

ALERTE PRÉCOCE

Pour l'instant, la prédiction des séismes est impossible. En revanche, des initiatives voient le jour partout dans le monde afin d'être en mesure de faire de l'alerte précoce, c'est-à-dire être prévenu quelques instants avant l'arrivée des ondes sismiques sur la région exposée. L'intérêt de tels dispositifs est d'arriver à prendre des mesures rapides afin d'atténuer certaines conséquences ou effets indirects du séisme qui amplifient les pertes humaines et économiques.

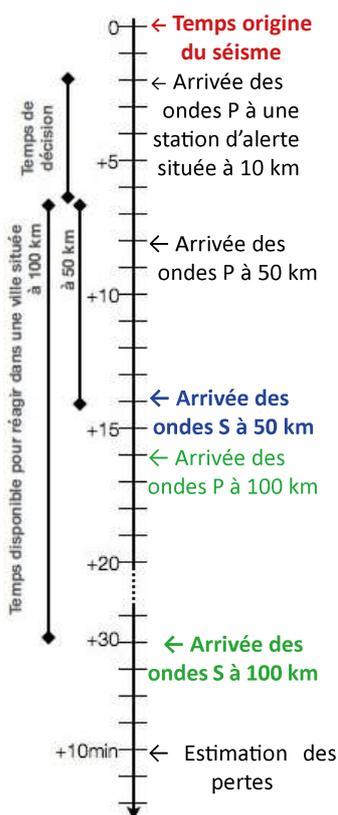
QUELQUES SECONDES OU MINUTES POUR RÉAGIR

À la différence d'autres risques naturels qui peuvent compter sur des prévisions ou des signes précurseurs suffisamment fiables, donnés par des réseaux terrestres ou des images satellites, **aucun signe précurseur n'a été jusqu'à maintenant validé scientifiquement pour prédire l'occurrence imminente d'un tremblement de terre.** Cependant, il est possible de s'appuyer sur certains processus physiques connus concernant les tremblements de terre et la propagation des ondes pour tenter une alerte.

Donner l'alerte est impossible sans les avancées technologiques de ces vingt dernières années qui ont vu les réseaux de surveillance sismologique se moderniser rapidement. La généralisation du transfert en continu des enregistrements du mouvement du sol vers les centres opérationnels rend possible une **surveillance permanente** et **le développement de solutions** de plus en plus efficaces, qui mobilisent chercheurs et opérationnels.

Immédiatement après qu'un séisme se soit produit, les ondes sismiques se propagent dans la croûte. Il faut un certain laps de temps pour que les ondes parcourent la distance qui sépare l'hypocentre du séisme et les zones à alerter. C'est ce laps de temps qui est utilisé par les sismologues pour tenter de mettre en place une alerte, dite précoce si celle-ci est diffusée le plus en amont possible de l'arrivée des ondes qui vont produire les dommages.

Chronogramme de l'alerte précoce. Un des enjeux est de réduire au maximum le temps de décision qui comprend la récupération des données, le calcul des paramètres importants et la prise de décision.



Toutes les ondes ne se propagent pas à la même vitesse et il est admis que ce sont les ondes les plus lentes (ondes de cisaillement ou ondes S) qui sont les plus nocives pour les environnements urbains.

On peut alors profiter du laps de temps supplémentaire donné par la différence de temps d'arrivée des ondes les plus rapides, les ondes de compression (ou ondes P), et des ondes S, pour calculer et transmettre des informations.

La temporalité de la séquence sismique va déterminer la série d'informations à évaluer et à utiliser pour enclencher les actions à mettre en place pour réduire l'impact du séisme. Tout l'enjeu est donc de pouvoir produire en quelques secondes (<5 secondes) les informations essentielles :

La localisation du séisme

L'amplitude des ondes diminue avec la distance, et ainsi leur impact sur les zones urbaines. À plus courte distance, les conséquences vont dépendre de la position du séisme en profondeur et si l'évaluation rapide de ce paramètre reste encore imprécise, des recherches scientifiques se consacrent à son estimation.

La magnitude du séisme

Plus la magnitude sera importante, plus l'énergie des ondes sismiques sera élevée. La magnitude est évaluée à partir des enregistrements fournis par les stations de surveillance. Il semble donc illusoire de prédire le futur avant de l'avoir vécu. Cependant, certains travaux se penchent sur l'utilisation des 2-3 secondes des premières ondes enregistrées pour tenter de prédire la magnitude qu'aura au final le séisme. Le laps de temps entre ondes P et S permet de diffuser cette information avant l'arrivée des ondes destructrices sur la zone à alerter.

Le mouvement du sol

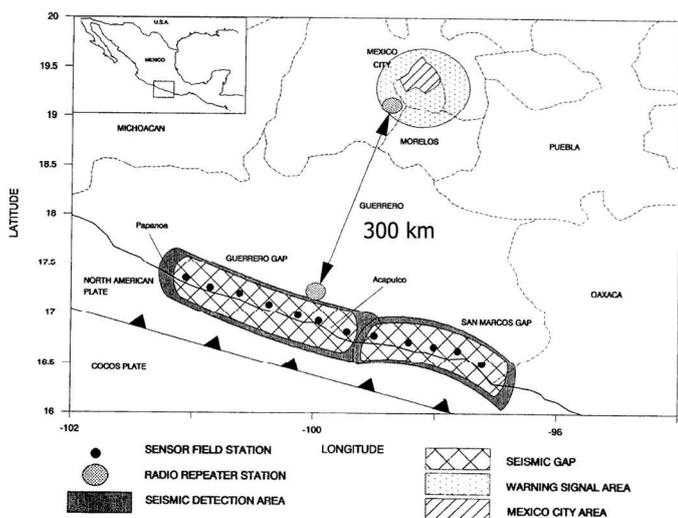
Ce paramètre va donner la nocivité de la secousse. Il dépend de la distance et de la magnitude mais aussi d'autres paramètres comme ceux décrivant la rupture (le type de faille et le type de rupture associée, certains effets dits de directivité qui privilégient une direction de plus forte intensité, etc...). Des avancées importantes ont été faites ces dernières années, mais il reste encore beaucoup d'efforts afin d'arriver à une estimation fiable.

QUELQUES EXEMPLES ET CONTRE-EXEMPLES

L'objectif des alertes précoces n'est pas l'évacuation des populations mais l'anticipation d'actions à déclencher rapidement pour limiter les conséquences des séismes. Les informations d'alerte peuvent ainsi être transmises aux hôpitaux, aux gestionnaires des transports publics, aux centres de production d'énergie, ou aux agences gouvernementales qui prennent alors des contre-mesures pour limiter les pertes. C'est ce qui est mis en place à **Mexico City, Taiwan, Istanbul** ou au **Japon**, pays précurseurs en alerte précoce, bénéficiant d'une configuration adaptée.

Par exemple, lors du séisme de **1985 au Mexique**, l'épicentre situé à 400 km environ de Mexico aurait permis un délai d'une minute pour avertir les populations, ce qui aurait très certainement diminué le nombre de victimes. Le Japon donne un autre exemple de système d'alerte : pour répondre à la menace des grands séismes japonais situés en mer, le Japon a installé des stations de mesure au fond des océans au plus proche des localisations probables des tremblements de terre, pour anticiper l'arrivée des ondes sur les îles en augmentant au maximum le temps de décision.

On constate, lors des grands séismes, que **les victimes sont essentiellement dues à la destruction des constructions de mauvaise qualité, de quelques étages**. Leur évacuation peut ne prendre que quelques secondes et l'alerte précoce trouve pleinement sa raison d'être.



Exemple de la configuration mexicaine. Les ronds sont les stations d'alerte mises en place le long de la zone de subduction, en grisée et hachurée la zone sismogène sous surveillance. A 300km, la ville de Mexico. D'après Erdik, 2006.

Plusieurs séismes passés auraient pu bénéficier d'un tel système. Par exemple, lors du séisme du **Pakistan** (2005), 80% des bâtiments ont été détruits dans la ville d'**Uri** située à 60km de l'épicentre. Le délai entre les ondes P et S était de 7.5s, l'arrivée des ondes S a nécessité 18s, donnant un temps d'alerte d'environ 10s pour évacuer les habitations. À **Islamabad** située à 105km et durement touchée par le séisme, une alerte aurait bénéficié de plus de 20s de délais. À **Pisco** (Pérou) en 2007, 80% des bâtiments ont été détruits à 50km de l'épicentre. Le délai entre les ondes P et S était de 6s environ, avec une onde S arrivant au bout de 15s, c'est-à-dire un temps disponible pour la décision de 10s environ. En même temps, à Ica (115 km de l'épicentre) ce sont 30s disponibles pour se mettre à l'abri.

Évidemment d'autres situations ne sont pas favorables à la mise en place d'un système d'alerte précoce. À **Bam** (Iran) en 2003, les ondes S arrivant en moins de 4s, aucun système n'aurait permis une anticipation. En **France** métropolitaine, la géographie des villes exposées à proximité des séismes ne permet pas la mise en place d'un système d'alerte précoce, les temps de propagation étant trop courts. Aux **Antilles**, la zone de subduction se situant à plusieurs kilomètres, des îles pourraient bénéficier d'un tel système.



Exemple de la Californie. Le réseau dense de stations permet une détection rapide des séismes pouvant affecter San Francisco. Le délai d'alerte disponible aurait été dans le cas du séisme de Loma Prieta (1989-M 6.9) de 20s. (d'après R. Allen)

Mais certains séismes (autres que les séismes de subduction) exposent aussi des régions à un aléa important. Se posent alors d'autres questions sociales, comme la gestion et le coût des fausses alarmes (qu'il faut absolument maîtriser, par exemple en augmentant le nombre de stations de surveillance et la redondance de l'information), le fait de ne pouvoir anticiper tous les séismes pouvant se produire, et donc ne pas recevoir systématiquement une information, et enfin choisir d'informer uniquement les autorités et les institutions ou entreprises ciblées. Sur ce dernier point, le Japon a décidé de mettre en place un système directement à destination des populations : recevoir un message, même quelques secondes avant sans pouvoir réagir, permet malgré tout d'éviter la surprise et de préparer le corps à subir l'effet du séisme, atténuant également les conséquences psychologiques.

L'ALERTE PRÉCOCE PEUT PERMETTRE L'ANTICIPATION D'UN SÉISME ET LA RÉDUCTION DES PERTES HUMAINES. Il reste encore beaucoup de chemin avant de rendre le système opérationnel (gestion des fausses alarmes) mais l'évolution des stations de mesure et l'apport des nouvelles technologies nous permettent d'imaginer des systèmes efficaces dans un futur proche. Se pose néanmoins la question de la pertinence d'un tel système pour un pays à sismicité modérée, notamment vis-à-vis du rapport coût-bénéfice comparé à la mise en place sur le long terme de la réglementation parasismique.