

TSUNAMI



2012

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part des secrétariats de l'UNESCO et de la COI aucune prise de position quant au statut juridique des pays ou territoires, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières.

À des fins bibliographiques, le présent document doit être cité comme suit :

Commission océanographique intergouvernementale. 2012. *Tsunamis : Les grandes vagues, deuxième édition révisée*. Paris, UNESCO, 16 p., illus. Brochure de la COI 2012-4. (Original anglais)

Publié par l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture
7 place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, France

Imprimé par l'imprimerie de l'UNESCO

Avec le soutien du projet SNGRD/ECHO/UNESCO "Renforcement des capacités d'alerte et de réponse aux tsunamis en Haïti."

Le présent document a été imprimé avec l'aide financière de l'Office d'aide humanitaire de la Commission européenne - ECHO. Les opinions exprimées ne reflètent pas l'avis officiel de la Commission européenne.

COMMISSION EUROPÉENNE



Aide humanitaire

LES GRANDES VAGUES

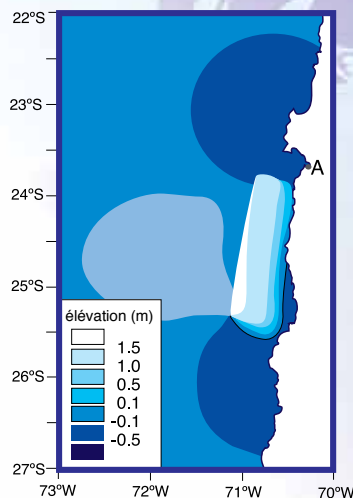
Cette brochure a pour objectif d'améliorer la prise de conscience et la connaissance des tsunamis. N'hésitez pas à partager ce que vous apprenez ; en étant bien informé, vous pouvez sauver votre vie et celle de vos proches.

Le phénomène que nous appelons « tsunami » (SOO-NAH-MEE en japonais) est une série de vagues de période extrêmement longue se propageant à travers l'océan, générées essentiellement par des séismes qui se produisent en dessous ou à proximité du plancher océanique. Des éruptions volcaniques sous-marines et des glissements de terrain peuvent aussi déclencher des tsunamis. Les ondes de tsunami se propagent en haute mer à une vitesse dépassant les 800 km/heure et des vagues d'une hauteur maximale de quelques dizaines de centimètres seulement. Les vagues de tsunami se distinguent des vagues océaniques ordinaires par leur grande longueur d'onde de crête à crête, qui dépasse souvent les 100 km en haute mer, et par la période entre ces crêtes, qui va de 10 minutes à une heure.

Lorsqu'elles atteignent les eaux peu profondes du littoral, les vagues sont freinées et l'eau peut s'amonceler pour former un mur destructeur dont la hauteur peut atteindre plusieurs dizaines de mètres. L'effet peut être amplifié si une baie, un port ou un lagon canalise la vague lorsqu'elle pénètre dans les terres. Les plus grands tsunamis connus ont atteint des hauteurs supérieures à 30 mètres. Même un tsunami de 3 à 6 mètres de haut peut être extrêmement destructeur et faire de nombreuses victimes, morts et blessés.

Les tsunamis constituent une menace pour la vie et les biens de tous les résidents du littoral qui vivent à proximité de l'océan. Historiquement, 279 tsunamis ont coûté la vie à 600 000 personnes dans le monde et près de 90 % d'entre elles ont été victimes de tsunamis locaux ayant frappé la côte au bout d'une heure au maximum. Dans la grande majorité des cas (plus de 80 %), ces tsunamis sont déclenchés par de grands séismes susceptibles de provoquer des dégâts avant l'arrivée du tsunami

proprement dit. Au cours des années 1990, 16 tsunamis ont tué plus de 4 300 personnes. Plus de 1 100 personnes ont notamment perdu la vie lors du tsunami de Flores (Indonésie), en 1992, et 2 200 lors du tsunami qui s'est produit en 1998 à Aitape, en Papouasie-Nouvelle-Guinée. Les dommages matériels furent de l'ordre d'un milliard de dollars des États-Unis. Bien que 60 % de l'ensemble des tsunamis aient lieu dans le Pacifique, ces derniers peuvent également menacer les côtes des pays situés dans l'océan Indien, la mer Méditerranée, la région des Caraïbes et l'océan Atlantique. Depuis l'an 2000, 13



À gauche : Modélisation numérique de l'évolution initiale du niveau de la surface de l'eau lors de la formation du tsunami du 30 juillet 1995 au Chili. A = Antofagasta, Chili. À droite : Modélisation numérique du même tsunami, 3 heures après sa formation.



tsunamis se sont produits. Le plus dévastateur jamais observé est survenu en décembre 2004, lorsqu'un séisme de magnitude 9,1 au large de la côte nord-ouest de Sumatra (Indonésie) a provoqué un tsunami destructeur qui s'est abattu sur toutes les côtes de l'océan Indien, tuant 228 000 personnes, en déplaçant plus d'un million, et causant des milliards de dollars de dégâts matériels. En mars 2011, un séisme de magnitude 9,0 a déclenché un tsunami local géant qui a submergé les digues, faisant près de 19 000 morts à Tohoku (Japon).



Port de Hilo, Hawaii, 1er avril 1946, séisme aux îles Aléoutiennes. Photographie du tsunami déferlant sur le quai 1 prise à bord du navire Brigham Victory. L'homme sur la gauche n'a pas survécu (NOAA).

Au Centre d'alerte aux tsunamis dans le Pacifique (PTWC, États-Unis d'Amérique) à Hawaii, centre opérationnel du Système d'alerte aux tsunamis et de mitigation dans le Pacifique (PTWS), les scientifiques surveillent les stations sismographiques et marégraphiques, évaluent les séismes susceptibles de déclencher des tsunamis et adressent des avis d'alerte aux tsunamis aux autorités nationales dans l'ensemble du Pacifique et des Caraïbes. Des centres d'alerte sous-régionaux existent également au Japon pour le Pacifique Nord-Ouest et en Alaska (États-Unis d'Amérique) pour le Pacifique Nord-Est. À la suite du tsunami survenu dans l'océan Indien en 2004, des systèmes d'alerte aux tsunamis ont été déployés et sont désormais en place dans le monde entier, y compris dans l'océan Indien, la mer des Caraïbes, l'océan Atlantique et la mer Méditerranée.

Le Centre international d'information sur les tsunamis de la COI/UNESCO, dont le personnel est fourni par les États-Unis d'Amérique et le Chili, contrôle et évalue l'efficacité du PTWS, aide à établir de nouveaux systèmes d'alerte dans le monde et fait office de centre pédagogique et d'information pour le Programme de la COI relatif aux tsunamis.

Toutes les régions océaniques du monde peuvent être touchées par des tsunamis, mais la probabilité que survienne un tsunami important et destructeur est beaucoup plus forte dans l'océan Pacifique et ses mers bordières en raison des nombreux et puissants séismes qui se produisent tout autour du Pacifique.

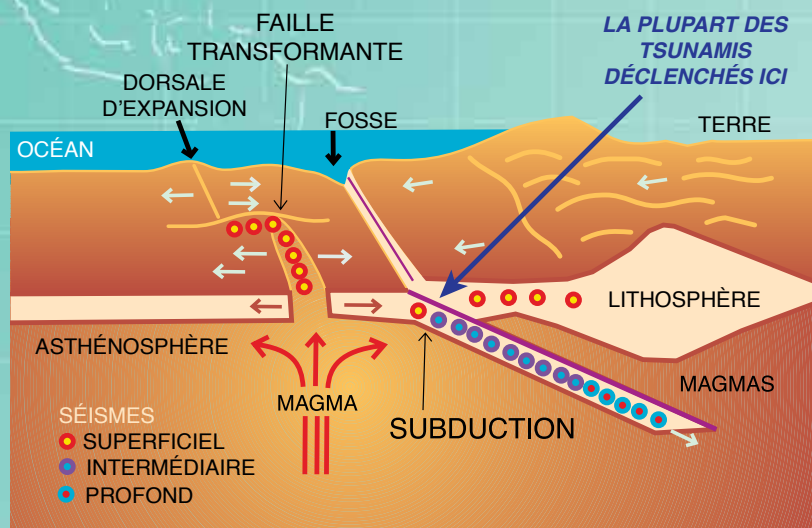
La théorie de la tectonique des plaques repose sur un modèle géologique caractérisé par un petit nombre de plaques lithosphériques de 70 à 250 km d'épaisseur, qui flottent sur une sous-couche visqueuse appelée asthénosphère. Ces plaques qui couvrent la totalité de la surface de la Terre et comprennent aussi bien les continents que les fonds marins, se déplacent les unes par rapport aux autres à un rythme pouvant atteindre 10 cm par an. Les vitesses de déplacement dépassent en général plusieurs cm par an. La région où deux plaques sont en contact est appelée « frontière de plaques » et la façon dont une plaque bouge par rapport à une autre détermine le type de frontière : « divergente », lorsque les deux plaques s'éloignent l'une de l'autre, « convergente », lorsque les deux plaques se rencontrent et que l'une glisse sous l'autre, et « transformante » lorsque les deux plaques glissent horizontalement l'une contre l'autre. Les zones de subduction sont caractérisées par des fosses océaniques profondes. Les îles volcaniques ou les chaînes de montagnes volcaniques associées aux nombreuses zones de subduction autour du Pacifique sont parfois appelées « Ceinture de feu du Pacifique ».



Le tsunami généré par le séisme de magnitude 9,3 survenu au nord-ouest de Sumatra le 26 décembre 2004 s'approche de la plage de Hat Rai Lay, à Krabi, au sud de la Thaïlande. Après s'être aventurés sur la plage lorsque dans un premier temps la mer s'est retirée, des touristes fuient désespérément pour se mettre à l'abri à l'approche de la première des six vagues de tsunami qui ont frappé la côte (AFP/AFP/Getty Images).

Tous les séismes ne déclenchent pas de tsunami. Pour générer un tsunami, la faille où survient le séisme doit être située sous l'océan, ou à proximité, et créer un mouvement vertical (pouvant atteindre plusieurs mètres) du plancher océanique sur une grande surface (jusqu'à 100 000 km²). Les séismes à foyer peu profond (moins de 70 kilomètres de profondeur) qui adviennent le long des zones de subduction sont responsables de la plupart des tsunamis destructeurs. L'amplitude du mouvement horizontal et vertical du fond de l'océan, l'aire de la faille, l'apparition simultanée d'un effondrement des sédiments sous-marins dû au séisme et l'efficacité avec laquelle l'énergie est transférée de la couche terrestre au fond de l'océan sont autant de facteurs qui interviennent dans le mécanisme de formation des tsunamis.

ORIGINE



SÉISMES ET TSUNAMIS

Un séisme peut être provoqué par l'activité volcanique, mais la plupart d'entre eux sont produits par des mouvements le long des zones de faille associées aux frontières de plaques. La plupart des grands séismes, qui représentent 80 % de l'énergie sismique totale libérée dans le monde, ont lieu dans les zones de subduction où une plaque océanique glisse sous une plaque continentale ou sous une autre plaque océanique plus récente.



DES TSUNAMIS

SÉISMES TSUNAMIGÈNES

Le tremblement de terre du 2 septembre 1992 (magnitude 7,2) a été faiblement ressenti par les habitants de la côte du Nicaragua. Situé bien au large, son intensité, la force des vibrations sur une échelle allant de I à XII, fut en général égale à II le long de la côte, et atteignit III en quelques endroits seulement. Vingt à 70 minutes après le séisme, un tsunami frappa les côtes du Nicaragua. Les vagues atteignirent 4 mètres d'amplitude au-dessus du niveau normal de la mer dans la plupart des endroits et le run-up maximal 10,7 mètres. Les vagues prirent les habitants complètement par surprise et firent de nombreuses victimes et des dommages matériels considérables.

Ce tsunami a été généré par un séisme tsunamigène, c'est-à-dire un séisme qui produit un tsunami anormalement

puissant par rapport à la magnitude du séisme. Les séismes tsunamigènes se caractérisent par un foyer très peu profond, des dislocations de faille de plusieurs mètres et des surfaces de faille inférieures à celles d'un séisme classique.

Ce sont également des séismes lents avec un glissement le long de la faille en dessous du fond marin plus lent que lors d'un séisme classique. La seule méthode connue pour détecter rapidement un séisme tsunamigène consiste à évaluer un paramètre appelé moment sismique au moyen d'ondes sismiques de très longue période (plus de 50 secondes/cycle). Quatre autres tsunamis meurtriers ayant pour origine un séisme tsunamigène se sont produits ces dernières années au large de l'Indonésie (le 2 juin 1994, le 16 juillet 2007, le 25 octobre 2010) et du Pérou (le 21 février 1996).

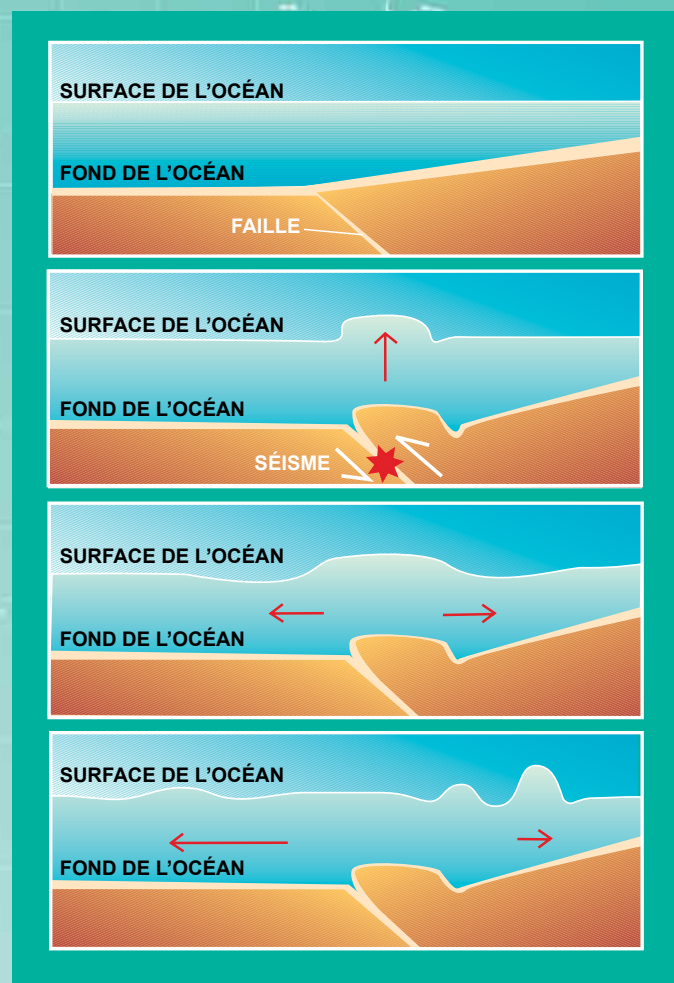
Le foyer d'un séisme est la zone de la lithosphère où la rupture commence et où naissent les premières ondes sismiques. L'épicentre est le point de la surface terrestre situé directement au-dessus du foyer.

La magnitude mesure la taille relative d'un séisme. Il existe différentes échelles de magnitude en plus de l'échelle de Richter, notamment l'échelle de magnitude du moment qui mesure l'énergie libérée et donne l'estimation la plus fiable pour les grands séismes. Une augmentation d'une unité de magnitude correspond à une multiplication par 10 de l'amplitude de l'onde sismique et à une multiplication par 30 de l'énergie libérée. La magnitude de moment est mesurable presque immédiatement depuis l'avènement des sismomètres modernes, de l'enregistrement numérique et des réseaux de communication en temps réel, ce qui permet aux centres d'alerte de diffuser les premiers avis quelques minutes après la survenue du séisme.



El Transito, Nicaragua, 1er septembre 1992. Des vagues de 9 m de haut ont détruit la ville, faisant 16 morts et 151 blessés dans cette communauté côtière de 1 000 habitants. On pense que la première vague était de faible hauteur, laissant du temps à la population pour échapper aux deuxième et troisième vagues qui ont été destructrices. Plus de 40 000 personnes ont perdu leur maison ou leur source de revenus (Harry Yeh, Université de Washington).

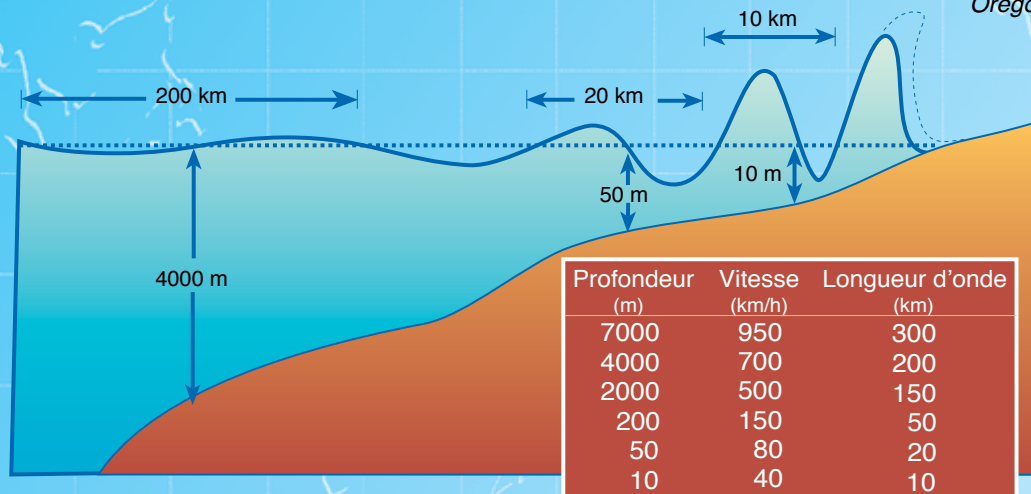
TSUNAMIS : RAPPORT AVEC LA SOURCE SISMIQUE



DÉPLACEMENT

En eau profonde, les tsunamis destructeurs peuvent être petits – souvent quelques dizaines de centimètres de haut seulement – et ne peuvent être ni observés ni ressentis à bord de bateaux se trouvant en mer. Mais, lorsque le tsunami atteint les eaux côtières peu profondes, la hauteur des vagues peut augmenter rapidement. Parfois, les eaux côtières se retirent vers l'océan juste avant le déferlement du tsunami. Lorsque cela arrive, la ligne de rivage est parfois plus découverte que lors des plus basses marées. Cet exceptionnel retrait des eaux doit être pris comme un signal d'alerte naturel nous indiquant que des vagues de tsunami suivront.

La vitesse de propagation du tsunami est réduite en eau peu profonde alors que la hauteur des vagues augmente rapidement.



En haute mer, un tsunami atteint en général quelques dizaines de centimètres de hauteur en surface, mais la hauteur de ses vagues augmente rapidement en eau peu profonde. L'énergie de la vague du tsunami va de la surface au fond de la mer, même dans les eaux les plus profondes. Quand le tsunami attaque le littoral, l'énergie de la vague est comprimée sur une distance beaucoup plus courte et sur une profondeur beaucoup plus faible, ce qui engendre des vagues meurtrières et destructives.

TSUNAMIS À L'ÉCHELLE D'UN OCÉAN ET TSUNAMIS LOCAUX

Le dernier grand tsunami à occasionner de lourdes pertes en vies humaines et d'importants dégâts à l'échelle du Pacifique a été engendré par un séisme situé au large de la côte chilienne en 1960. Ce tsunami a entraîné des pertes humaines et des dégâts matériels non seulement sur les côtes du Chili, mais aussi à Hawaii et plus loin encore, au Japon, 22 heures plus tard. Le 11 mars 2011, un tsunami local meurtrier au Japon a provoqué 210 milliards de dollars des États-Unis de dommages, dont 100 millions à Hawaii et en Californie et un décès dans l'Oregon, les États-Unis, et en Indonésie. Le grand séisme survenu en Alaska en 1964 a déclenché des vagues de tsunami meurtrières en Alaska, en Oregon et en Californie, États-Unis.

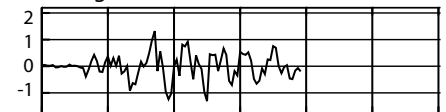
En juillet 1993, un tsunami généré dans la mer du Japon a tué plus de 120 personnes au Japon. Des dégâts ont également eu lieu en Corée et en Russie mais pas dans d'autres pays car l'énergie de la vague de tsunami est restée confinée dans la mer du Japon. Le tsunami de 1993 est ce qu'on appelle un « événement local ou régional » car son impact s'est limité à une zone relativement restreinte. Pour les personnes vivant le long de la côte nord-ouest du Japon, les vagues du tsunami local sont arrivées quelques minutes après le séisme.

Depuis les années 1990, 28 tsunamis locaux ou régionaux destructeurs se sont produits en Amérique du Sud (Chili et Pérou), en Amérique centrale (Costa Rica et Nicaragua), au Japon, aux Philippines, en Indonésie, dans les îles du Pacifique (Samoa américaines, Samoa, Îles Salomon, Tonga, Vanuatu) et dans les Caraïbes (Haïti), tuant plus de 200 000 personnes. Des

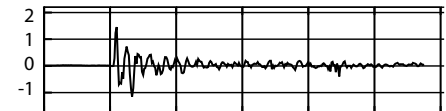
dégâts ont été provoqués également à l'échelle d'un océan lors du passage des tsunamis du 21 février 1996 (Pérou), du 26 décembre 2004 (océan Indien), du 27 février 2010 (Chili) et du 11 mars 2011 (Japon).

Les tsunamis peuvent traverser le Pacifique d'un bout à l'autre en moins d'une journée. Cependant, les populations vivant près des zones où se produisent de grands séismes peuvent voir les vagues du tsunami arriver sur leurs rivages en quelques minutes. C'est pourquoi la menace que représentent les tsunamis pour beaucoup de régions comme les zones de déclenchement des Caraïbes, d'Indonésie et du Makran, la Ceinture de feu du Pacifique et de la Méditerranée orientale peut être immédiate lorsqu'il s'agit de tsunamis locaux qui mettent seulement quelques minutes pour atteindre les zones côtières, ou moins imminente lorsqu'il s'agit de tsunamis éloignés qui peuvent mettre jusqu'à une journée pour arriver.

Sibolga (Indonésie)



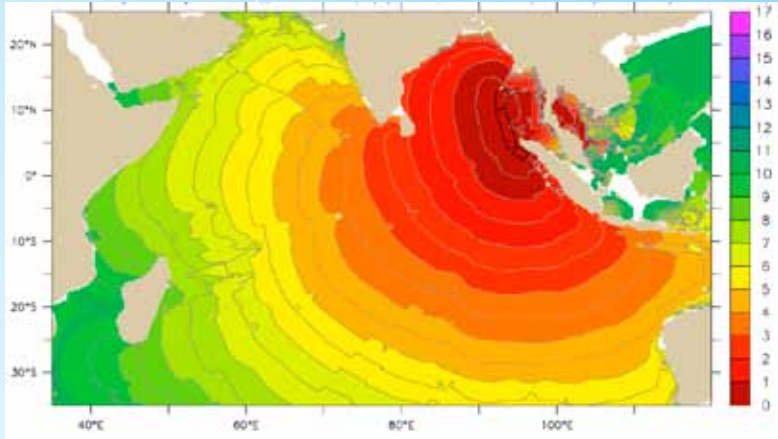
Malé, Hulhulé (Maldives)



Relevés du niveau de la mer à Sibolga sur la côte nord-ouest de Sumatra (Indonésie) et à Malé, Hulhulé (Maldives) lors du tsunami du 26 décembre 2004, qui a provoqué des destructions dans tout l'océan Indien. À Sibolga, la première vague n'a pas été la plus importante. Axe vertical en mètres (Centre sur le niveau de la mer de l'Université d'Hawaii, BAKOSURTANAL, Indonésie).



DES TSUNAMIS



Calcul du temps de parcours du tsunami du 26 décembre 2004 déclenché par le séisme survenu au large de la côte ouest de Sumatra. Chaque courbe concentrique représente 30 minutes du temps de parcours du tsunami. Un tsunami destructeur a frappé l'Indonésie en 15 minutes, le Sri Lanka en deux heures et le Kenya neuf heures après le séisme (NOAA/PMEL).

scientifiques peuvent prévoir l'heure d'arrivée d'un tsunami à plusieurs endroits s'ils connaissent les caractéristiques de la source du séisme qui l'a généré ainsi que les caractéristiques des fonds marins qui se trouvent sur son parcours. Les tsunamis se déplacent beaucoup plus lentement dans les eaux côtières peu profondes où la hauteur de leurs vagues commence à augmenter considérablement.

AVEC QUELLE AMPLITUDE ?

La configuration du littoral et au large des côtes peut déterminer la hauteur et l'impact des vagues de tsunami. Les récifs, les baies, les embouchures de rivières, les reliefs sous-marins et la pente des plages sont autant de paramètres qui contribuent à modifier le tsunami à l'approche de la côte.

Lors des enquêtes de terrain post-tsunami, les mesures de la zone d'inondation et du run-up sont prises afin de décrire l'impact du tsunami. La zone d'inondation est la distance horizontale maximale parcourue par le tsunami à l'intérieur des terres. Le run-up est la hauteur verticale maximale au-dessus du niveau moyen de la mer atteinte par la surface de la mer pendant un tsunami. La hauteur effective des vagues des tsunamis est mesurée à partir de l'amplitude enregistrée par les marégraphes. Ces données sont essentielles à l'élaboration de cartes des zones inondables et de plans d'évacuation fiables.

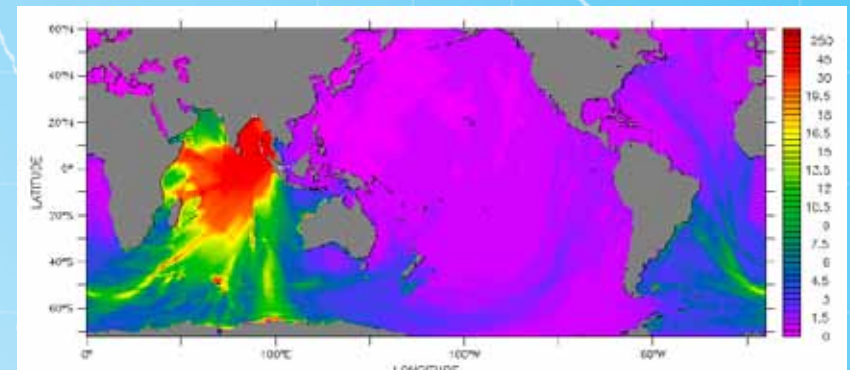
À QUELLE VITESSE ?

Dans les régions où la profondeur de l'océan atteint plus de 6 000 mètres, des vagues imperceptibles de tsunami peuvent se déplacer à la vitesse d'un avion de ligne, soit plus de 800 km/heure. Elles peuvent aller d'un côté à l'autre du Pacifique un jour et traverser l'océan Indien en 12 heures. C'est en raison de cette grande vitesse qu'il importe de détecter l'existence du tsunami dès qu'il se produit. Les

Lorsque le tsunami atteint la côte, le plus souvent en formant un mur d'eau, le niveau de la mer peut augmenter de plusieurs mètres. Dans les cas extrêmes, le niveau de l'eau a atteint plus de 15 mètres pour des tsunamis en champ lointain et plus de 30 mètres pour des vagues de tsunamis générés près de l'épicentre. La première vague n'est pas toujours la plus élevée. Il se peut que les vagues ne créent pas de dégâts dans une communauté côtière tandis que dans une communauté voisine, des vagues dévastatrices déferlent avec violence. Les zones inondées peuvent s'étendre sur plusieurs kilomètres à l'intérieur des terres, recouvrant de vastes superficies d'eau et de débris.

AVEC QUELLE FRÉQUENCE ?

Comme les scientifiques ne peuvent pas prévoir la date des futurs séismes, ils ne peuvent pas déterminer exactement quand un tsunami sera déclenché. Cependant, en étudiant les tsunamis historiques, ils connaissent les régions où les tsunamis sont le plus souvent générés. La mesure des hauteurs atteintes par les tsunamis dans le passé sont utiles pour estimer l'impact d'un futur tsunami ainsi que les limites des zones inondées dans des régions côtières et des communautés spécifiques. La recherche sur les paléo-tsunamis, à savoir l'étude scientifique des sédiments déposés par les tsunamis géants, aide à faire remonter les connaissances sur les tsunamis historiques à des périodes encore plus anciennes. À mesure que l'on découvre de nouveaux événements, on obtient de meilleures estimations de la fréquence de survenue des tsunamis dans une région. Durant chacun des cinq derniers siècles, il s'est produit trois à quatre tsunamis catastrophiques à l'échelle du Pacifique, la plupart d'entre eux générés au large des côtes chiliennes. Le tsunami du 26 décembre 2004 a fait 228 000 morts et causé des dommages dans tout l'océan Indien, ce qui en fait le pire tsunami jamais survenu. Il s'agit également du premier tsunami destructeur connu à l'échelle du bassin de l'océan Indien.



Calcul de la hauteur maximale (en cm) des vagues enregistrée dans le monde, Antarctique, océan Pacifique et océan Atlantique, Amérique du Sud et du Nord et Canada, lors du tsunami du 26 décembre 2004 (NOAA/PMEL).



Kodiak, Alaska. Le 27 mars 1964, un grand séisme en Alaska a déclenché un tsunami qui a tué 21 personnes et causé 30 millions de dollars des États-Unis de dégâts dans la ville de Kodiak et ses environs.

COMMENT



La vague. Tableau de Lucas Rawah représentant Aitape, réalisé en commémoration de la catastrophe survenue le 17 juillet 1998 en Papouasie-Nouvelle-Guinée. Un séisme de magnitude 7,1 aurait déclenché un glissement de terrain sous-marin, générant ainsi un tsunami qui a détruit des villages entiers le long de la côte d'Aitape.

Centre international d'information sur les tsunamis (CIIT)

Situé à Honolulu (Hawaii) et doté en personnel par les États-Unis d'Amérique, le Chili et le Japon, le CIIT est le plus ancien centre d'information au service du Système mondial d'alerte aux tsunamis et d'atténuation de leurs effets de la Commission océanographique intergouvernementale (COI) de l'UNESCO. L'Unité tsunamis de la COI située à Paris (France) coordonne le système mondial. Le CIIT assiste directement les États membres du PTWS et d'autres régions en assurant un suivi et en suggérant des améliorations à apporter aux systèmes d'alerte aux tsunamis, en aidant les États membres à mettre en place des systèmes d'alerte aux tsunamis régionaux et nationaux, en appuyant le renforcement des capacités par le biais de programmes de formation à la mitigation des tsunamis, et en servant de centre d'échange d'informations pour la promotion de la recherche et l'élaboration et la distribution de matériels d'éducation et de préparation en vue d'atténuer les risques liés aux tsunamis. Le CIIT publie régulièrement le Bulletin sur les tsunamis, tient à jour une bibliothèque, héberge la liste de diffusion du tableau d'affichage électronique sur les tsunamis et organise le Programme de formation du CIIT aux systèmes d'alerte aux tsunamis.



SAUVER DES VIES

LES CENTRES D'ALERTE AUX TSUNAMIS

La COI coordonne la mise en œuvre du Système mondial d'alerte aux tsunamis et de mitigation, en s'appuyant sur l'expérience qu'elle a acquise dans le Pacifique afin de mettre en place des systèmes d'alerte pour l'océan Indien, les Caraïbes, l'Atlantique et la Méditerranée. Le Centre d'alerte aux tsunamis dans le Pacifique (PTWC, États-Unis d'Amérique) sert de centre d'alerte pour le Pacifique. Cette initiative internationale en faveur de l'alerte au tsunami devint un organisme officiel en 1965 lorsque le PTWC fut chargé d'agir en tant que centre opérationnel pour le PTWS. Le GIC/PTWS, qui comprend 46 pays du Pacifique, supervise le fonctionnement du système d'alerte et facilite la coordination et la coopération pour toutes les activités internationales de mitigation des tsunamis. En 2005, le PTWC et l'Office météorologique japonais (JMA) ont commencé à fournir conjointement des services provisoires pour l'océan Indien, et en 2006, des services au niveau sous-régional pour la mer de Chine méridionale dans le Pacifique. En 2006, le PTWC a commencé à fournir à titre provisoire des services pour les Caraïbes.

L'objectif initial du PTWC est de détecter, localiser et déterminer les paramètres sismiques des séismes potentiellement tsunamigènes qui se produisent dans le bassin Pacifique ou dans ses mers bordières. À cette fin, il reçoit de manière continue des données sismographiques émanant de plus de 400 stations à travers le monde grâce à des échanges de données en coopération avec l'US Geological Survey, le Réseau sismique mondial « Incorporated Research Institutions for Seismology », le réseau « International Deployment of Accelerometers », GEOSCOPE, le Centre américain d'alerte aux tsunamis de la côte ouest et de l'Alaska (WCATWC) et d'autres organismes nationaux et internationaux exploitant des réseaux sismiques.

Si, compte tenu de sa situation, de sa profondeur et de sa magnitude, un séisme est potentiellement capable de générer un tsunami destructeur, une alerte au tsunami est immédiatement lancée afin d'avertir d'un danger imminent de survenue du phénomène. Les premières alertes concernent uniquement les zones que le tsunami pourrait atteindre en quelques heures et les bulletins indiquent l'heure d'arrivée prévue du tsunami et/ou la hauteur estimée des vagues. Les vagues côtières estimées à plus de 50 cm de haut accompagnées de forts courants peuvent provoquer des dégâts considérables et des pertes en vies humaines, les digues brisées et les débris flottants devenant des béliers. Les communautés situées en dehors de ces zones sont mises soit en état de veille soit en état d'alerte au tsunami.

Les centres d'alerte surveillent ensuite les données entrantes

relatives au niveau de la mer afin de déterminer si un tsunami s'est produit. Si un tsunami important ayant un potentiel de destruction à grande échelle est repéré, l'alerte au tsunami est diffusée dans l'ensemble du bassin Pacifique ou de l'océan Indien. Le PTWC reçoit des données de plus de 400 stations côtières grâce à un partage actif de données entre des organismes américains, des centres de recherche, des pays et des réseaux internationaux tels que le Système mondial d'observation du niveau de la mer (GLOSS). Il reçoit également des données de plus de 40 capteurs en eaux profondes DART déployés dans le Pacifique et dans le monde entier. Ces données permettent d'affiner la prévision des tsunamis. Au Japon, des enregistreurs GPS des vagues indiquent la hauteur de la surface de la mer au large lors de l'arrivée d'un tsunami. Les alertes aux tsunamis sont diffusées aux responsables des services d'urgence désignés et à la population par l'intermédiaire de nombreux moyens de communication.

Les pays peuvent mettre en place des centres nationaux ou sous-régionaux afin de fournir des alertes plus rapides ou plus précises en cas de tsunamis régionaux ou locaux. La JMA fournit des alertes locales au Japon et son Centre consultatif sur les tsunamis dans le Pacifique Nord-Ouest fournit des prévisions sur les séismes et les vagues de tsunami aux pays du Pacifique Nord-Ouest et de ses mers bordières, à la région de la Chine méridionale ainsi qu'aux nations insulaires du Pacifique Nord. Dans le Pacifique, le Centre polynésien de prévention des tsunamis, en Polynésie française, le Chili et la Russie disposent de systèmes nationaux d'alerte aux tsunamis depuis des dizaines d'années. L'Australie, le Canada, la Colombie, l'Équateur, El Salvador, l'Indonésie, la République de Corée, la Malaisie, la Nouvelle-Zélande, le Nicaragua, le Pérou, les Philippines et la Thaïlande ont amélioré leurs systèmes depuis 2004.

Aux États-Unis d'Amérique, le WCATWC alerte l'Amérique du Nord, y compris le Canada, Porto Rico et les Îles Vierges et le PTWC alerte Hawaii et les intérêts américains dans le Pacifique. Grâce au partage libre et en temps voulu de données, les centres d'alerte peuvent fournir un soutien et des analyses complémentaires des événements au cas où un centre tomberait en panne. Les centres peuvent également servir de points focaux pour les activités régionales de sensibilisation et d'éducation aux tsunamis et d'autres activités de mitigation.



Informations sur la COI

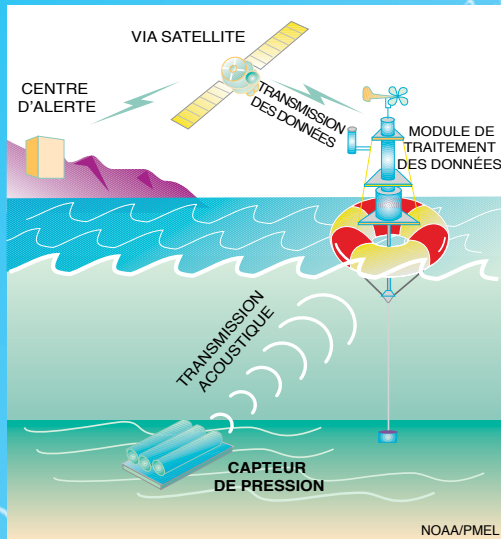
La Commission océanographique intergouvernementale (COI), entité disposant d'une autonomie fonctionnelle au sein de l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO), offre aux États membres un mécanisme indispensable de coopération à l'échelle planétaire pour l'étude des océans. La COI aide les gouvernements à résoudre leurs problèmes individuels et collectifs concernant les océans et les zones côtières grâce au partage de connaissances, d'informations et de technologies ainsi qu'à la coordination de programmes nationaux et régionaux.

Les fonctions de la COI sont les suivantes : développer, recommander et coordonner des programmes internationaux pour l'étude scientifique des océans et les services océaniques connexes ; promouvoir et formuler des recommandations pour l'échange des données océanographiques et la publication et la diffusion des résultats de la recherche scientifique ; promouvoir et coordonner le développement et le transfert des sciences marines et de ses technologies ; formuler des recommandations pour renforcer l'éducation et la formation et pour promouvoir la recherche océanographique et l'application de ses résultats au profit de l'humanité tout entière. 141 États membres font actuellement partie de la COI. L'Assemblée se réunit tous les deux ans au Siège de l'UNESCO à Paris (France).

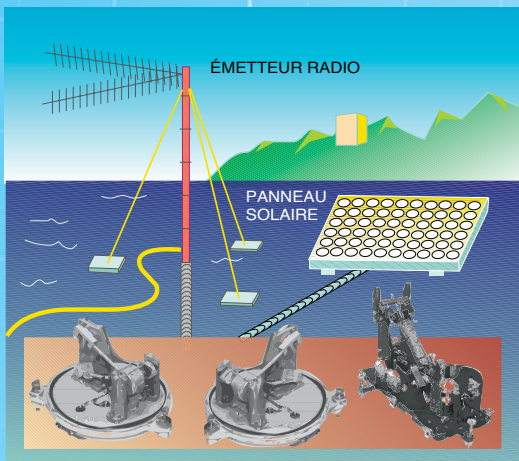
La COI se compose d'une Assemblée, d'un Conseil exécutif, d'un Secrétariat et des organes subsidiaires qu'elle peut être amenée à créer. À ce titre, la Commission a créé des programmes mondiaux et régionaux qui étudient et mettent en œuvre des projets spécifiques ou constituent des comités composés d'États membres intéressés par ces projets. C'est le cas des Groupes intergouvernementaux de coordination des systèmes d'alerte aux tsunamis et de mitigation dans le Pacifique (GIC/PTWS), l'océan Indien (GIC/IOTWS), les Caraïbes (GIC/CARIBE-EWS) et l'Atlantique du Nord-Est, la Méditerranée et les mers adjacentes (GIC/NEAMTWS).

REGARDER LE

SYSTÈME D'ÉVALUATION ET D'ENREGISTREMENT DES TSUNAMIS EN MER PROFONDE (DART)



STATION SISMOLOGIQUE LARGE BANDE AUTONOME À 3 COMPOSANTES



1er avril 1946. La population en fuite au moment de l'arrivée du tsunami sur le centre-ville de Hilo, Hawaii. Le tsunami a frappé de manière imprévue 4 h 30 après avoir été déclenché par un séisme de magnitude 8,1 survenu dans les îles Aléoutiennes, 3 500 km plus au Nord. Il est à l'origine du Système d'alerte aux vagues d'origine sismique des États-Unis d'Amérique (US Seismic Sea Wave Warning System) (Archives du Musée Bishop).

Un système d'alerte aux tsunamis efficace atteint toutes les personnes en danger avant que la vague ne frappe.

Un système d'alerte rapide aux tsunamis efficace est établi lorsque toutes les personnes se trouvant dans des communautés côtières vulnérables sont prêtes et réagissent de façon appropriée et en temps voulu lorsqu'elles s'aperçoivent qu'un tsunami potentiellement destructeur est en route. Il est indispensable que des alertes aux tsunamis soient diffusées en temps voulu par un centre d'alerte aux tsunamis reconnu. Lorsque ces messages d'alerte sont reçus par l'organisme gouvernemental désigné, des plans nationaux d'intervention d'urgence en cas de tsunami doivent déjà être en place afin que des mesures bien connues et qui ont fait leurs preuves soient prises immédiatement pour évaluer l'alerte sur des bases scientifiques et communiquer la ligne de conduite à suivre aux citoyens ordinaires. Des programmes de préparation aux tsunamis doivent déjà avoir démarré afin que des décisions éclairées puissent être prises sans attendre.

Les activités essentielles d'un système d'alerte efficace sont les suivantes :

- Identification de l'aléa tsunami, évaluation du risque et mesures d'atténuation visant à réduire l'impact des vagues. Les cartes d'évacuation en cas de tsunami, qui indiquent les zones inondables, sont basées sur ces informations.
- Émission d'alertes en temps voulu. Pour un tsunami éloigné, il est essentiel de surveiller constamment et en temps réel l'évolution du séisme et du niveau de la mer afin de confirmer la formation d'un tsunami destructeur et d'en alerter immédiatement la population. Dans le cas d'un tsunami local où l'on peut ne pas avoir le temps de lancer une alerte officielle, les populations doivent déjà connaître les signes naturels alertant de l'arrivée d'un tsunami et réagir immédiatement.
- Activités de sensibilisation continues et régulières. L'éducation est capitale pour bien informer les citoyens et s'assurer que les générations suivantes soient également préparées. Soutien politique, lois, règlements et responsabilité institutionnelle jouent un rôle crucial.



MONSTRE EN FACE !

Activités de recherche sur les tsunamis

Depuis le tsunami de 2004 dans l'océan Indien, la recherche sur les tsunamis a beaucoup progressé. Les enquêtes post-tsunami ont fourni des séries de données détaillées et complètes qui ont amélioré notre compréhension de ces phénomènes et donc notre capacité à réduire les pertes qui en découlent. Les scientifiques sont capables de modéliser numériquement la formation d'un tsunami, sa propagation en haute mer et son arrivée sur les côtes.

Des capteurs de pression placés au fond de l'océan et capables de mesurer les tsunamis en haute mer, fournissent des données importantes sur la propagation de ce phénomène en eaux profondes, et les communications par satellite ont permis d'utiliser les données en temps réel afin de détecter et mesurer les vagues de tsunami en eaux profondes. La NOAA a fait œuvre de pionnier en développant et en exploitant ces bouées de détection des tsunamis au cours des 20 dernières années. Les mesures qu'elles effectuent aident désormais les centres d'alerte à lancer ou annuler des avertissements et d'autres alertes avec davantage de précision. Les méthodes de modélisation numérique permettent également aux centres de diffuser des prévisions concernant les vagues, donnant ainsi aux clients des informations sur l'impact attendu de ces dernières.

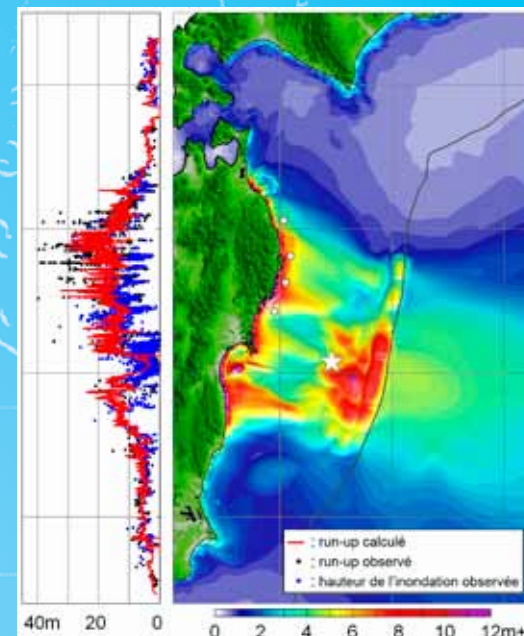
Les sismologues, en étudiant la dynamique des séismes grâce à des sismographes large bande (de 20 à 0,003 Hz), élaborent de nouvelles méthodes d'analyse du mouvement sismique et de la quantité d'énergie dégagée. Alors que la magnitude de Richter (ondes de surface) des séismes n'est pas

précise pour les valeurs supérieures à 7,5, le moment sismique et la durée à la source sont désormais utilisés pour mieux définir la quantité d'énergie dégagée et le potentiel de formation d'un tsunami. La détermination en temps réel de la profondeur du séisme, du type de faille, ainsi que de l'étendue, de la direction et de la vitesse de rupture renforce de manière significative la capacité des centres d'alerte à évaluer le potentiel de formation d'un tsunami dangereux.

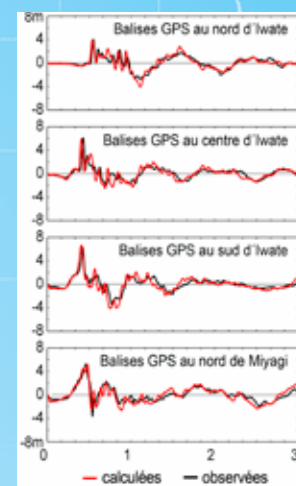
Au cours des dix dernières années, les recherches sur le terrain relatives aux paléo-tsunamis et leurs dépôts ont élargi les connaissances sur les tsunamis historiques et permis d'améliorer l'évaluation des risques. Les études structurales post-tsunami ainsi que les expériences de laboratoire en cuve à houle aident les ingénieurs à concevoir des structures résistant aux tsunamis en leur permettant de mieux comprendre comment les vagues frappent les côtes et rongent et mettent à nu les fondations des bâtiments. Des dispositions concernant la conception architecturale face aux tsunamis seront ainsi intégrées dans le Code international du bâtiment dans les prochaines années.

Les modèles d'inondation consécutive à un tsunami, qui représentent l'étendue des inondations côtières, font partie intégrante des plans de préparation au risque tsunami. Basés sur des scénarios prévoyant les pires inondations, ces modèles sont primordiaux pour définir les itinéraires et les zones d'évacuation afin de pouvoir évacuer les communautés côtières dans les plus brefs délais lorsqu'une alerte tsunami est émise.

Bien qu'il soit impossible d'empêcher un tsunami, son impact peut être atténué en préparant les communautés, en diffusant des alertes en temps voulu, en réagissant efficacement et en éduquant le public. Le Programme national américain d'atténuation des risques liés aux tsunamis est un bon exemple d'effort global visant à réduire les risques de tsunami.



Tsunami du 11 mars 2011 au Japon. À gauche: le model calculé (ligne rouge) compare le run-up observé (noir) et la hauteur d'inondation (bleu). À droite: l'amplitude maximale d'onde le long de la côte septentrionale de Tohoku. En mer, le modèle indique des amplitudes jusqu'à 11 m autour de l'épicentre (étoile), et jusqu'à 7 m au niveau des balises GPS côtières (cercle blanc). Des hauteurs maximales de run-up de 14 à 40 m ont été mesurées localement en plusieurs endroits du littoral.



Les élévations calculées de la surface de la mer sont en excellent accord avec les données collectées par les balises GPS (Y. Yamazaki and K.F. Cheung, Univ. de Hawaï).

LES FAITS

- Les tsunamis qui sévissent sur les régions côtières sont presque toujours dus à des séismes. Ces séismes peuvent avoir lieu loin ou près de l'endroit où vous vivez. Bien que des séismes se produisent dans tous les bassins océaniques du monde, la plupart ne déclenchent pas de tsunamis.
- Certains tsunamis peuvent être immenses. Le long des côtes, ils peuvent atteindre 10 mètres de hauteur ou plus (30 mètres dans les cas extrêmes) et peuvent notamment entraîner des inondations éclair. Les vagues suivantes sont souvent chargées de débris.
- Toutes les régions côtières basses peuvent être touchées par un tsunami.
- Un tsunami consiste en une série de vagues qui déferlent toutes les 5 à 60 minutes. La première vague n'est souvent pas la plus haute. Un tsunami peut rester dangereux plusieurs heures après l'arrivée de la première vague. En général, les vagues de tsunami ne forment pas de rouleaux et ne se brisent pas, alors n'essayez pas de surfer sur un tsunami !
- Les tsunamis se déplacent plus rapidement que ne peut courir une personne.
- Parfois, un tsunami provoque dans un premier temps le reflux de la mer près de la côte, découvrant ainsi les fonds marins.
- La force de certains tsunamis est énorme. De gros rochers pesant plusieurs tonnes ainsi que des bateaux et autres débris peuvent être transportés à l'intérieur des terres sur des centaines de mètres par la force des vagues du tsunami, et les maisons et les habitations peuvent être détruites. Tous ces matériaux et cette eau se déplacent avec une force incroyable et peuvent tuer ou blesser des personnes.
- Les tsunamis peuvent survenir à n'importe quel moment du jour ou de la nuit.
- Les tsunamis peuvent, depuis l'océan, remonter le long des rivières et des fleuves.
- Un tsunami peut facilement encercler des îles et être tout aussi dangereux sur des côtes qui ne sont pas face à sa source.

CE QUE VOUS DEVEZ FAIRE

Informez-vous sur le phénomène tsunami. Ces connaissances peuvent vous sauver la vie !

Partagez ces connaissances avec vos parents et amis, cela pourrait également leur sauver la vie !

- Si vous êtes à l'école et que vous entendez une alerte au tsunami, vous devez suivre les conseils des professeurs et du personnel scolaire.
- Si vous êtes chez vous et que vous entendez une alerte au tsunami, vous devez vous assurer que toute votre famille est au courant de l'alerte. Préparez à l'avance un plan d'urgence familial afin que chacun sache quoi faire. Si vous êtes dans une zone d'évacuation en cas de tsunami, votre famille doit évacuer la maison. Déplacez-vous de façon ordonnée, calme et prudente, vers le site d'évacuation ou vers tout endroit sûr hors de votre zone d'évacuation. Suivez les conseils des services d'urgence et des autorités locales.
- Si vous êtes sur la plage ou sur le littoral et que vous ressentez une secousse forte ou prolongée, réfugiez-vous immédiatement sur des hauteurs. N'ATTENDEZ PAS l'annonce d'une alerte au tsunami. En cas de tsunami, restez à l'écart des fleuves et des rivières qui se jettent dans l'océan, comme vous resteriez loin de la plage et du littoral. Un tsunami généré par un séisme local peut frapper avant qu'une alerte au tsunami puisse être annoncée.
- Les tsunamis d'origine lointaine laissent en général aux personnes assez de temps pour se rendre jusqu'à des endroits plus élevés. Pour les tsunamis

générés en champ proche, lorsque vous ressentez une secousse, vous ne disposez que de quelques minutes pour vous réfugier sur les hauteurs.

- De hauts hôtels de plusieurs étages en béton armé sont souvent implantés dans les zones côtières basses. Les étages supérieurs peuvent servir de lieu de refuge sûr en cas d'alerte au tsunami, si vous ne pouviez pas aller rapidement à l'intérieur des terres à des endroits plus élevés. Toutefois, dans votre région, il est possible que la Protection civile locale n'autorise pas ce type d'évacuation. Les habitations et les petits immeubles situés dans les zones côtières basses ne sont pas conçus pour résister à l'impact d'un tsunami. Ne restez pas dans ces structures en cas d'alerte au tsunami.
- Des récifs situés au large et des zones peu profondes peuvent contribuer à atténuer la force des vagues du tsunami, mais les grandes vagues dangereuses restent toujours une menace pour les habitants de ces zones côtières. Rester loin de toute zone côtière de faible altitude est le conseil le plus sûr en cas d'alerte au tsunami.



Aquarium d'Oga, Akita, Japon.
Voiture échouée dans le parking de l'aquarium inondé lors du tsunami survenu le 26 mai 1983 dans la mer du Japon.
(Takaaki Uda, Institut de recherche en travaux publics, Japon)

CE QUE VOUS DEVEZ FAIRE

SI VOUS ÊTES EN BATEAU OU À BORD D'UN NAVIRE

Les vagues de tsunami étant imperceptibles en haute mer, ne retournez pas au port si vous êtes en mer et qu'une alerte au tsunami concernant votre zone a été émise. Les tsunamis peuvent occasionner des changements rapides du niveau de la mer et des courants dangereux imprévisibles dans les ports et les escales.

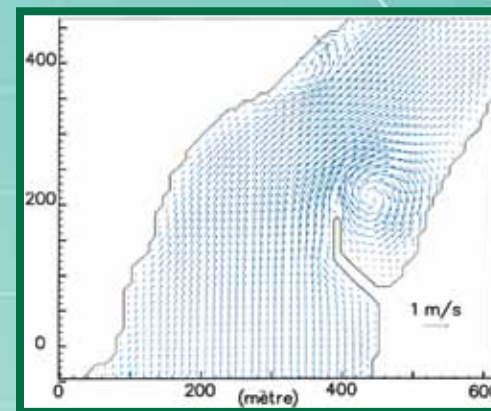
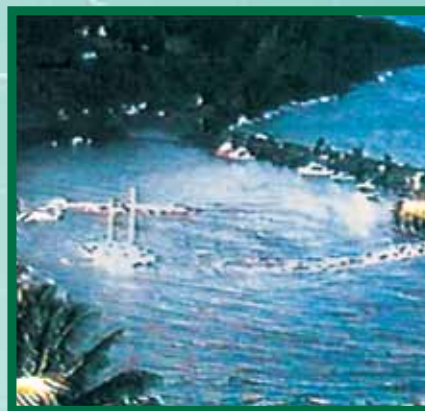
Si vous avez le temps de déplacer votre bateau ou navire du port vers le large à plus de 100 m de profondeur (après que vous ayez appris qu'une alerte au tsunami a été lancée), vous devez tenir compte des indications suivantes:

- La plupart des grands ports et escales sont sous le contrôle d'autorités portuaires et/ou d'un système de contrôle du trafic maritime. Ces autorités dirigent les opérations pendant les périodes de vigilance accrue, allant jusqu'à ordonner le déplacement obligatoire des bateaux quand cela est jugé nécessaire. Restez en contact avec les autorités au cas où le déplacement obligatoire des bateaux serait ordonné.

- Les ports plus petits ne sont généralement pas sous le contrôle d'autorités maritimes. Si vous apprenez qu'une alerte au tsunami a été émise, assurez-vous d'avoir le temps d'emmener votre bateau en eau profonde. Les propriétaires de petits bateaux pourront juger plus sûr de laisser leur bateau à quai et de se déplacer vers les hauteurs, surtout en cas de tsunami généré en champ proche. Des conditions météorologiques sévères simultanées (grosse mer au large) pourraient présenter un risque plus grave pour les petits bateaux : la seule solution reste alors de vous réfugier vers un endroit plus élevé.
- L'énergie des vagues dévastatrices et les courants imprévisibles peuvent affecter les ports pendant une certaine période après l'impact initial du tsunami sur la côte. Contactez les autorités portuaires avant de retourner au port en vous assurant que les conditions soient sûres pour la navigation et l'accostage.



Banda Aceh, Sumatra, Indonésie. Le tsunami du 26 décembre 2004 a complètement rasé les villes et villages côtiers, ne laissant derrière lui que du sable, de la boue et de l'eau (au centre) là où se trouvaient autrefois des communautés prospères composées d'habitations, de bureaux et d'espaces verts (en haut) (Imagerie satellite DigitalGlobe QuickBird, photo : US Navy).



30 juillet 1995, tsunami au Chili. À gauche : Vue des effets du tsunami et des tourbillons qui se sont formés derrière la digue de protection dans la baie de Tahauku, aux Îles Marquises (Polynésie française), à plusieurs milliers de kilomètres de la source du tsunami. À droite : Simulation des courants dans la baie de Tahauku à partir d'un modèle numérique du tsunami chilien. La modélisation reproduit les mêmes types de courants océaniques que ceux observés sur la photo.

VEZ FAIRE



ÊTRE INFORMÉ RIME AVEC SÉCURITÉ

Hachinohe, Japon, 11 mars 2011 (JAMSTEC).

Le tsunami a frappé la côte est du Japon 25 minutes après le séisme, écrasant les maisons, inondant des bâtiments de 4 étages et pénétrant jusqu'à 6 km à l'intérieur des terres. Les alertes au tsunami diffusées à la télévision et à la radio trois minutes après le séisme ont été immédiatement suivies de sirènes donnant le signal d'évacuation. Grâce aux activités de préparation aux tsunamis qui ont permis d'identifier les zones à risque, d'effectuer des exercices d'évacuation en lieu sûr et de former le personnel et les élèves des écoles ainsi que la population, des vies ont pu être sauvées. Près de 19 000 personnes ont péri, mais elles représentent que 5 % environ de la population exposée. Néanmoins, comme lors des précédents tsunamis, on compte parmi les victimes un nombre disproportionné de personnes âgées, de femmes et de jeunes enfants.



Aussi dangereux que puissent être les tsunamis, ils ne sont pas très fréquents. Votre plaisir d'aller à la plage et de profiter de la mer ne doit pas être gâché par cet aléa naturel. Mais, si vous pensez qu'un tsunami peut arriver, parce que le sol bouge sous vos pieds de manière intense ou prolongée, que la mer se retire en découvrant les fonds marins, que vous entendez comme le grondement d'un train, ou que vous êtes au courant d'une alerte, informez vos parents et vos amis, et



Côte nord d'Oahu, Hawaï. Pendant le tsunami généré par le séisme du 9 mars 1957 dans les îles Aléoutiennes, des personnes imprudentes, ignorant que des vagues de tsunami allaient revenir inonder le littoral en quelques minutes, cherchent des poissons sur le récif découvert. (Honolulu Star Bulletin)

**Dirigez-vous
Rapidement à
L'intérieur Des
Terres et vers
Les Hauteurs !**



REMERCIEMENTS

CETTE BROCHURE A ÉTÉ ÉLABORÉE AVEC LE SOUTIEN :

De la Commission océanographique intergouvernementale (COI) de l'UNESCO

Du Centre international d'information sur les tsunamis : Partenariat UNESCO/COI – NOAA

Du Département analyse, surveillance, environnement, France

Du Département du commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), États-Unis d'Amérique

LES CONSEILS TECHNIQUES ONT ÉTÉ FOURNIS PAR :

Le Centre international d'information sur les tsunamis : Partenariat UNESCO/COI – NOAA, <http://www.tsunamiwave.info>

Le Département analyse, surveillance, environnement, France, <http://www-dase.cea.fr>

Le Service météorologique national des États-Unis

Le Centre Richard H. Hagemeyer d'alerte aux tsunamis dans le Pacifique, <http://ptwc.weather.gov/>

Le Centre d'alerte aux tsunamis de la côte ouest et de l'Alaska, <http://wcatwc.arh.noaa.gov>

Le National Ocean Service, États-Unis d'Amérique, <http://www.nos.noaa.gov>

Le National Geophysical Data Centre, États-Unis d'Amérique, <http://www.ngdc.noaa.gov>

Le Pacific Marine Environmental Laboratory, États-Unis d'Amérique <http://www.pmel.noaa.gov>

Le Service hydrographique et océanographique de la marine, Chili, <http://www.shoa.cl>

La Faculté des sciences et des technologies de l'océan et de la Terre, Université de Hawaii, <http://www.soest.hawaii.edu>

DES INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES SUR LES SYSTÈMES D'ALERTE AUX TSUNAMIS ET DE MITIGATION DE LA COI, LES TSUNAMIS ET LE CIIT PEUVENT ÊTRE OBTENUES AUPRÈS DE LA



Commission océanographique intergouvernementale (COI)
Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO)
1, rue Miollis
75732 Paris Cedex 15 France
Tél. : +33 1 45 68 39 83
Fax : +33 1 45 68 58 12
<http://ioc-unesco.org/>
<http://www.ioc-tsunami.org/>



Centre international d'information sur les tsunamis
Partenariat UNESCO/COI – NOAA
737 Bishop St., Suite 2200
Honolulu, HI 96813-3213, États-Unis d'Amérique
Tel: <1> 808-532-6422
Fax: <1> 808-532-5576
E-mail: itic.tsunami@noaa.gov
<http://itic.ioc-unesco.org>
<http://www.tsunamiwave.info>

IMANUSIT



2012