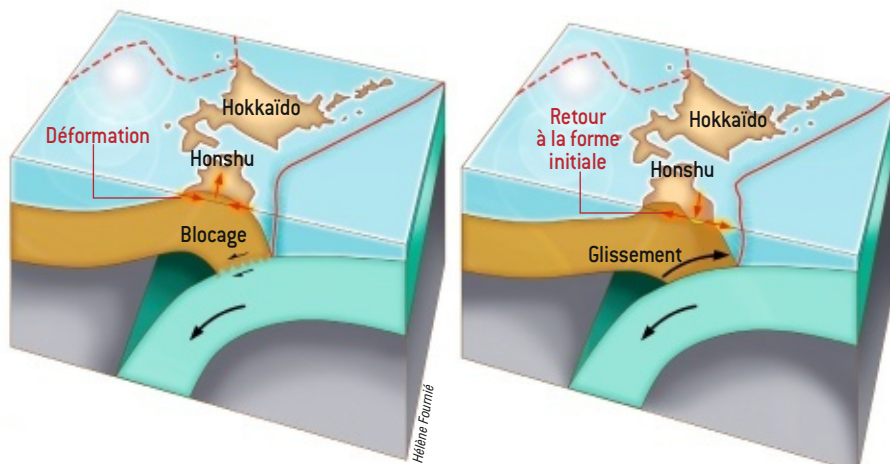
Les sismologues voyaient deux explications possibles au déficit sismique : soit l'essentiel de l'avance de la plaque est compensé par des glissements aismiques, c'est-à-dire sans secousses ; soit il manque de gros séismes dans l'historique sismique nipponne. Cette seconde explication passait pour improbable, l'histoire de l'activité sismique au Japon étant l'une des mieux connues au monde. Quatre événements majeurs sont connus pour la partie Nord du Tohoku (1896, 1677, 1611 et 869), mais aucun séisme majeur ne semble s'être produit dans la partie Sud depuis 800 ans au moins. C'est donc l'hypothèse d'un glissement au moins en partie aismique qui a été retenue.

La construction des six réacteurs nucléaires à Fukushima-Daïchi dans les années 1970, et de quatre autres à Fukushima-Daïni au début des années 1980, passa alors probablement pour une bonne idée par rapport à d'autres implantations dans l'archipel nippon...

La découverte d'une... faille dans cette logique viendra de la mesure de la déformation géométrique de l'île de Honshu. L'analyse des données de la géodésie classique (non satellitaire) a en effet révélé que depuis les débuts de l'ère Meiji (1868-1912), le Nord du Japon subit une déformation liée à l'accumulation des contraintes dues à la subduction. Or si seulement un quart (la valeur supposée du couplage sismique) du mouvement de la plaque pacifique était compensé par les séismes connus, cette déformation aurait dû être bien plus faible...

En 1994, les Japonais décident, notamment pour cette raison, d'implanter un réseau dense de stations GPS de surveillance satellitaire permanentes. En trois ans, 1000 stations sont opérationnelles. Les données qu'elles livrent confirment une importante déformation liée à l'accumulation de contraintes sur la faille de subduction.

Comment interpréter ce fait ? En 1983, James Savage, de l'Université Purdue aux États-Unis, avait donné les deux principes du raisonnement permettant de prévoir les effets de la subduction. Le premier est qu'à long terme, la croûte terrestre ne se déforme de façon notable qu'à proximité de la faille ; le second est que la déformation des blocs de part et d'autre de la faille est élastique et réversible.



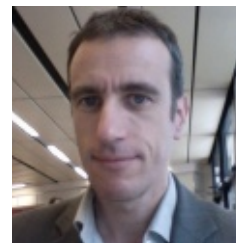
3. CES COUPES DE HONSHU ET DE LA FOSSE DU JAPON (plan de coupe indiqué sur la figure 2) montrent (à gauche) le blocage, avant le séisme, de la plaque pacifique sur la plaque eurasiennne portant l'île de Honshu, qui se raccourcit de plusieurs centimètres par an, tout en se bombant à mesure qu'elle accumule des contraintes et que le bord de la plaque eurasiennne plonge. Pendant le séisme (à droite) et juste après, ces contraintes se relâchent et l'île de Honshu reprend sa surface et sa forme initiales. C'est la brusque remontée du bord de plaque qui crée un tsunami.

La conséquence immédiate de cette logique est que si, pendant les périodes dénuées de séismes majeurs, l'archipel nippon a été contracté par la subduction (d'environ deux centimètres par an), il reprendra par à-coups la surface perdue à la faveur de grands séismes. Ainsi, au Japon, la déformation enregistrée en période intersismique détermine la proportion du mouvement de subduction qui se traduit par une déformation de la croûte ; cette proportion mesure le « couplage mécanique de la subduction ». Dans le cas d'une subduction aismique, ce couplage est nul ; il est de 100 pour cent quand le contact d'une croûte avec la plaque de subduction la bloque entièrement. Dans ce cas, la croûte ne peut que se déformer à mesure que progresse la plaque, phénomène qui trouve nécessairement sa limite un jour (voir la figure 2).

Couplage mécanique de 100 pour cent

Dans des travaux publiés entre 1998 et 2001, une équipe franco-japonaise, dirigée du côté français par Xavier Le Pichon, du Collège de France, a montré que le long du plan de subduction de la fosse du Japon, le couplage mécanique est de 100 pour cent. Selon ces chercheurs, cette valeur se maintient jusqu'à environ 50 kilomètres de profondeur, c'est-à-dire presque jusqu'à la verticale de la côte. Il résulte de cette découverte que le modèle de H. Kanamori d'un couplage sismique de 25 pour cent dans la fosse du Japon ne tient plus.

L'AUTEUR



Pierre HENRY, géophysicien, est directeur de recherches au CNRS et travaille au Centre européen de recherche et d'enseignement des géosciences de l'environnement (CEREGE), à Aix-en-Provence.

✓ BIBLIOGRAPHIE

S. Mazzotti *et al.*, Full interseismic locking of the Nankai and Japan - West Kurile subduction zones [...], *J. Geophys. Res.*, vol. 105, pp. 13159-13177, 2000.

K. Minoura *et al.*, The Jogan tsunami deposit and recurrence interval of large-scale tsunami on the Pacific coast of northeast Japan, *Journal of Natural Disaster Science*, vol. 23, pp 83-88, 2001.

En fait, tout se passe comme si l'arc insulaire japonais était un énorme bloc de caoutchouc qui se contracte sous la poussée de la plaque pacifique, et qui reprend entièrement sa forme lors d'un grand séisme. Si la subduction nipponne fonctionne ainsi, le couplage sismique dans la fosse du Japon, c'est-à-dire la fraction de l'avance de la plaque pacifique qui sera compensée par les futurs séismes, ne peut qu'être égal au couplage mécanique, c'est-à-dire à la fraction de l'avance de la plaque compensée par la déformation enregistrée en période intersismique.

De ces considérations, les sismologues ont déduit qu'une énorme énergie élastique s'accumulait dans la faille de la fosse du Japon, qui serait relâchée un jour, probablement par un grand séisme.

Toutefois, les circonstances du séisme de magnitude 7,6 qui se produisit en 1994 au Nord de l'île de Honshu les ont induits en erreur. Le réseau GPS japonais enregistre alors un vaste mouvement postsismique, qui crée l'impression que des mouvements asismiques sont possibles le long de la faille de la fosse du Japon. Naturellement, les sismologues se sont demandé si ces glissements sans secousses pouvaient absorber le déficit sismique. Ils ont vite incliné à le penser, quand, en 1997, Kosuke Heki, de l'Université d'Hokkaido, montra

que le mouvement postsismique qui se produisit dans le Tohoku équivalait à un séisme de magnitude 7,7!

L'explication suivante du déficit sismique de la faille de la fosse du Japon s'est alors imposée. Après chaque séisme, la plaque en subduction continue à glisser aux environs de la zone venant de rompre : elle dissipe ainsi le reste de l'énergie élastique stockée dans la déformation, avant de se bloquer à nouveau en quelques années. Même si l'existence de tels mouvements de relaxation est avérée, depuis le 11 mars 2011, il est clair que cette explication ne suffit pas !

Les aspérités d'un séisme

L'existence le long du plan de subduction de la fosse du Japon d'un couplage sismique proche de 100 pour cent est désormais établie. Du reste, des simulations réalisées récemment à partir des données GPS à l'*Earth Simulator* de l'Agence japonaise pour les sciences et technologies marines (JAMSTEC) l'ont confirmé – à la nuance près que, près du point triple du Japon, la plaque pacifique semble glisser sous la plaque eurasiennne.

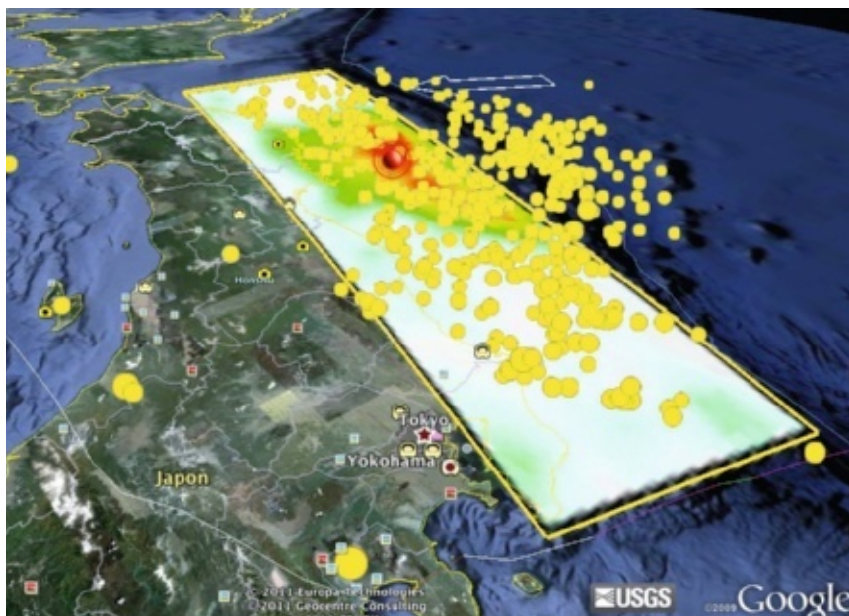
Malheureusement, ce genre de calcul ne permet pas d'anticiper l'étendue

des ruptures. Il faudrait pour cela connaître d'avance la longueur de faille concernée. Or non seulement on l'ignorait dans le cas du mégaséisme du 11 mars 2011, mais la possibilité d'une rupture affectant le plan de faille depuis le point triple (au Sud) jusqu'à la zone du séisme de 1896 (au Nord) n'avait pas été imaginée.

En effet, les sismologues considéraient cela comme improbable à cause de la segmentation supposée de la faille de la fosse du Japon. L'idée qu'une faille est segmentée en tronçons rompant indépendamment les uns des autres s'applique en effet souvent, tout particulièrement aux failles en décrochement (verticales et coulissantes), telle celle de San Andreas, aux États-Unis ; elle semble pouvoir l'être aussi à certaines failles de subduction. Ce serait le cas pour la faille de Nankai, où la subduction s'effectue le long de deux segments principaux, rompant en général à quelques heures ou quelques années d'intervalle, bien qu'il soit arrivé qu'ils rompent ensemble.

Il apparaît aujourd'hui que la faille de la fosse du Japon serait mieux décrite à partir de la notion plus floue d'aspérité. On désigne ainsi les parties du plan de faille où le glissement est le plus important lors des grands séismes (voir la figure 4). Ces zones de glissement maximal sont aussi censées être les zones de blocage maximal en période intersismique. La magnitude d'un séisme dépend alors aussi bien de l'étendue du plan de faille que de la taille de l'aspérité et de l'amplitude du mouvement.

Ainsi, le séisme de magnitude 9,1 du 26 décembre 2004 dans l'océan Indien a été provoqué par une rupture qui, durant neuf minutes, s'est étendue sur 1 200 kilomètres. Celui du Tohoku a été beaucoup plus bref et concentré : il semble que l'essentiel de l'énergie ait été libéré en trois minutes seulement par une rupture longue de 500 kilomètres. Plus précisément, les calculs réalisés par diverses équipes à partir des données sismologiques et géodésiques (GPS) montrent que des glissements de 20 à 40 mètres ont été atteints sur 200 kilomètres de part et d'autre de l'épicentre, situé face à Sendai. Mis en ligne sur le site Internet *Tohoku-oki* dédié au séisme du 11 mars 2011, plusieurs de ces résultats suggèrent en outre que la zone de fond de mer dont le mouvement a créé le tsunami a été d'extension réduite ; elle serait située près de la fosse, comme lors du séisme de 1896.



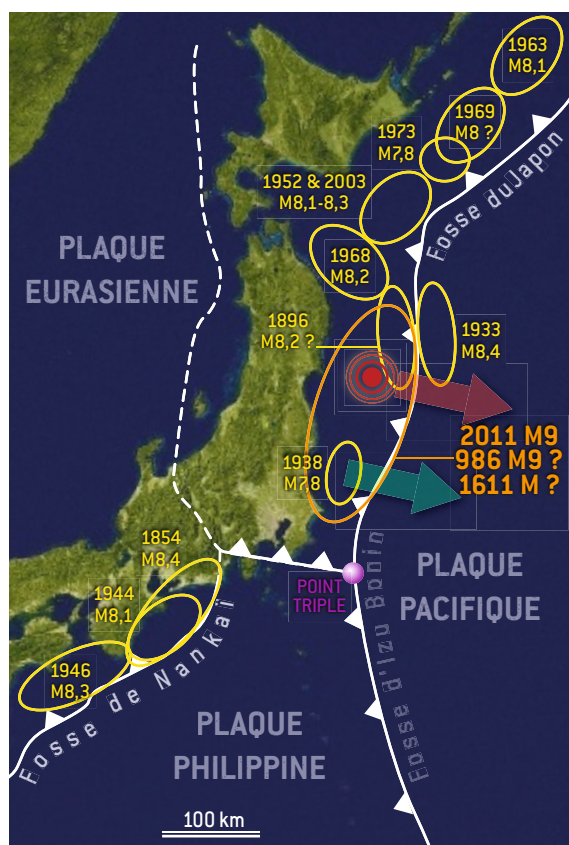
4. LE MÉGASÉISME DU 11 MARS 2011 résulte de glissements le long d'un plan de faille de plus de 500 kilomètres de long, dont la projection à la surface est marquée ci-dessus par un cadre jaune. L'aspérité de la faille mise en jeu par le séisme, c'est-à-dire la zone où les mouvements ont été maximaux – supérieurs à dix mètres –, est indiquée en rouge et vert ; elle ne mesure que 200 kilomètres de long. Tandis que l'épicentre du séisme est signalé par un gros point rouge, les répliques le sont par des points jaunes.

Que peut-on déduire de ce tableau quant à la fréquence des mégaséismes sur la faille de la fosse du Japon ? À une vitesse de subduction de neuf centimètres par an et si l'on suppose que seulement un quart du mouvement est compensé par les séismes séculaires, un mouvement de 20 à 30 mètres correspond à quelque 300 ou 400 ans d'accumulation de contraintes sur la faille, et donc à un intervalle inter-sismique au moins aussi grand.

Par ailleurs, le suivi sismographique depuis 1896 avait plutôt conduit les sismologues à définir des zones de rupture d'une taille de 100 à 200 kilomètres de long. Le plan de rupture du mégaséisme du 11 mars 2011 est bien plus long et son aspérité s'étend – sans les recouvrir complètement – sur les zones de rupture de plusieurs séismes précédents. Il apparaît en plus que la partie centrale de la rupture (là où le mouvement fut maximal) semble s'être déjà à nouveau bloquée, tandis qu'un mouvement postsismique accompagné de nombreuses répliques a commencé au Sud, qui rappelle celui observé au Nord en 1994.

Risque augmenté sur la plaque pacifique

Tous ces mouvements ne peuvent qu'avoir modifié la répartition des contraintes dans la croûte autour de la zone de rupture. Il en résulte une augmentation du risque de séisme dans la plaque pacifique (de la même façon que le séisme de 1896 a favorisé le séisme de 1933) et sur les parties adjacentes du plan de subduction, où se produisent aussi des répliques. Plus au Sud, les fosses de Sagami, où s'est produit le grand séisme de Kanto, en 1923, et de Suruga, où le dernier séisme date de 1854, sont également dans la zone d'influence. La situation y est cependant compliquée par la présence du point triple. Les calculs effectués montrent que l'évolution peut être différente sur chaque portion de faille ; il en résulte que sans carte précise du glissement, il n'est pas encore possible d'apprécier l'évolution du risque dans cette région.



5. L'HISTOIRE SISMIQUE JAPONAISE est bien documentée. Les zones concernées par les séismes de subduction les plus récents sont reportées sur cette carte tectonique du Japon (on a indiqué pour chacun d'eux, l'année du séisme et sa magnitude). On note que deux séismes centenaires, l'un sur la plaque eurasiennne (1896) et l'autre sur la plaque pacifique (1933) ont précédé le mégaséisme du 11 mars 2011. Deux séismes millénaires (986 et 1611) semblent aussi avoir été des mégaséismes. Tandis que le glissement maximal vers l'Est de la plaque eurasiennne (mouvement cosismique) pendant le mégaséisme est indiqué par une flèche rouge, le mouvement qui a suivi au Sud (mouvement postsismique) est indiqué par une flèche verte.

Quoi qu'il en soit, le séisme du 11 mars 2011 montre que des ruptures géantes sont possibles sur la faille de la fosse du Japon. Cette possibilité était déjà présente à l'esprit de certains chercheurs nippons, qui l'avait proposée pour la fosse des Kourilles (qui prolonge celle du Japon au Nord)... Une étude de chercheurs de l'AIST (le Centre national pour la science et la technologie avancés, le plus grand organisme de recherche du Japon) a en effet montré en 2003 que les dépôts de sable laissés sur certaines côtes japonaises par des tsunamis préhistoriques pouvaient s'étendre en plaine plusieurs kilomètres à l'intérieur des terres. Pareils dépôts sont sans commune mesure avec les traces laissées par les tsunamis des séismes de 1952 et 1973, pourtant de magnitude respectable (8,1 et 7,8). Les chercheurs de l'AIST proposaient donc

que des séismes millénaires géants, correspondant à la rupture simultanée de deux segments ou plus de la faille, se sont produits occasionnellement au cours des derniers millénaires, en plus de séismes séculaires dans chaque segment.

La subduction des Cascades, face à la côte de l'Amérique du Nord, entre l'île de Vancouver et le Nord de la Californie, fournit un cas remarquable d'un tel mégaséisme à venir. Malgré notre connaissance limitée de l'histoire sismique de la région, les sismologues ont pu montrer que l'on doit s'attendre à des séismes de magnitudes supérieures à 9 et aux tsunamis d'une trentaine de mètres correspondants. Toutefois, les intervalles entre ces mégaséismes restent mal définis. Un tsunami arrivé au Japon le 26 janvier 1700, et qui n'avait pas été précédé d'un tremblement de terre, a cependant permis de connaître la date du dernier. La probabilité qu'un tel mégaséisme se produise dans les 50 ans à venir serait de dix pour cent.

Dans la fosse du Japon face au Tohoku, les séismes de 1611 et de 869 pourraient correspondre à de tels événements. Des travaux menés par l'Université de Sendai ont mis en évidence en 2001 que le séisme de 869 a produit un grand tsunami dans la baie de Sendai, lequel a laissé des dépôts de sable jusqu'à quatre kilomètres à

l'intérieur des terres. Les chercheurs ont montré que de tels événements exceptionnels se sont produits tous les 1 000 ans environ aux époques préhistoriques, et conclu que le suivant était imminent. Il a eu lieu le 11 mars 2011.

S'il y a désormais un consensus sur ce point, quelles conséquences pratiques en tirer ? Peut-on se protéger contre un tel mégaséisme et son tsunami ? D'un point de vue sismologique, l'histoire de la recherche sur la subduction de la plaque pacifique sous le Japon montre qu'il faut réévaluer régulièrement l'aléa sismique en fonction des nouvelles connaissances. Plus globalement, il se confirme une fois de plus que la pertinence des modèles scientifiques et de leurs prévisions dépend des ingrédients que l'on y met. Or on sait rarement tout d'avance...

Rendez-vous sur www.pourlascience.fr

- Retrouvez gratuitement les actualités scientifiques quotidiennes.
- Recevez nos lettres d'information et réagissez aux articles en vous inscrivant sur le site.
- Recherchez et commandez les archives parues depuis 2004 de *Pour la Science* et des *Dossiers Pour la Science*.
- Accédez aux numéros numériques compris dans votre abonnement en créant votre compte.



À très bientôt sur www.pourlascience.fr !

POUR LA
SCIENCE.fr

Le site de référence de l'actualité scientifique