

Tremblements de terre

La prédiction est-elle possible ?

D'après une émission de France-Culture
Une ré-écriture libre de l'interview de Michel Campillo

Peut-on prévoir aujourd'hui mieux qu'hier un séisme ?

Pour prévoir un événement, il faut bien comprendre les phénomènes qui l'ont déclenché.

Les progrès effectués dans les sciences de la terre ont permis de grandes avancées dans la connaissance des phénomènes géologiques à l'origine des séismes.

La sismologie en tant que science des ondes qui se propage dans la terre est née il y a un peu près un siècle, les premiers enregistrements datent de 1889.

On peut situer l'émergence de la science en tant que telle, avec l'organisation afférente, aux Etats-Unis après le grand tremblement de terre de 1906 de San Francisco.

Et à cette époque là, qu'est-ce qui a déclenché cet intérêt ?

C'est la quantité de dégâts qu'a provoqué ce séisme !

Les gens ont compris à ce moment là l'impact que pouvait avoir sur le développement d'une région ce genre d'événement.

Le gouvernement américain, animé par une volonté politique réelle, a donc favorisé le développement de toutes les disciplines, à la fois scientifiques mais aussi d'ingénierie, qui pouvaient permettre de réduire les conséquences des tremblements de terre.

Quels étaient les éléments scientifiques déjà connus ?

On avait bien sûr des éléments par les observations directes qui avaient été faites dans le passé ; en particulier, on avait associé le jeu des failles (que l'on peut voir en surface parfois lors des grands tremblements de terre) avec le séisme.

Avant le grand tremblement de terre, les objectifs étaient fondamentalement d'essayer de comprendre la structure profonde

de la terre, et de mettre en évidence l'existence de structures internes comme le noyau.

C'est ce qui va occuper les sismologues pendant très longtemps.

Le tremblement de terre de San Francisco va les pousser à se tourner vers le problème des séismes proprement dits et de leur mécanisme.

L'association des failles vue en surface et des signaux sismiques s'est alors imposée de façon relativement évidente.

Par contre, il va falloir attendre les années pour voir se développer une théorie des sources sismiques qui permettra d'avoir une vision moderne comme la quantification de la mesure des séismes ; l'approche rationnelle du phénomène est une notion récente.

En fait, l'observation directe a été relativement difficile à mettre en œuvre avec la physique des ondes, et c'est quelque chose de finalement relativement récent que d'avoir des modèles qui intègrent les observations géologiques et les observations sismologiques.

Et la tectonique des plaques ?

La tectonique des plaques, qui est un concept beaucoup plus large que simplement sismologique, va offrir le cadre de la compréhension des mouvements relatifs des différents éléments du puzzle que constitue la croûte terrestre.

Cette théorie va permettre de comprendre pourquoi les tremblements de terre se produisent à certains endroits, avec certaines géométries et pourquoi ils ne se produisent pas à d'autre. C'est un très grand progrès pour l'interprétation de ces phénomènes.

C'est aussi un progrès qui nous permet, en mesurant les mouvements relatifs de ces plaques d'avoir quelques idées sur le danger potentiel que représente une région.

Quels sont les développements technologiques qui ont permis d'améliorer toutes ces mesures ?

Le développement des observations spatiales de la terre tient une place prépondérante dans les avancées scientifiques récentes.

Cela s'est fait à plusieurs niveaux :

- D'abord, sur l'observation directe de la surface avec des images bien connues, comme les images « Spot », qui ont permis de mettre en évidence des structures de surface (des grandes failles qui

n'avaient pas pu être vues auparavant parce que l'homme ne disposait pas d'échelle adéquate pour les voir).

- Ensuite le spatial va surtout apporter de grands progrès en terme de géodésie, en permettant de systématiser les mesures des mouvements de la surface de la terre avec le GPS.

- Enfin, plus récemment, de nouvelles techniques (tel l'interférométrie radar développée au CNES) permettent de cartographier les mouvements de la planète et donne des visions nouvelles sur la façon dont notre planète vit.

Et quels sont ces éléments nouveaux par rapport à ce que l'on connaissait jusqu'à présent ?

On a pu mesurer et quantifier le fait qu'en quelques dizaines de millions d'années, deux plaques s'étaient rapprochées.

Aujourd'hui, elles se déplacent à une vitesse que l'on peut mesurer, que l'on peut vraiment préciser.

Ces nouvelles techniques nous ont permis également de montrer que les failles, ces zones où se concentrent les glissements, jouent un rôle déterminant dans la déformation globale.

Enfin, elles devraient nous permettre de vaincre un peu l'opacité de la terre, et pousser vers l'intérieur les observations de surface.

Qu'est-ce qu'on possède aujourd'hui comme information sur ces éléments profonds, justement ?

On sait par exemple que la partie fragile de la croûte se limite à une quinzaine de Km en domaine continental, c'est à dire, qu'en dessous, il n'y a pas de séisme proprement dit.

Les séismes sont la signature superficielle de quelque chose qui se passe de façon beaucoup plus profonde. Le moteur de la tectonique des plaques provient du fonctionnement thermique de la planète et met probablement en jeu l'intégralité du manteau et de la croûte.

Les mouvements de cette partie cassante, ce « plancher des vaches » que nous pouvons voir et ressentir, ne sont que que la résultante de ces grands mouvements qui existent en profondeur.

Le séisme est un phénomène brusque et très bref ; n'est-il pas extrêmement difficile de l'étudier ?

Oui absolument, le tremblement de terre est un phénomène extrêmement bref à la source : quelques secondes, quelques dizaines de secondes pour les événements les plus grands.

Et bien sûr, ce temps doit être mis en relation avec la vitesse de chargement de la tectonique de plaques, qui est un phénomène extrêmement lent à l'échelle de la vie humaine : on parle alors de phénomènes qui vont se préparer pendant des centaines, des milliers, voire des dizaines de milliers d'années et aboutir en un processus qui ne dure que quelques secondes.

Ce problème là, c'est essentiellement la sismologie qui va nous permettre de le résoudre, c'est à dire l'observation des mouvements en surface, l'enregistrement des ondes qui sont émises.

A partir de ces ondes, on a développé des techniques qui s'apparentent un peu à des techniques d'imagerie médicale et qui permettent de reconstituer, comment, sur une faille, la rupture va se propager, comment elle va se développer vers la profondeur, comment éventuellement plusieurs segments vont inter-agir : on va voir la rupture sauter d'un segment à l'autre !

C'est quelque chose que l'on ne peut faire que depuis très peu d'années.

Aujourd'hui on dispose d'instruments très précis et très fiables pour la mesure des vibrations, mais également, on peut intégrer toutes les données dont on a déjà parlé, qui proviennent de la géodésie.

C'est un peu une vision nouvelle qui s'offre à nous, une vision dans laquelle on dispose du scénario d'un séisme, le moment où la rupture va commencer, comment cela va se développer...

Tout cela est extrêmement précieux parce que c'est ce qui va nous servir de données de base pour essayer de faire des modèles numériques à partir desquels on peut contraindre les différents paramètres mécaniques qui sont en jeu dans ces processus.

C'est un élément indispensable si on veut aller vers une compréhension complète du phénomène mais aussi si on veut vraiment se poser des questions sur la prévision des séismes.

Est-ce que ces grands progrès qui sont faits dans la reproduction du séisme et de sa compréhension, permettent de prévoir mieux qu'avant ce type d'événement ?

Alors je dirai que malheureusement, non, nous ne sommes toujours pas capables de prévoir les tremblements de terre.

La vraie question qui est posée depuis quelques années par les théoriciens de ce domaine est plutôt celle de la prévisibilité.

Est-ce qu'on peut prévoir les tremblements de terre ? C'est une vraie question.

Sommes-nous simplement dans un état de développement qui ne permet pas de le faire, ou bien est-ce un processus qui n'est pas prévisible ? c'est une des grandes questions du moment et c'est une vraie question.

Il faut bien voir qu'il y a des fondements objectifs au fait que l'on ne sache pas prévoir les tremblements de terre.

Cette imprévisibilité existe dans la nature. Elle existe avec beaucoup de phénomènes qui ont été étudiés, en particulier par les physiciens depuis quelques années. On peut penser par exemple aux problèmes des tas de sable sur lesquels on fait tomber des grains de sable. On sait qu'à partir d'une certaine hauteur du tas, le système devient critique et il peut dégénérer en une cascade qui peut être une grande cascade, une petite cascade, un effondrement global et que la taille de l'effondrement est imprévisible. Chaque élément joue un rôle et on ne peut pas connaître tous les éléments et donc on est dans des situations où objectivement on a affaire à des phénomènes imprévisibles.

Un nombre tout à fait considérable de sismologues pense que les séismes relèvent de ce type de processus, et que, par conséquent, il est vain de vouloir trouver des précurseurs à des phénomènes qui sont intrinsèquement imprévisibles.

Pour prévoir les séismes, on a tenté d'utiliser le comportement des animaux, ainsi que d'autres méthodes, plus scientifiques, comme la méthode VAN.

Ces pistes vous semblent-elles présenter un intérêt ?

On peut dire pour le moment que l'on ne dispose pas de méthode opérationnelle pour prévoir les tremblements de terre.

Toutes les approches qui ont été suivies dans la recherche de précurseurs, ont manqué singulièrement de fondements physiques pour expliquer la méthode qui a été suivie.

Aujourd'hui, on sait par exemple que le comportement des animaux, quand il a pu être étudié de façon quantitative, n'a pas réellement montré qu'il y avait des signes avant-coureurs des tremblements de terre.

On a toujours pu trouver un exemple où il s'était passé quelque chose mais il n'y a pas d'approche systématique pour décrire des phénomènes précurseurs.

La méthode VAN donne toujours lieu à des discussions importantes. Elle est basée sur l'enregistrement de signaux électriques que ses auteurs pensent être associés à la préparation d'un tremblement de terre.

Beaucoup de scientifiques ont des oppositions très fermes sur cette méthode, à la fois sur la physique de la propagation des ondes électriques dans la terre mais aussi sur les statistiques de succès qui sont très discutées.

Donc disons au mieux, qu'il s'agit de travail en cours et que peut-être on verra apparaître des résultats dans le futur.

Ceci dit, il ne faut pas être trop négatif. Il y a aussi quelques raisons de penser que dans un milieu qui a des propriétés mécaniques bien connues d'élasticité, c'est à dire d'interaction à longue distance, il est aussi possible qu'effectivement il y ait des signes mécaniques avant-coureurs qui pourront un jour être mesurés.

On sait bien que pour la plupart des grandes découvertes, il y eut beaucoup de gens pour dire que c'était impossible ; Il ne faut pas tomber non plus dans ce biais là

C'est une vraie question, on n'est pas du tout sûr d'y arriver mais c'est une question ouverte et ce n'est pas plus que cela.

Mais toutes les connaissances que l'on acquiert sur ces phénomènes, nous permettent de réduire les risques qui sont associés ?

Oui absolument, l'expérience des tremblements de terre, et en particulier des tremblements de terre récents, a montré que la vulnérabilité d'une cité, par exemple, est très dépendante des conditions du sous-sol avec des descriptions qui sont cette fois relativement simples et à notre portée.

On connaît les exemples célèbres comme celui du grand tremblement de terre du Mexique de 1985 qui avait fait des dégâts considérables, un nombre très important de victimes à Mexico qui se situe à 300 km de distance de la zone épi-centrale.

La cause de la catastrophe est très claire :

Mexico est construit sur un lac asséché. Ce lac est sujet à des résonances, des échos qui amplifient énormément les mouvements ; bien entendu les dégâts se sont entièrement concentrés dans cette région là, alors que d'autres villes, situées plus près de l'épicentre, n'ont subi aucun dommage !

On voit bien dans cet exemple, l'importance des décisions d'aménagement, et de constructions sur ces phénomènes.

Ce n'est donc pas un message négatif que je veux donner :

Les dégâts ne sont pas simplement conditionnés par la proximité d'une faille et le jeu d'un tremblement de terre particulier, mais très largement sur les conditions dans lesquelles a été établi une ville et le type d'aménagement qu'on y décide.

Cela veut-il dire qu'il suffirait d'analyser les sols, les régions où l'on veut construire pour adapter les constructions au type de sol où ils doivent prendre place ?

C'est une mesure qui n'est pas du tout une mesure absolue, mais qui permettrait de limiter les effets.

On n'empêchera pas les tremblements de terre, on empêchera pas qu'il puisse y avoir des dégâts très importants sur des bâtiments au voisinage d'une faille, mais on pourrait au moins, en adaptant l'aménagement, obtenir, une amélioration de la position de nos villes par rapport à ce risque.

Est-ce cela que l'on appelle le micro-zonage ?

Oui, absolument, c'est bien cela dont il s'agit

La chose importante c'est que ces techniques mettent en jeu cette fois des concepts scientifiques qui sont bien compris, bien maîtrisés. On est capable d'analyser la structure des sols (l'industrie pétrolière nous donne des exemples magnifiques d'imagerie à grande profondeur). On sait calculer la propagation des ondes dans des milieux, même relativement compliqués. Là encore, c'est un travail d'ingénierie, qui est bien compris.

Donc, on a une réponse qui est à portée de main, alors que quand on parle de prévisions, on navigue beaucoup plus dans les spéculations théoriques.

Ici on est vraiment dans un domaine où on peut imaginer des applications relativement rapides.

Est-ce que d'autres séismes, comme celui de Kobe par exemple, ont apporté d'autres types de connaissance ?

Kobe est un port, au bord de la baie d'Osaka et a montré l'importance des phénomènes de liquéfaction des sols qui ont été absolument massifs avec beaucoup de dommage sur le port. Mais typiquement Kobe a plutôt confirmé ce que l'on pouvait penser après les tremblements de terre qui s'étaient produit, à la fois à Mexico et à San Francisco et qui avaient montré l'importance des effets locaux.

D'ailleurs, la construction parasismique moderne sait parfaitement prendre en compte ce type de phénomène : à Kobe, il n'y a eu aucun effondrement de bâtiments qui avaient été construits selon les nouvelles règles en vigueur à l'heure actuelle au Japon.

Alors, peut-on imaginer une protection presque totale ?

Le problème qui se pose est le choix d'un niveau de protection en fonction du coût qu'il engendre.

Une réponse « massive », qui serait de construire en para-sismique de très bonne qualité tous les bâtiments, serait une réponse extrêmement coûteuse dans une société qui a d'autres choix à faire et d'autres priorités.

Donc on cherche plutôt à trouver une solution intermédiaire, qui serait une solution tenant compte de l'aménagement du territoire et dans laquelle on pourrait limiter effectivement les dangers sans se lancer dans un rêve de programmation de construction extrêmement coûteuse.

Bien sûr, il y a de la construction para-sismique en France et il est sage d'y recourir dans les zones particulièrement exposées.

Mais on ne peut pas imaginer qu'à l'échelle d'un pays où le risque est modéré, l'on puisse se lancer dans une opération d'envergure nationale en matière de construction parasismique.

En matière de vulnérabilité, les facteurs humains et d'organisation sociale sont-ils déterminants ?

Oui, tout à fait, et l'exemple de Kobe est significatif à cet égard.

On cite souvent le Japon comme modèle de pays développé, d'organisation sociale, d'efficacité et on a vu avec Kobe une véritable catastrophe : un nombre de bâtiments détruits très important, un feu qui se développe pendant plusieurs jours sans que l'on arrive à l'éteindre et puis des gens qui doivent faire la queue pour avoir de l'eau ou de la nourriture..

Les Japonais ont été très choqués par la vulnérabilité qui était démontrée par ce séisme.

Il faut ajouter à cette fragilité de nos sociétés modernes et complexes, le fait que l'on voit pousser d'énormes mégapoles comme Mexico avec ses 20 millions d'habitants.

Ces grandes agglomérations enflent de manière incontrôlée, poussées par la nécessité, et le niveau de vie de la grande majorité des nouveaux arrivants rend toute protection parasismique illusoire.

Cette concentration urbaine est en œuvre à peu près partout sur la planète ; de plus, ces grandes villes sont très souvent construites dans des vallées sédimentaires qui, malheureusement, sont précisément exposées au risque sismique.

On peut malheureusement craindre que les grands tremblements de terre du futur aient des effets catastrophiques, encore plus que ce que l'on a connu.

Si on veut être un peu prospectif, on peut se demander comment la concentration des moyens de production, la concentration des richesses dans certaines de ces grandes villes, n'aura pas de conséquence globale.

Peter Hatfield, dans un livre de fiction scientifique, décrit l'influence économique globale qu'aurait un grand tremblement de terre à Tokyo et ses implications au long terme, en particulier pour les pays du Tiers Monde.

Il étudie l'effet d'une telle catastrophe pour l'économie japonaise, pour les banques japonaises qui devront mobiliser d'énormes fonds pour la reconstruction, et les impacts globaux, en particulier, pour tous les clients du Japon et pour tous les pays qui dépendent du système financier japonais.

Pour ces pays là, on voit qu'il y aura des conséquences économiques négatives très importantes pendant plusieurs années. Bien entendu, il ne s'agit que d'une projection, mais cela donne une idée de l'implication globale d'un grand séisme dans le futur.