



Organisation
des Nations Unies
pour l'éducation,
la science et la culture



Commission océanographique intergouvernementale

A stylized graphic of a globe with a large, blue, swirling wave superimposed over it, representing a tsunami. The globe is light blue and white, and the wave is a darker blue with white highlights.

GLOSSAIRE SUR LES TSUNAMIS

2016

Série technique n° 85


Commission océanographique intergouvernementale

GLOSSAIRE SUR LES TSUNAMIS

2016

Série technique n° 85

UNESCO



Couverture : Logo de la vague internationale de tsunami (ITSU) reproduit avec l'aimable autorisation d'Aqualog, France.

Commission océanographique intergouvernementale. Troisième édition. Glossaire sur les tsunamis, 2016. Paris, UNESCO. Série technique de la COI, n° 85. (Disponible en anglais, français, espagnol, arabe et chinois) (IOC/2008/TS/85rev.3)

Publié par la Commission océanographique intergouvernementale (COI) de l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture

UNESCO/COI, 7 Place de Fontenoy, 75 352 Paris 07 SP, France,
Tél. : +33 1 45 68 39 83/84, Fax : +33 1 45 68 58 12.
<http://ioc.unesco.org> ; tsunami.ioc@unesco.org

Imprimé par la COI/UNESCO et
la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) / ITIC: Centre international
d'information sur les tsunamis

SOMMAIRE

Préface & Remerciements	5
1. Classification des tsunamis	6
2. Termes généraux relatifs aux tsunamis	14
3. Relevés et mesures	23
4. Marées, marégraphes et niveau de la mer.....	29
5. Système d'alerte aux tsunamis : acronymes et organisations	34
6. Bibliographie	44
7. Manuels scolaires et manuels de l'enseignement	47
8. Index.....	47



PRÉFACE

La coordination internationale d'un système d'alerte aux tsunamis a pris naissance dans le Pacifique en 1968 sous l'égide de la Commission océanographique intergouvernementale de l'UNESCO, en coopération avec le Centre international d'information sur les tsunamis (CIIT), créé le 12 novembre 1965 par la Commission océanographique intergouvernementale (COI) et situé dans les locaux du service météorologique national de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* des États-Unis.

Dès 1988, les experts et les États membres ont reconnu la nécessité de normaliser la terminologie relative aux tsunamis sous la forme d'un glossaire, qui a obtenu l'approbation de la communauté scientifique. La première édition du Glossaire sur les tsunamis (Série technique de la COI, n° 37, 1991), publiée par la COI et le CIIT, renfermait plus de 2 000 termes et définitions relevant de disciplines telles que la géophysique, l'océanographie, l'ingénierie et les mathématiques.

À la suite du tsunami survenu dans l'océan Indien en décembre 2004, la COI a été chargée par les Nations Unies de coordonner la mise en place de systèmes régionaux analogues d'alerte aux tsunamis et autres risques côtiers, et de mitigation, dans la mer des Caraïbes, l'Atlantique du Nord-Est et la Méditerranée ainsi que l'océan Indien, en complément de celui de l'océan Pacifique. Des groupes d'experts issus de différents contextes régionaux ont

élaboré une définition commune des termes à employer dans le cadre de la mise en place des quatre systèmes régionaux. Sous la coordination du CIIT, ces efforts internationaux ont donné lieu, en 2008, à une nouvelle édition du Glossaire sur les tsunamis (Série technique de la COI, n° 85). Dans les années qui ont suivi, le Glossaire a été traduit et diffusé en anglais (version originale), arabe, chinois, français, indonésien, espagnol, ourdou et plusieurs autres langues.

Depuis 2015, les modifications apportées au contenu du Glossaire sur les tsunamis sont soumises à la validation du Groupe de travail sur les systèmes d'alerte aux tsunamis et autres aléas liés au niveau de la mer, et de mitigation (TOWS-WG), en vue d'être approuvées ultérieurement par les organes directeurs de la COI. Par le biais de ce mécanisme, on espère la reconnaissance et l'adoption par les États membres de cette publication en tant que norme validée dans ce domaine.

L'édition 2016 du Glossaire sur les tsunamis contient la définition de termes techniques et des informations sur les groupes d'experts et de gouvernance d'alerte aux tsunamis et de mitigation.

Les versions du Glossaire rédigées dans les langues de travail de l'UNESCO sont établies par la Division des conférences, des langues et des documents de l'UNESCO.

REMERCIEMENTS

Le Centre international d'information sur les tsunamis (CIIT) a joué un rôle essentiel dans l'élaboration et l'actualisation régulière du Glossaire sur les tsunamis. M. George Pararas-Carayannis (CIIT) a dirigé la publication de la première édition du Glossaire, dans laquelle figurent les remerciements aux nombreux contributeurs.

Depuis, plusieurs scientifiques et spécialistes de premier plan ont collaboré pour améliorer le contenu du Glossaire

sur les tsunamis dans les versions ultérieures établies par le CIIT et la COI, parmi lesquels Fumihiko Imamura, Modesto Ortiz, Kenji Satake, François Schindelé, Fred Stephenson, Costas Synolakis et Masahiro Yamamoto. De vifs remerciements sont adressés à Laura Kong (CIIT) pour avoir assuré la coordination des récentes versions du Glossaire.



*Le tsunami des Îles Aléoutiennes déferlant sur Hilo (Hawaii), le 1^{er} avril 1946.
Crédit photographique : Archives du Bishop Museum.*

1. CLASSIFICATION DES TSUNAMIS

Caractéristiques du phénomène

Un tsunami se propage à partir de sa région d'origine sous forme d'une série d'ondes. Sa vitesse dépend de la profondeur de l'eau et, par conséquent, les vagues qu'il génère subissent des accélérations ou des décélérations selon que la profondeur du fond marin au-dessus duquel elles passent croît ou décroît. Ce processus fait également varier la direction de propagation des vagues et peut en focaliser ou défocaliser l'énergie. En haute mer, les vagues peuvent se déplacer à des vitesses allant de 500 à 1 000 kilomètres-heure. Cependant, à proximité du rivage, le tsunami ralentit, et sa vitesse n'atteint plus que quelques dizaines de kilomètres-heure. La hauteur du tsunami dépend également de la profondeur de l'eau. Un tsunami d'à peine un mètre de hauteur en plein océan peut s'élever à des dizaines de mètres en atteignant le littoral. Contrairement aux vagues océaniques ordinaires d'origine éolienne, qui ne perturbent que la surface de l'eau, les ondes d'un tsunami propagent leur énergie jusqu'au fond de la mer. Près du rivage, cette énergie est concentrée dans le sens vertical en raison de la diminution de la profondeur et dans le sens horizontal en raison du raccourcissement de la longueur d'onde dû au ralentissement des vagues.

La période des tsunamis (durée du cycle d'une vague) peut aller de quelques minutes seulement jusqu'à une heure voire, exceptionnellement, davantage. Lorsqu'il

atteint la côte, le tsunami peut prendre diverses formes selon la taille et la période des vagues, la bathymétrie à proximité du rivage et la forme du littoral, l'état de la marée et d'autres facteurs. Dans certains cas, le tsunami peut n'entraîner qu'une inondation relativement anodine des zones côtières basses, submergeant les terres comme une marée qui monte rapidement. Dans d'autres cas, il peut déferler comme un mascaret – muraille verticale d'eau turbulente chargée de débris qui peut s'avérer destructrice. Dans la plupart des cas, les crêtes des vagues sont également précédées d'une baisse du niveau de la mer, ce qui fait reculer la ligne de côte, parfois jusqu'à un kilomètre ou davantage. Des courants forts et inhabituels accompagnent parfois aussi les tsunamis, même petits.

Les dégâts causés par les tsunamis sont le résultat direct de trois facteurs : l'inondation, l'impact des vagues sur les constructions et les autres structures, et l'érosion. Les décès sont dus à la noyade et à des chocs physiques ou d'autres traumatismes lorsque les personnes sont emportées dans les vagues de tsunami turbulentes et remplies de débris. De forts courants engendrés par des tsunamis ont rongé les fondations de ponts et de digues dont ils ont provoqué l'effondrement. Les forces de traînée et la flottabilité ont déplacé des maisons et renversé des wagons. La force des vagues déchaînées par des tsunamis a démolé des constructions à ossature et d'autres infrastructures. Les débris flottants, y compris les bateaux

et voitures qui se transforment en projectiles dangereux susceptibles de s'écraser sur des immeubles, des jetées et d'autres véhicules, provoquent à leur tour des dégâts considérables. Des bateaux et des installations portuaires ont été endommagés sous l'effet de la lame engendrée par des tsunamis, même faibles. Les incendies provoqués par le déversement d'hydrocarbures ou la combustion de navires endommagés dans les ports, ou par la rupture d'installations de stockage et de raffinage de pétrole situées sur la côte, peuvent causer des dégâts plus importants que ceux directement imputables aux tsunamis. La pollution par les produits chimiques et par les eaux usées à la suite de destructions peut causer d'autres dégâts secondaires. Les dommages que subissent les installations d'admission, d'évacuation et de stockage peuvent également être source de danger. L'effet potentiel du phénomène de retrait du tsunami, qui fait qu'en se retirant, les eaux découvrent des admissions d'eau de refroidissement desservant des installations nucléaires, est particulièrement préoccupant.

Maremoto

Tsunami en espagnol.



Dégâts causés par le tsunami qui a frappé le Chili le 22 mai 1960.
Crédit photographique : Ilustre Municipalidad de Maullin, USGS Circular 1187

Microtsunami

Tsunami de si faible amplitude qu'il faut l'observer à l'aide d'instruments car il est difficilement décelable à l'œil nu.

Paléotsunami

Tsunami antérieur à la constitution d'archives historiques, ou pour lequel il n'existe pas de documentation écrite. La recherche sur les paléotsunamis repose essentiellement sur l'identification, la cartographie et la datation des dépôts abandonnés par les tsunamis sur les zones côtières, et leur mise en relation avec des sédiments semblables trouvés ailleurs, à proximité, dans la région ou de l'autre côté du bassin océanique. Dans un cas, les recherches ont éveillé de nouvelles craintes quant à l'éventualité de grands séismes et tsunamis le long de la côte nord-ouest

de l'Amérique du Nord. Dans un autre, celui de la région de l'archipel des Kouriles et du Kamtchatka, on a recherché beaucoup plus loin dans le passé des données concernant les tsunamis. À mesure qu'il se poursuit, le travail dans ce domaine apportera peut-être suffisamment d'informations nouvelles sur les phénomènes passés pour aider à évaluer le danger de tsunami.

Sédiments de tsunamis

Sédiments déposés par un tsunami. Des dépôts sédimentaires de tsunamis trouvés dans les couches stratigraphiques du sol donnent des informations sur les tsunamis historiques et les paléotsunamis. La découverte de dépôts de même datation à différents endroits, parfois de part et d'autre d'un bassin océanique et loin de la source du tsunami, peut servir à cartographier et déduire la distribution des inondations et des effets du tsunami.



Couches de sédiments déposés par les vagues successives du tsunami du 26 décembre 2004 dans l'océan Indien, observées à Banda Aceh, Indonésie.
Crédit photographique : Yuichi Nishimura, Université d'Hokkaido

Séisme tsunamigène

Séisme qui, compte tenu de sa magnitude, provoque un tsunami anormalement puissant (Kanamori, 1972). Les séismes tsunamigènes se caractérisent notamment par de longues durées de rupture par rapport à leur magnitude, une rupture sur la partie superficielle de l'interface des plaques (provoquée à proximité de la fosse par un mécanisme de chevauchement à faible pendage) et une forte libération d'énergie à basses fréquences. Ce sont également des séismes lents, dont le glissement le long de la faille est plus lent que lors d'un séisme classique. Les derniers en date ont eu lieu au Nicaragua en 1992, à Chimbote (Pérou) en 1996, et en Indonésie, à Java en 1994 et 2006, et à Mentawai, en 2010.

Télétsunami ou tsunami généré à distance ou tsunami en champ lointain

Tsunami déclenché par une source lointaine, généralement distante de plus de 1 000 kilomètres ou située à plus de 3 heures de temps de parcours.

Les tsunamis à l'échelle d'un océan ou en champ lointain sont moins fréquents mais plus dangereux que les tsunamis régionaux. En général, il s'agit au départ de tsunamis locaux qui provoquent des dégâts importants près de la source, puis les vagues poursuivent leur parcours à travers tout le bassin océanique avec suffisamment d'énergie pour provoquer d'autres pertes matérielles et humaines sur des côtes situées à plus d'un millier de kilomètres de la source. Au cours des deux derniers siècles, il y a eu au moins 28 tsunamis destructeurs à l'échelle d'un océan, dont 14 ont fait des morts à plus de 1 000 km de la source.

Dans l'histoire récente, le plus dévastateur à l'échelle du Pacifique a été déclenché par un fort séisme au large du Chili, le 22 mai 1960. Toutes les villes côtières de ce pays situées entre le 36° et le 44° parallèle ont été soit détruites, soit gravement endommagées sous l'effet du tsunami et du séisme. Le bilan de ces deux phénomènes réunis est de 2 000 morts, 3 000 blessés, 2 millions de sans-abri et 550 millions de dollars de dégâts. En face de la ville côtière de Corral, au Chili, les vagues ont atteint, selon les estimations, plus de 20 mètres de haut. Le tsunami a fait 61 morts à Hawaii, 20 aux Philippines et 139 au Japon. Les dégâts ont été évalués à 50 millions de dollars au Japon, 24 millions à Hawaii et plusieurs millions encore le long de la côte ouest des États-Unis et du Canada. Loin de la source, les vagues formaient, dans certaines zones, de légères oscillations, alors qu'elles atteignaient plus de 12 mètres à Pitcairn, 11 mètres à Hilo (Hawaii) et 6 mètres en certains endroits du Japon.



*Le tsunami du 26 décembre 2004 a détruit la ville voisine de Banda Aceh, ne laissant debout que de rares constructions.
Crédit photographique : Yuichi Nishimura, Université d'Hokkaido*

La pire catastrophe de l'histoire imputable à un tsunami s'est produite dans l'océan Indien le 26 décembre 2004, lorsqu'un séisme de magnitude 9,3, au large de la côte nord-ouest de Sumatra, en Indonésie, a provoqué un tsunami qui, traversant tout l'océan Indien, a frappé la Thaïlande et la Malaisie à l'est, le Sri Lanka, l'Inde, les Maldives et l'Afrique à l'Ouest. Près de 228 000 personnes y ont perdu la vie et plus d'un million ont été déplacées, perdant logis, biens et moyens d'existence. Le nombre des morts et l'étendue des destructions ont provoqué une réaction immédiate des principaux responsables de la planète, qui a abouti en 2005 à la mise en place du Système d'alerte aux tsunamis et de mitigation dans l'océan Indien. Cet événement a aussi provoqué une prise de conscience mondiale de l'aléa tsunami, et de nouveaux systèmes ont été mis en place dans les Caraïbes, en Méditerranée et dans l'Atlantique.

Tsunamis ayant fait des morts à plus de 1 000 km de leur source

Date			Nombre estimé de morts ou disparus			
Jour	Mois	Année	Lieu du séisme	Localement	Lieu éloigné	Lieux éloignés où des victimes ont été signalées
7	11	1837	Sud du Chili	0	16	États-Unis (Hawaii)
13	8	1868	Nord du Chili**	* 25 000	7	Nouvelle-Zélande, Samoa, sud du Chili
10	5	1877	Nord du Chili	Centaines	Milliers	Fidji, Japon, Pérou, États-Unis (Hawaii)
27	8	1883	Krakatau (Indonésie)	36 000	1	Sri Lanka
15	1	1899	Papouasie-Nouvelle-Guinée	0	Centaines	Îles Carolines, Îles Salomon
9	8	1901	Îles de la loyauté (Nouvelle Calédonie)	0	Plusieurs	Îles Santa Cruz
3	2	1923	Kamchatka (Russie)	2	1	États-Unis (Hawaii)
27	11	1945	Côte du Makran (Pakistan)	* 4 000	Quelques-uns	Inde
1	4	1946	Île d'Unimak, Alaska (États-Unis)	5	159	États-Unis (Californie, Hawaii)
22	5	1960	Côte centrale du Chili	1 000	222	Japon, Philippines, États-Unis (Californie, Hawaii)
28	3	1964	Baie du Prince William, Alaska (États-Unis)	106	18	États-Unis (Californie, Oregon)
26	12	2004	Banda Aceh (Indonésie)***	* 175 827	52 071	Bangladesh, Inde, Kenya, Maldives, Myanmar, Seychelles, Somalie, Afrique du Sud, Sri Lanka, Tanzanie, Yémen
28	3	2005	Sumatra (Indonésie)	0	10	Sri Lanka (décès survenus lors de l'évacuation)
11	3	2011	Tohoku (Japon)****	* 18 715	2	Indonésie, États-Unis (Californie)

* Peut inclure les morts causées par le séisme ** Morts aux niveaux local et régional au Chili et au Pérou

*** Morts aux niveaux local et régional en Indonésie, en Malaisie et en Thaïlande ****Morts aux niveaux local et régional au Japon

Tsunami



Dégâts causés sur le front de mer de Hilo (Hawaii) par le tsunami qui a traversé tout le Pacifique depuis l'île d'Unimak (Îles Aléoutiennes) le 1^{er} avril 1946

Mot japonais signifiant vague (« nami ») dans un port (« tsu »). Série d'ondes de longueur et de période extrêmement grandes, généralement provoquées par des perturbations liées au déclenchement de séismes sous le fond de la mer ou à proximité. [Également appelées vagues sismiques et, improprement, raz-de-marée.] Une éruption volcanique, un glissement de terrain sous-marin ou un éboulement côtier peuvent aussi provoquer un tsunami, de même que la chute d'une grosse météorite dans la mer.

Ces vagues peuvent atteindre des dimensions colossales et traverser des bassins océaniques d'un bout à l'autre avec une faible perte d'énergie. Elles progressent comme des ondes de gravité ordinaires, de période généralement comprise entre 10 et 60 minutes. Les vagues, dont la cambrure et la hauteur augmentent en approchant des eaux peu profondes, inondent les basses terres et, lorsque la topographie sous-marine locale provoque une cambrure extrême, peuvent se briser et occasionner de graves dégâts. Les tsunamis n'ont aucun lien avec les marées ; l'appellation raz-de-marée, communément utilisée, est totalement erronée.



Tsunami du 26 mai 1983, provoqué par un séisme en mer du Japon, approchant de l'île d'Okushiri, au Japon. Crédit photographique : Université de Tokai

Tsunami à l'échelle d'un océan ou tsunami à l'échelle d'un bassin océanique

Tsunami capable de provoquer d'importants dégâts, non seulement aux abords immédiats de sa source, mais dans un océan tout entier. Tous les tsunamis à l'échelle d'un océan ont été provoqués par des séismes majeurs. Synonyme de télétsunami ou tsunami généré à distance ou tsunami en champ lointain.

Tsunami historique

Un tsunami dont on retrouve dans l'histoire la trace écrite sous forme d'un témoignage oculaire ou d'une observation instrumentale.

Tsunami local

Tsunami engendré par une source proche et dont les effets destructeurs se limitent aux côtes situées à une distance inférieure à la distance parcourue en moins d'une heure



Des masses d'eau atteignant plus de 10 mètres de hauteur et déferlant à plus de 6 mètres par seconde ont renversé et traîné des bâtiments de trois étages sur près de 50 mètres lors du tsunami qui a frappé le Japon le 11 mars 2011

par le tsunami, soit généralement dans un rayon d'environ 200 kilomètres. Un tsunami local est le plus souvent généré par un séisme, mais peut aussi être provoqué par un glissement de terrain ou une coulée pyroclastique lors d'une éruption volcanique. Dans l'histoire, 90 % des dégâts causés par des tsunamis l'ont été par des tsunamis locaux.

Tsunami météorologique (ou météo-tsunami)

Phénomène semblable à un tsunami causé par des perturbations météorologiques ou atmosphériques. Ces vagues peuvent être produites par des ondes de gravité atmosphériques, des sauts de pression, des passages de front, des grains de vent, des coups de vent, des typhons, des ouragans et autres sources atmosphériques. Les météo-tsunamis ont les mêmes échelles temporelles et spatiales que les vagues de tsunami et peuvent de la même manière dévaster des zones côtières, en particulier dans les baies et détroits caractérisés par une forte amplification et des propriétés de résonance bien définies (tels que le port de Ciutadella, aux Baléares, la baie de Nagasaki, au Japon, le port de Longkou, en Chine, et les baies de Vela Luka, Stari Grad et Mali Ston, en Croatie). Ces phénomènes sont parfois appelés « rissaga ».

Tsunami régional

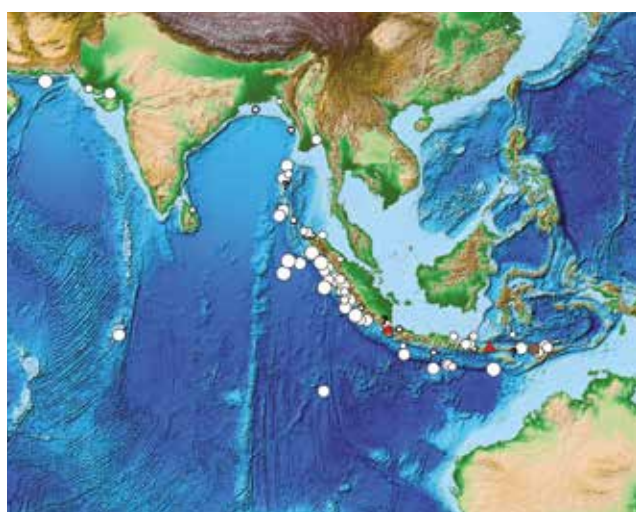
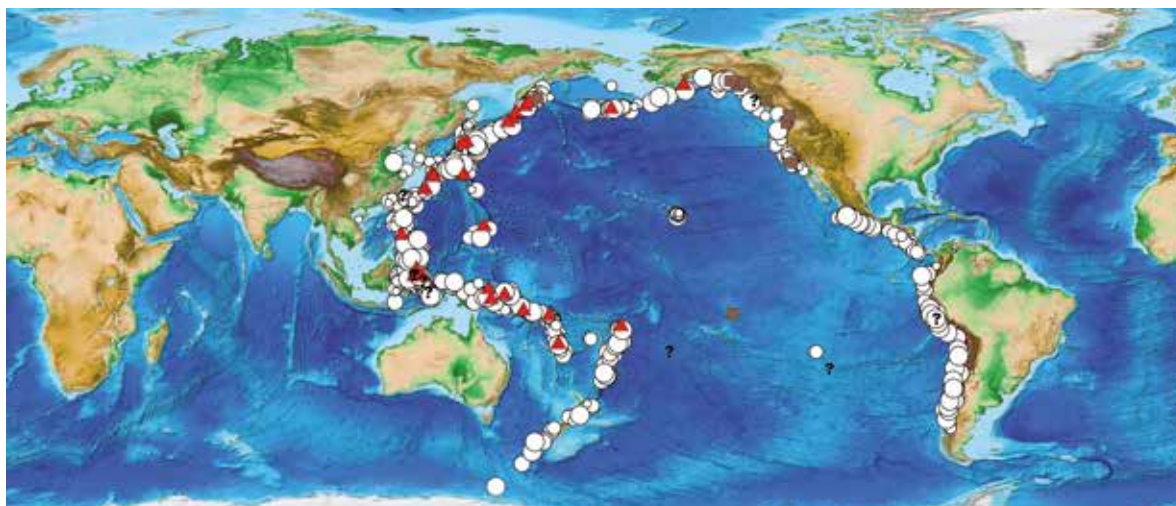
Tsunami capable de provoquer des dégâts dans une région géographique donnée, généralement dans un rayon d'un millier de kilomètres à partir de sa source ou équivalent à la distance parcourue en une à trois heures par le tsunami. Dans certains cas, les tsunamis régionaux ont aussi des effets très limités et localisés en dehors de la région.

La plupart des tsunamis destructeurs sont classés comme locaux ou régionaux. Nombre de victimes et de dégâts matériels sont aussi imputables à ces tsunamis. Entre 1975 et mi-2012, on a dénombré 39 tsunamis locaux ou régionaux qui ont fait 260 000 morts et des milliards de dollars de dégâts matériels ; 26 ont eu lieu dans le Pacifique et dans les mers adjacentes.

Ainsi, dans le Pacifique, un tsunami régional qui s'est produit en 1983 dans la mer du Japon a dévasté les régions côtières du Japon, de la Corée et de la Russie, causant plus de 800 millions de dollars de dégâts et plus d'une centaine de morts. Puis, après un répit de neuf ans où un seul phénomène a eu lieu provoquant un seul décès, 11 tsunamis localement destructeurs se sont produits en l'espace de sept ans, entre 1992 et 1998, faisant plus de 2 700 morts et des centaines de millions de dollars de dégâts matériels. Dans la plupart de ces cas, les efforts déployés à l'époque pour atténuer les effets des tsunamis

n'ont pu prévenir des pertes en vies humaines et des dégâts de grande ampleur. On peut cependant réduire les pertes à l'avenir en densifiant le réseau de centres d'alerte et de stations sismographiques et marégraphiques, en

améliorant les moyens de communication afin d'émettre des alertes en temps utile et en mettant en place de meilleurs programmes de prévention et d'éducation.



Les quatre vues ci-dessus montrent la source confirmée des tsunamis qui se sont produits dans l'océan Pacifique, dans l'océan Indien, en mer Méditerranée et dans la mer des Caraïbes. Les symboles indiquent la cause du tsunami : un carré marron pour les glissements de terrain, un triangle rouge pour les éruptions volcaniques et un point d'interrogation pour les causes indéterminées ; les séismes sont représentés par un rond blanc dont la taille varie pour en indiquer la magnitude.

- Les glissements de terrain
- Les éruptions volcaniques
- ? Les causes indéterminées
- Les séismes : la taille du rond blanc varie pour en indiquer la magnitude

Tsunamis locaux et régionaux ayant fait des morts depuis 1975

Date				Nombre estimé de morts ou disparus
Jour	Mois	Année	Source	
1975	10	31	Fosse des Philippines	1
1975	11	29	Hawaïi (États-Unis)	2
1976	8	16	Baie de Moro (Philippines)	4 376
1977	8	19	Sumbawa (Indonésie)	189
1979	7	18	Île de Lembata (Indonésie)**	1 239
1979	9	12	Irian Jaya (Indonésie)	100
1979	10	16	Côte d'Azur (France)	9
1979	12	12	Narino (Colombie)	* 600
1981	9	1	Îles Samoa	2
1983	5	26	Noshiro (Japon)	100
1988	8	10	Îles Salomon	1
1991	4	22	Limon (Costa Rica)	2
1992	9	2	Large du Nicaragua	170
1992	12	12	Mer de Florès (Indonésie)	1 169
1993	7	12	Mer du Japon	208
1994	2	15	Sumatra (Indonésie)	250
1994	10	8	Halmahera (Indonésie)	1
1994	11	4	Skagway, Alaska (États-Unis)**	1
1994	11	14	Archipel des Philippines	* 81
1995	5	14	Timor (Indonésie)	11
1995	10	9	Manzanillo (Mexique)	1
1996	1	1	Sulawesi (Indonésie)	9
1996	2	17	Irian Jaya (Indonésie)	110
1996	2	21	Côte Nord du Pérou	12
1998	7	17	Papouasie-Nouvelle-Guinée	2 205
1999	8	17	Baie d'İzmit (Turquie)	155
1999	11	26	Archipel de Vanuatu	5
2001	6	23	Côte Sud du Pérou	26
2004	12	26	Banda Aceh (Indonésie)	** 227 898
2005	3	28	Sumatra (Indonésie)	10
2006	3	14	Île de Seram (Indonésie)	4
2006	7	17	Java (Indonésie)	802
2007	4	1	Îles Salomon	* 52
2007	4	21	Sud du Chili	10
2009	9	29	Îles Samoa	192
2010	1	12	Haïti	7
2010	2	27	Sud du Chili	156
2010	10	25	Mentawai (Indonésie)	431
2011	3	11	Tohoku (Japon)	** 18 717
2011	3	11	Tohoku (Japon)	259 314

* peut inclure les décès causés par le séisme

** tsunami provoqué par une éruption volcanique

^ inclut les personnes décédées/disparues à proximité et en dehors de la zone d'origine

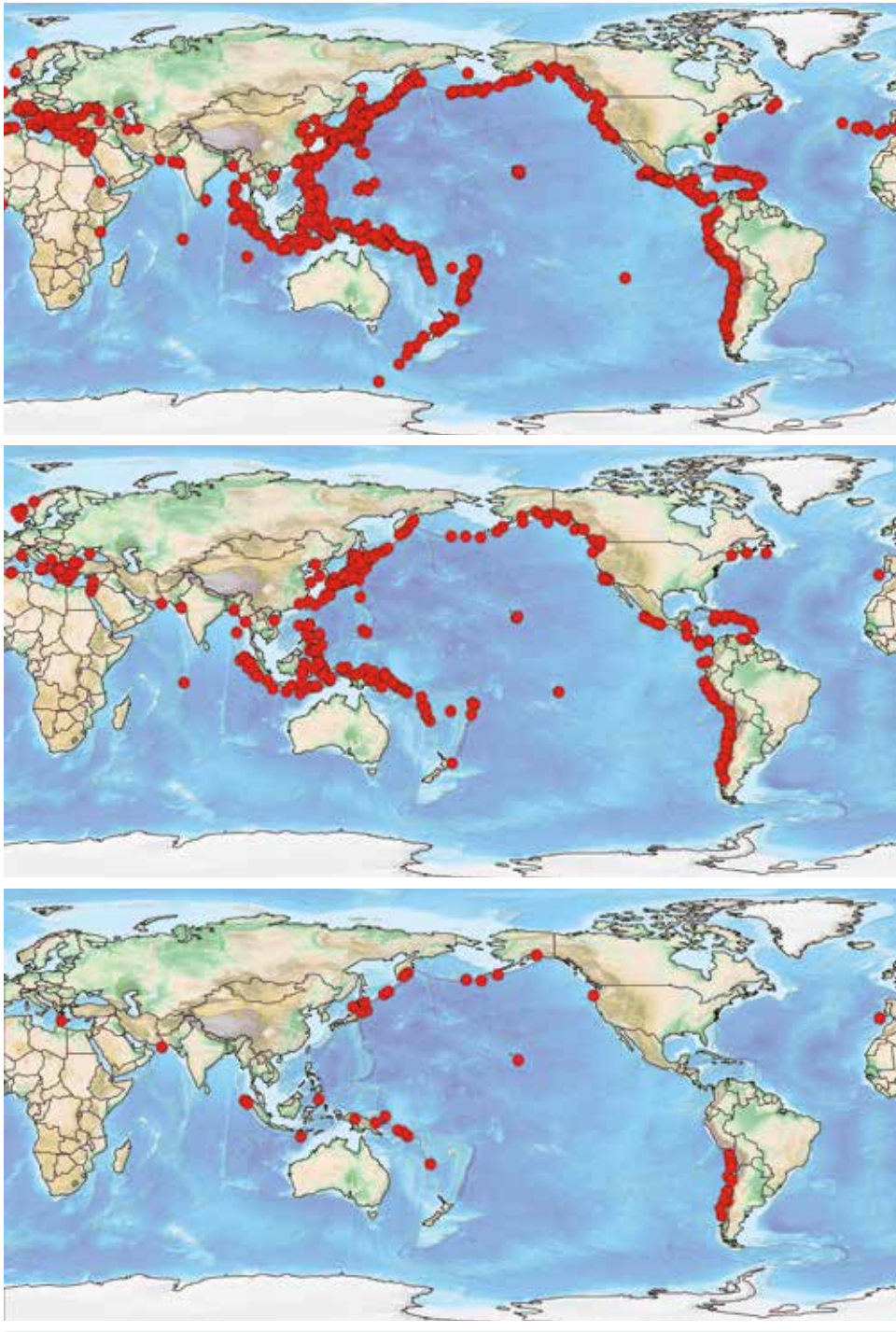
Tsunamis locaux et régionaux ayant fait 2 000 morts ou davantage

Date				Nombre estimé de morts ou disparus
Jour	Mois	Année	Source	
21	7	365	Crète (Grèce)	5 700
2	8	887	Niigata (Japon)	2 000
31	10	1341	Préfecture d'Aomori (Japon)	2 600
20	9	1498	Mer d'Enshunada (Japon)	31 000
8	2	1570	Côte centrale du Chili	2 000
18	1	1586	Baie d'Ise (Japon)	* 8 000
3	2	1605	Nankaido (Japon)	5 000
2	12	1611	Sanriku (Japon)	5 000
17	2	1674	Mer de Banda (Indonésie)	2 244
20	10	1687	Côte Sud du Pérou	* 5 000
7	6	1692	Port Royal (Jamaïque)	2 000
30	12	1703	Péninsule de Boso (Japon)	* 5 233
28	10	1707	Mer d'Enshunada (Japon)	2 000
28	10	1707	Nankaido (Japon)	* 5 000
29	10	1746	Côte centrale du Pérou	4 800
20	5	1751	Nord-Ouest de Honshu (Japon)	2 100
1	11	1755	Lisbonne (Portugal)	* 50 000
24	4	1771	Archipel de Ryukyu (Japon)	13 486
2	5	1783	Détroit de Messine (Italie)	* 30 000
21	5	1792	Île de Kyushu (Japon)**	5 443
24	12	1854	Nankaido (Japon)	* 3 000
27	8	1883	Krakatau (Indonésie)**	25 000
15	6	1896	Sanriku (Japon)	36 000
29	9	1899	Mer de Banda (Indonésie)	* 27 122
1	9	1923	Baie de Sagami (Japon)	2 144
2	3	1933	Sanriku (Japon)	3 022
26	6	1941	Mer d'Andaman (Inde)	5 000
16	8	1976	Golfe de Moro (Philippines)	4 456
12	12	1992	Mer de Florès (Indonésie)	* 2 500
17	7	1998	Papouasie-Nouvelle-Guinée	2 205
26	12	2004	Banda Aceh (Indonésie)	** 227 898
11	3	2011	Tohoku (Japon)	** 18 717
Total				518 550

* peut inclure les décès causés par le séisme

** tsunami provoqué par une éruption volcanique

^ inclut les personnes décédées/disparues à proximité et en dehors de la zone d'origine



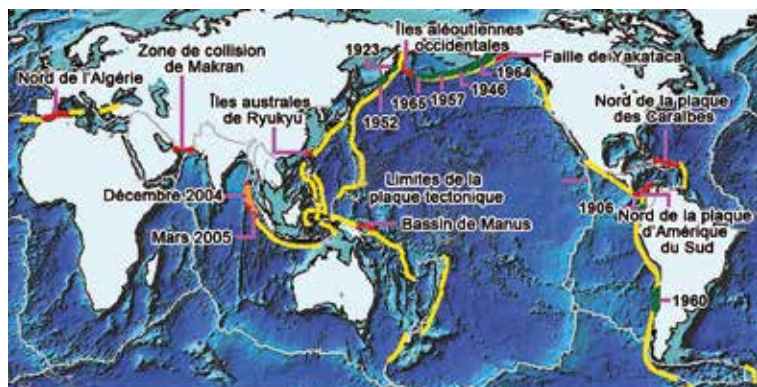
Plus de 80 % des tsunamis qui ont eu lieu dans le monde ont été provoqués par des séismes et plus de 70 % d'entre eux ont été observés dans le Pacifique où des séismes majeurs se produisent du fait de la subduction des plaques tectoniques le long de la ceinture de feu du Pacifique. En haut : épiscentre de tous les séismes tsunamigènes. Les tsunamis ont causé localement des dégâts dans tous les bassins océaniques. Au centre : lieux où se sont produits des séismes, des éruptions volcaniques et des glissements de terrain à l'origine de tsunamis qui ont fait localement des dégâts matériels ou des victimes. Bien que la majorité des tsunamis observés à plus de 1 000 km de distance (télétsunamis) aient été déclenchés par des séismes survenus dans le Pacifique, des télétsunamis ont également fait des dégâts et des victimes dans l'océan Indien et dans l'océan Atlantique. En bas : sources des télétsunamis engendrés par des séismes ou des éruptions volcaniques et qui ont entraîné des dégâts matériels ou des victimes. Ces données reposent sur des archives historiques.
Source : NGDC/WDS-Geophysics.

2. TERMES GÉNÉRAUX RELATIFS AUX TSUNAMIS

Cette section contient des termes généraux utilisés pour l'atténuation des effets des tsunamis, leur formation et leur modélisation

Aléa tsunami

Probabilité qu'un tsunami d'importance donnée frappe un secteur déterminé de la côte.



Sources de tsunamis

- Zone de subduction type bien connus
- Zones de subduction ou de collision lente proposées récemment
- Séismes provoquant des tsunamis à l'échelle de l'océan
- Magnitude supérieure à 8,5
- Zone Sumatra-Andaman

Zones du globe d'où proviennent les tsunamis. Le danger de tsunami existe dans tous les océans et bassins, mais il est plus élevé dans l'océan Pacifique. Des tsunamis peuvent se produire n'importe où et n'importe quand, car on ne peut prévoir un séisme avec précision. Avec l'autorisation du LDG-France.

Brise-lame ou brises-lames

Un ouvrage, à terre ou en mer, comme un mur, une vanne ou tout autre objet immergé capable d'amortir l'effet des vagues, utilisé pour protéger un port ou une plage.



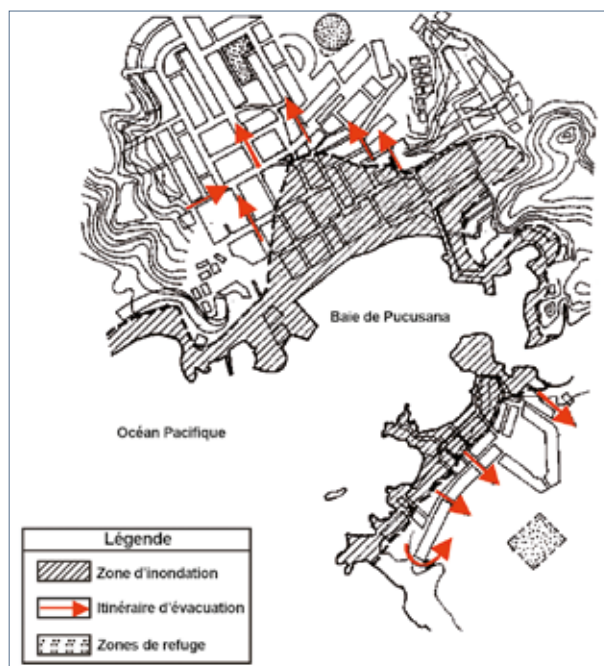
Digue avec escalier d'évacuation, utilisée au Japon pour protéger une ville côtière contre l'inondation par les tsunamis. Crédit photographique : Bureau fluvial, Ministère de l'aménagement du territoire et des transports, Japon



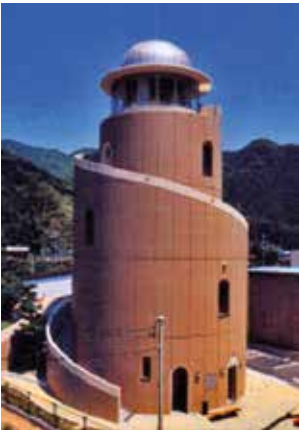
Vanne utilisée pour la protection contre les tsunamis sur l'île d'Okushiri au Japon. La vanne se ferme automatiquement dans les secondes qui suivent un séisme dont les secousses sont perçues par des capteurs sismiques. Crédit photographique : CIIT

Carte d'évacuation

Schéma ou représentation indiquant les zones dangereuses et les limites au-delà desquelles il faut évacuer la population pour la mettre à l'abri des effets du tsunami. Les itinéraires d'évacuation sont parfois indiqués pour pouvoir diriger plus rapidement les populations vers les abris.



Carte d'inondation et d'évacuation établie pour la ville côtière de Pucusana au Pérou



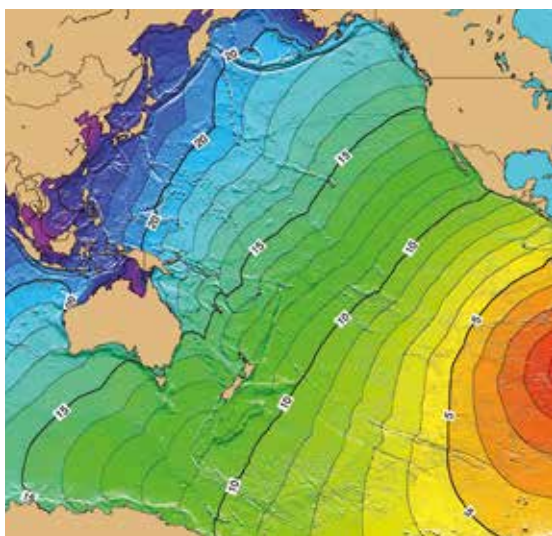
Abri d'urgence qui sert aussi de centre social et de musée pour la prévention des catastrophes. Kisei, préfecture de Mie, au Japon. Le bâtiment a 22 mètres de haut et 5 niveaux, pour une surface totale de 320 m². Il peut accueillir 500 personnes. Crédit documentaire : <http://www.pref.mie.lg.jp/ENGLISH/>



Plate-forme surélevée utilisée pour l'évacuation lors d'un tsunami, et qui sert aussi de point de vue pour les touristes. Île d'Okushiri, au Japon. Crédit photographique : CIIT.

Carte des temps de parcours

Carte indiquant les isochrones ou courbes d'égal temps de parcours du tsunami, calculées depuis la source jusqu'aux points d'arrivée sur des rivages lointains.



Temps de parcours (en heures) du tsunami du 22 mai 1960 qui, depuis le Chili, a traversé tout le Pacifique. Il a provoqué d'énormes dégâts le long de la côte voisine du Chili, causé de nombreuses destructions et fait des victimes jusqu'à Hawaii et au Japon. La prise de conscience et l'inquiétude que ce tsunami à l'échelle du Pacifique a suscitées ont finalement conduit à la création du PTWS.

Déferlante ou vague déferlante

Vague superficielle dont la cambrure devient si importante (1/7) que la crête dépasse le corps de la vague et s'effondre en une masse turbulente sur le rivage ou sur un récif. Le déferlement intervient en général lorsque la profondeur de l'eau est inférieure à 1,28 fois la hauteur de la vague. On peut, en gros, distinguer trois catégories de déferlantes, en fonction principalement de la déclivité du fond : (a) les déferlantes glissantes (au-dessus d'un fond presque plat), avec de l'écume se formant sur la crête, qui se brisent progressivement sur une distance considérable ; (b) les déferlantes plongeantes (sur des fonds assez inclinés) qui, après avoir atteint leur hauteur maximale, s'enroulent sur elles-mêmes, laissant une colossale masse d'eau en suspens, puis se brisent à grands fracas ; (c) les déferlantes à gonflement (sur des fonds très inclinés), qui ne sont ni glissantes ni plongeantes, mais remontent le long de la plage. Les vagues peuvent aussi se briser en haute mer si elles s'élèvent trop sous l'effet du vent, mais elles ont alors en général de petites crêtes et sont appelées moutons.

Dégâts causés par un tsunami

Pertes ou dommages imputables à un tsunami destructeur. Pour être plus précis, les dégâts causés directement par les tsunamis peuvent être sommairement classés dans les catégories ci-après : (1) morts et blessés ; (2) maisons détruites, partiellement détruites, inondées ou brûlées ; (3) autres dégâts et pertes matériels ; (4) bateaux emportés, endommagés ou détruits ; (5) bois d'œuvre emporté ; (6) installations maritimes détruites ; (7) infrastructures publiques endommagées, telles que chemins de fer, routes, ponts, centrales électriques, réservoirs d'eau ou de stockage de combustible, stations d'épuration, etc. Les tsunamis peuvent également provoquer les dégâts indirects ci-après : (1) dégâts occasionnés par l'incendie de maisons, bateaux, réservoirs de pétrole, stations d'essence et autres installations ; (2) pollution de l'environnement ou risques sanitaires dus à la dérive de matériaux ou au déversement de pétrole ou d'autres déchets dangereux ; (3) apparition



Le tsunami du 11 mars 2011 a rasé la ville d'Ofunato, au Japon. Crédit photographique : CIIT.



De hauts bâtiments en béton armé ont servi de refuge pour une évacuation en hauteur lors du tsunami survenu au Japon le 11 mars 2011, sauvant ainsi de nombreuses vies. Minami Sanriku, Japon. Crédit photographique : CIIT

d'épidémies, ce qui pourrait être grave dans des zones fortement peuplées.

Dispersion du tsunami

Redistribution de l'énergie du tsunami notamment en fonction de sa période, à mesure qu'il se propage dans une masse d'eau.

Données historiques sur les tsunamis

Il existe des données historiques disponibles sous de nombreuses formes et en maints endroits. Il peut s'agir de catalogues, publiés ou non, répertoriant les tsunamis, de récits individuels, de marégrammes, de l'amplitude des phénomènes, de mesures du *run-up* et de la zone d'inondation, de rapports d'enquête sur le terrain, d'articles de journaux et de films ou d'enregistrements vidéo.

Effets des tsunamis

Bien que rares, les tsunamis comptent parmi les phénomènes physiques les plus terrifiants et les plus complexes et sont responsables de très nombreuses pertes en vies humaines et d'immenses dégâts matériels. En raison de leur capacité de destruction, ils ont de graves répercussions sur les sociétés, que ce soit sur le

plan humain, social ou économique. Depuis 3 500 ans, 279 tsunamis meurtriers se sont produits, tuant plus de 600 000 personnes ; la plus grande catastrophe de l'histoire est le tsunami qui a eu lieu le 26 décembre 2004 à Sumatra (Indonésie), causant la mort de 228 000 personnes dans 12 pays de l'océan Indien et occasionnant 10 milliards de dollars de dégâts matériels. Toutefois, c'est dans l'océan Pacifique que se produisent 75 % des tsunamis dans le monde. Les décès sont à 99 % imputables à des tsunamis locaux, c'est-à-dire ceux qui frappent les côtes en moins d'une heure. Étant donné que plus de 80 % des tsunamis sont provoqués par de forts séismes superficiels, les secousses et les dégâts causés par le séisme sont les premiers dangers contre lesquels il faut prendre des mesures avant l'arrivée du tsunami.

Au Japon, où les régions côtières sont parmi les plus peuplées au monde et où l'activité sismique est connue de longue date, les tsunamis ont détruit des populations côtières entières. Il s'est également produit des tsunamis très destructeurs en Alaska, dans l'archipel d'Hawaii, en Indonésie et en Amérique du Sud. Le dernier grand tsunami à l'échelle du Pacifique s'est produit le 11 mars 2011 au Japon, faisant plus de 18 000 morts dans le pays, ainsi que deux autres dans des régions éloignées.

Évaluation de l'aléa tsunami

Il faut, pour chaque communauté côtière, procéder à une évaluation de l'aléa tsunami afin d'identifier les populations et les biens menacés, ainsi que la gravité du risque. Cette évaluation exige la connaissance préalable des sources potentielles de tsunamis (séismes, glissements de terrain,



Estimation de l'inondation d'Iquique (Chili) établie à partir de résultats de simulation numérique. Avec l'autorisation du SHOA-Chili

éruptions volcaniques, par exemple), de la probabilité de les voir se manifester et des caractéristiques des tsunamis

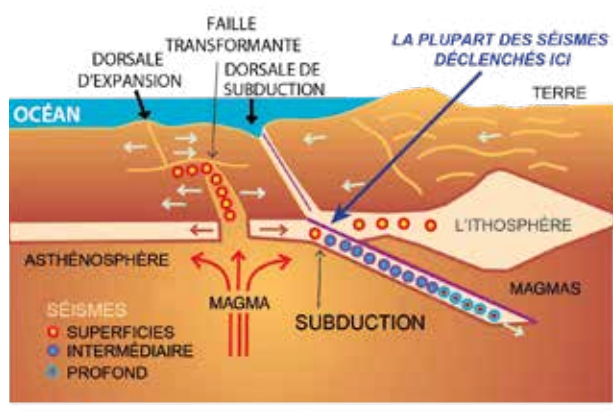
qu'elles génèrent en différents points de la côte. Pour ces communautés, les données relevées lors de tsunamis antérieurs (historiques et paléotsunamis) peuvent aider à chiffrer ces facteurs. La plupart toutefois n'ont que très peu de données historiques, voire pas du tout. Des modèles numériques d'inondation par les tsunamis peuvent alors donner une estimation des régions qui seront inondées en cas de séisme tsunamigène en champ proche ou lointain ou de glissement de terrain local.

Évaluation probabiliste de l'aléa tsunami

Évaluation de la probabilité qu'un tsunami atteigne ou dépasse une taille donnée dans un certain laps de temps et en un point précis. La taille d'un tsunami peut être mesurée selon plusieurs critères : la hauteur du *run-up*, la hauteur de la masse d'eau déplacée, la hauteur du tsunami à son arrivée sur la côte. L'évaluation établit généralement des probabilités pour une série d'intervalles de temps, allant de 50 à 2 500 ans par exemple. Elle peut concerner un point isolé, une frange de littoral ou un territoire côtier (si une inondation est prise en compte). Voir également la définition de l'expression « Évaluation de l'aléa tsunami », qui donne des informations sur certaines techniques pouvant être utilisées pour évaluer l'aléa probable.

Formation des tsunamis

Les tsunamis sont le plus souvent déclenchés par des séismes, mais ils peuvent aussi provenir de glissements de terrain, d'éruptions volcaniques et, beaucoup plus rarement, de chutes de météorites ou autres chocs à la surface de la mer. Les dislocations tectoniques sous-marines dues à des



La plupart des tsunamis sont provoqués par de forts séismes de compression qui se produisent à faible profondeur dans les zones de subduction. Des séismes superficiels se produisent également le long des dorsales d'expansion, mais ils ne sont pas suffisamment forts pour générer des tsunamis. De forts séismes superficiels peuvent aussi se produire le long des failles transformantes mais ils n'engendrent qu'un faible déplacement vertical et ne déclenchent pas de tsunamis

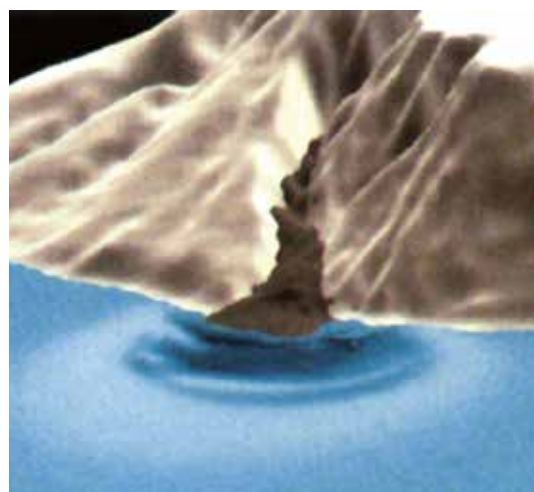
séismes superficiels qui se produisent le long de zones de subduction sont les principales causes des tsunamis. Sous l'effet du soulèvement et de l'effondrement de blocs de la croûte terrestre, une énergie potentielle est transmise à la masse d'eau située au-dessus, modifiant radicalement le niveau de la mer dans la région touchée. L'énergie ainsi transmise peut déclencher un tsunami, c'est-à-dire un rayonnement d'énergie à partir de la région d'origine sous forme d'ondes de longue période.

Heure estimative d'arrivée

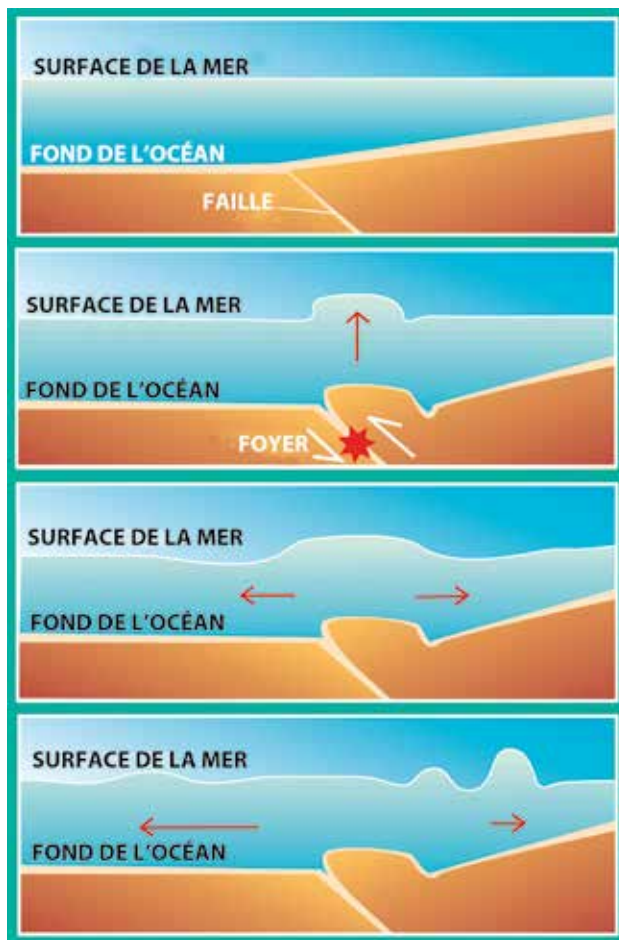
Heure d'arrivée du tsunami en un point donné, évaluée en modélisant la vitesse et la réfraction des ondes à mesure qu'elles s'éloignent de la source. L'heure estimative d'arrivée est calculée avec une très grande précision (à moins de deux minutes près) si l'on connaît bien la bathymétrie et la source. La plus grande vague n'est pas nécessairement la première, mais il s'agit généralement de l'une des cinq premières.



Les tsunamis peuvent être déclenchés par des glissements de terrain, soit sous-marins, soit terrestres avec chute dans l'eau. Avec l'autorisation du LDG-France



Les tsunamis peuvent être formés par des coulées pyroclastiques liées aux éruptions volcaniques. Avec l'autorisation du LDG-France



Le plus souvent, les tsunamis sont déclenchés par des séismes superficiels

Mascaret provoqué par un tsunami

Un front d'onde de tsunami cambré, turbulent, rapide, comme on en observe dans l'embouchure d'un fleuve ou un estuaire.

Modélisation numérique d'un tsunami

Tentative de description mathématique du tsunami observé et de ses effets.

Le seul moyen de déterminer le *run-up* et l'inondation potentiels d'un tsunami en champ proche ou lointain est souvent d'utiliser la modélisation numérique puisque les

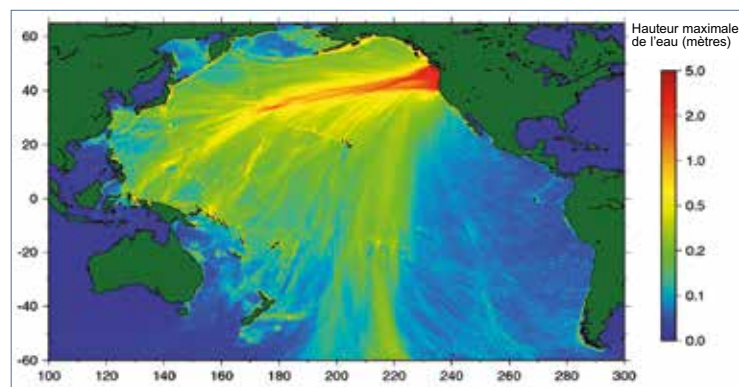


Mascaret provoqué par un tsunami pénétrant le fleuve Wailua, à Hawaii, lors du tsunami des îles Aléoutiennes en 1946. Crédit photographique : Pacific tsunami Museum

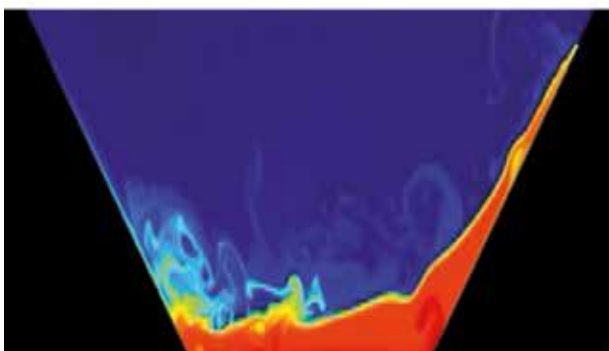
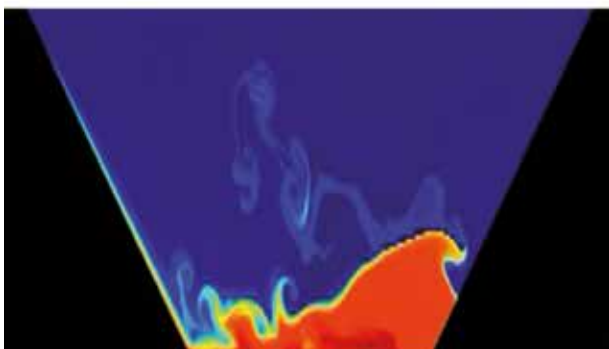
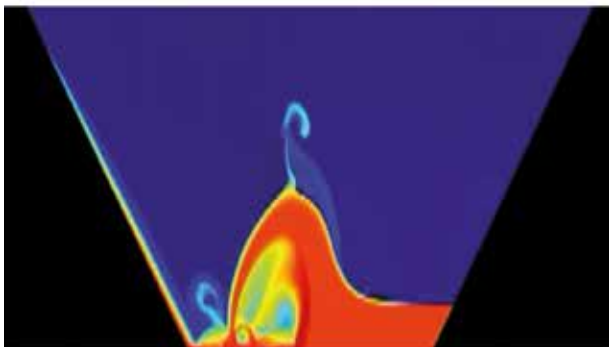
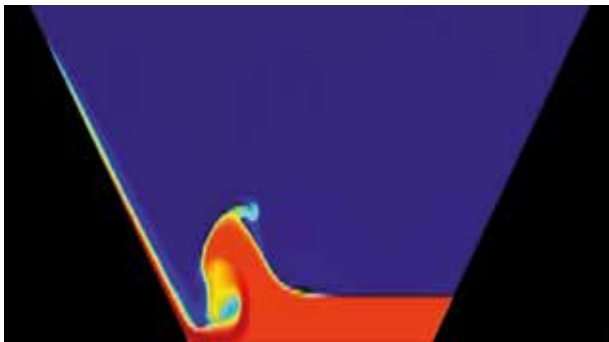
données sur les tsunamis antérieurs sont généralement insuffisantes. On peut initialiser des modèles en envisageant les pires scénarios potentiels en ce qui concerne les sources de tsunamis ou les ondes les plus proches du rivage afin de déterminer les pires scénarios correspondants pour le *run-up* et l'inondation. Il est également possible d'initialiser des modèles à partir de sources plus petites, afin de comprendre la gravité de l'aléa lors de phénomènes moins extrêmes mais plus fréquents. On se base alors sur ces informations pour établir des cartes et des modalités d'évacuation en cas de tsunami. Actuellement, seule une petite fraction de la zone côtière menacée a fait l'objet de ce travail de modélisation numérique. Les techniques de modélisation suffisamment précises ne sont disponibles que depuis quelques années et ces modèles exigent une formation pour être compris et utilisés correctement, ainsi que l'introduction de données bathymétriques et topographiques détaillées de la zone faisant l'objet de la modélisation.

Ces dernières années, on a utilisé des modèles numériques pour simuler la propagation des tsunamis et leur interaction avec des masses terrestres. Ces modèles résolvent généralement des équations similaires, mais emploient souvent des techniques numériques différentes et s'appliquent à des éléments différents du problème global de propagation des tsunamis, depuis les régions où ils se forment jusqu'aux régions éloignées où le *run-up* est observé. Par exemple, plusieurs modèles numériques ont été utilisés pour simuler l'interaction entre des tsunamis et des îles au moyen des méthodes des différences finies, des éléments finis et des méthodes intégrales aux frontières pour résoudre les équations linéaires d'ondes longues. Ils résolvent ces équations relativement simples et permettent de simuler de manière satisfaisante les tsunamis aux fins d'études techniques.

Les centres d'alerte aux tsunamis utilisent des modèles numériques pour prévoir l'heure d'arrivée des vagues, la direction de l'énergie maximale du tsunami, la force des



Hauteur maximale (calculée) des vagues d'un tsunami provoqué par un séisme de magnitude 9,0 dans la zone de subduction de Cascadia. Ces calculs ont été effectués après que la découverte de dépôts de tsunami au Japon et ailleurs qui a pensé, que la répétition du grand séisme de Cascadia en 1 700 génèrerait un télétsunami dévastateur. Crédit photographique : Kenji Satake, Service géologique du Japon



Modèle numérique complexe calculé pour le tsunami local qui s'est produit à Lituya Bay (Alaska) en 1958, à la suite d'un glissement de terrain, et qui a causé le run-up le plus élevé jamais enregistré (525 m). Cette modélisation complexe reproduit de façon très détaillée les remous et gerbes d'eau de deuxième ordre mis en évidence par des expériences en laboratoire. Avec l'autorisation de Galen Gisler, Los Alamos National Laboratory

courants près du rivage et la hauteur des vagues à leur arrivée sur la côte. Ces informations importantes aident les responsables des interventions d'urgence à planifier les secours et à les concentrer là où les plus grands effets sont attendus.

Observation des tsunamis

Notification, observation ou mesure de la fluctuation du niveau de la mer provoquée à un moment particulier par l'incidence d'un tsunami en un point donné.

Onde de coin du tsunami

Onde formée par un tsunami, qui se déplace le long de la côte.

Préparation aux tsunamis



Tsunami des îles Aléoutiennes en 1946 à l'assaut de la côte de Hilo, à Hawaii.

Crédit photographique : Musée des tsunamis du Pacifique

Plans, méthodes, procédures et mesures adoptés par les autorités et le grand public afin de minimiser le risque potentiel et d'atténuer les effets de futurs tsunamis. Pour être bien préparé au cas où un avis annoncerait un risque imminent de tsunami, il faut connaître les zones inondables (cartes d'inondation par les tsunamis) et le système d'alerte afin de savoir quand procéder à une évacuation et quand il est possible de revenir en toute sécurité.

Propagation des tsunamis

Les tsunamis se propagent dans toutes les directions à partir de la zone d'origine, la direction de propagation principale de l'énergie étant généralement orthogonale à la direction de la zone de fracture du séisme. Leur vitesse dépend de la profondeur de l'eau et, par



Panneaux de signalisation indiquant les bâtiments et endroits sûrs en cas de tsunami, approuvés par l'ISO



Panneaux de signalisation des zones d'évacuation en cas de tsunami, Hawaï (États-Unis)



Signalisation indiquant un risque de tsunami, approuvée par l'Organisation internationale de normalisation (ISO) en 2008



Panneau indiquant l'itinéraire d'évacuation en cas de tsunami (Chili)



Panneau de signalisation des zones à risque en cas de tsunami, État de Washington (États-Unis)

conséquent, les vagues subissent des accélérations ou des décélérations en fonction de la variation de la profondeur du fond marin au-dessus duquel elles passent. En haute mer, elles avancent à des vitesses allant de 500 à 1 000 km/heure et la distance entre les crêtes successives peut atteindre 500 à 650 km, et pourtant leur hauteur y est généralement inférieure à un mètre, même pour les télétsunamis les plus destructeurs, si bien qu'elles passent inaperçues. La propagation des tsunamis varie lorsque la force de propagation est plus forte dans une direction donnée en raison de l'orientation ou des dimensions de la zone d'origine et là où des caractéristiques bathymétriques et topographiques régionales modifient à la fois la forme des ondes et leur rythme de progression. Elles subissent notamment un phénomène de réfraction et de réflexion tout au long de leur déplacement. La particularité des tsunamis est que leur énergie se répartit sur toute la colonne d'eau, depuis la surface de la mer jusqu'au fond de l'océan. C'est pourquoi ils propagent une si grande quantité d'énergie.



Modèle de propagation d'un tsunami dans le Pacifique Sud-Est, neuf heures après sa formation. Source : Antofagasta, Chili (30 juillet 1995). Avec l'autorisation du LDG-France

Remous

Par analogie avec une molécule, « boule » de fluide ayant une certaine intégrité et un cycle de vie qui lui est propre au sein de la masse fluide ; les mouvements de la masse fluide étant le résultat net de celui des remous.



Remous formés par l'interaction des vagues du tsunami, lorsqu'elles ont frappé la côte du Sri Lanka le 26 décembre 2004. Crédit photographique : Digital Globe

Résonance du tsunami

La réflexion des ondes du tsunami sur les limites d'un port ou les rivages d'une baie étroite et leurs interférences continues peuvent amplifier la hauteur des vagues et prolonger leur activité.

Risque de tsunami

Probabilité pour une côte donnée d'être frappée par un tsunami, multipliée par les effets destructeurs possibles du tsunami et par le nombre potentiel de victimes sur cette côte. De manière générale, le risque est égal à l'aléa multiplié par l'exposition.

Seiche

Une seiche peut être provoquée par une onde stationnaire qui oscille dans une masse d'eau partiellement ou totalement close. Elle peut provenir d'ondes sismiques de longue période (un séisme), d'ondes atmosphériques ou marines, ou d'un tsunami.

Signes avant-coureurs d'un tsunami (ou signes précurseurs de l'arrivée d'un tsunami)

Une série d'oscillations du niveau de l'eau, devant les vagues principales du tsunami. Essentiellement provoquée

par la résonance dans les baies et sur les bancs, elle peut précéder l'arrivée du tsunami principal.

Simulation d'un tsunami

Modèle numérique de formation, propagation et inondation d'un tsunami.

Source du tsunami

Point ou zone d'origine du tsunami, généralement le lieu d'un séisme, d'une éruption volcanique ou d'un glissement de terrain ayant entraîné un déplacement d'eau rapide et massif qui a déclenché le tsunami.

Temps de parcours

Temps nécessaire à la première vague du tsunami pour se propager depuis la source jusqu'à un point donné du littoral.

Théorie de la formation des tsunamis

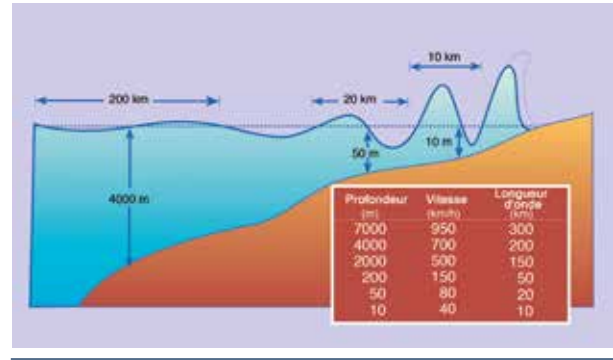
Le problème théorique de la formation, dans la couche liquide élastique (un océan) de l'onde de gravité (tsunami) initiée à la surface d'un demi-espace solide élastique (la croûte) dans le champ de gravité peut être étudié par des méthodes relevant de la théorie de l'élastodynamique. La source représentant le foyer d'un séisme est une discontinuité de la composante tangentielle du déplacement d'une portion de la croûte. Dans des conditions représentatives des océans, la solution du problème est très proche de la solution conjointe de deux problèmes plus simples, à savoir : le problème de la formation d'un champ de déplacement par la source donnée dans le demi-espace élastique solide, dont la limite libre (le fond) est considérée comme quasi statique, et le problème de la propagation dans la couche de liquide lourd incompressible de l'onde de gravité générée par le mouvement connu du fond solide (déduit du problème précédent). Les paramètres de l'onde de gravité sont théoriquement fonction de ceux de la source (profondeur et orientation). On peut en particulier évaluer approximativement la quantité d'énergie transmise à l'onde de gravité par la source. En général, elle correspond aux estimations obtenues avec des données empiriques. D'autres mécanismes, explosions volcaniques ou nucléaires par exemple, glissements de terrain, chutes de blocs de pierre et effondrements sous-marins peuvent également générer des tsunamis.

Tsunamigène

Capable de déclencher un tsunami. Exemple : un séisme tsunamigène, un glissement de terrain tsunamigène.



Destruction du port de Hilo (Hawaii), le 1^{er} avril 1946. Le tsunami déclenché par un séisme au large de l'île d'Unimak (Îles Aléoutiennes) a traversé tout le Pacifique, atteignant les côtes d'Hawaii en moins de cinq heures. Crédit photographique : NOAA



Hauteur des vagues et profondeur de l'eau. En haute mer, un tsunami n'a souvent qu'une dizaine de centimètres de haut, mais sa hauteur croît rapidement en eau peu profonde. Même dans les eaux les plus profondes, l'énergie de l'onde du tsunami va de la surface jusqu'au fond. Quand le tsunami arrive à la côte, l'énergie se concentre sur une distance bien plus faible, provoquant des vagues destructrices et potentiellement mortelles

Vagues sismiques

Les tsunamis sont parfois nommés vagues sismiques car ils sont le plus souvent provoqués par des séismes.

Vitesse du tsunami (ou vitesse dans des eaux peu profondes)

La valeur approximative de la vitesse d'une vague océanique dont la longueur est suffisamment grande par rapport à la profondeur de l'eau (c'est-à-dire 25 fois supérieure à la profondeur ou davantage) peut être représentée par l'expression ci-après :

$$c = \sqrt{gh}$$

où :

c : est la vitesse de la vague

g : l'accélération due à la gravité,

h : la profondeur de l'eau.

La vitesse des vagues dans les eaux peu profondes est par conséquent indépendante de la longueur d'onde L. Lorsque la profondeur de l'eau est comprise entre la moitié et 1/25 de L, il faut utiliser une expression plus précise, à savoir :

$$c = \sqrt{[(gL/2\pi)[\tanh(2\pi h/L)]]}$$

Zonage des tsunamis

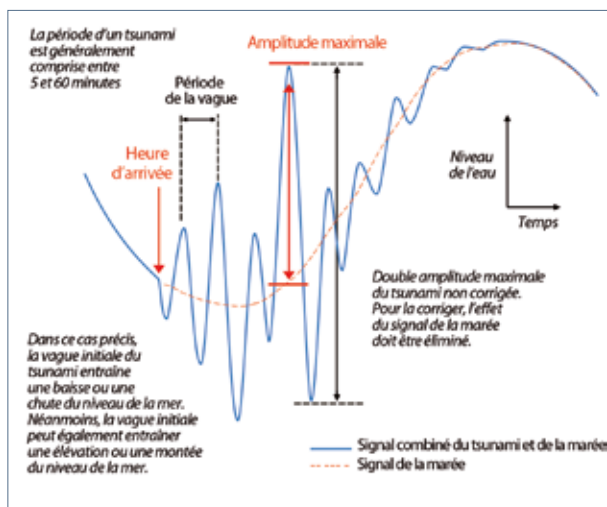
Désignation de différentes zones de la côte plus ou moins vulnérables et exposées au risque de tsunami afin de se préparer à d'éventuelles catastrophes, de dresser des plans pour s'en protéger, d'établir des codes de construction ou de prévoir l'évacuation du public.

3. RELEVÉS ET MESURES

Cette section contient les termes utilisés pour mesurer et décrire les vagues de tsunami enregistrées par les marégraphes ou mesurées lors de relevés sur le terrain, ainsi que les termes utilisés pour décrire l'ampleur des tsunamis

Amplitude du tsunami

Généralement mesurée sur un enregistrement du niveau de la mer, c'est : (1) la valeur absolue de la distance entre un pic ou un creux particulier du tsunami et le niveau de la mer au repos à l'heure indiquée, (2) la demi-distance entre un pic et un creux successifs, corrigée de la variation de la marée entre les deux. Elle est destinée à représenter l'amplitude vraie de l'onde de tsunami en un point donné de l'océan, mais subit toutefois souvent certaines modifications dues à l'inertie du marégraphe.



Marégramme représentant un tsunami

Chute

Baisse ou descente du niveau de la mer associée à un tsunami, une marée ou un quelconque phénomène climatique à long terme.

Crête de la vague

- 1) Partie la plus élevée de la vague.
- 2) Partie de la vague dépassant le niveau de l'eau au repos.

Creux de la vague

Partie la plus basse de la vague.

Débordement

Fait de déborder, inondation.

Échelle d'intensité des tsunamis de Sieberg

Une échelle descriptive d'intensité des tsunamis, qui a été modifiée pour devenir l'échelle Sieberg-Ambraseys décrite ci-dessous (Ambraseys 1962).

Échelle d'intensité modifiée des ondes marines de Sieberg

- 1) Très légère. Onde si faible qu'elle n'est perceptible que sur les marégrammes.
- 2) Légère. Vague observée par les populations du littoral et les habitués de la mer. Généralement remarquée sur des rivages très plats.
- 3) Assez forte. Généralement remarquée. Inondation des côtes en pente douce. Embarcations légères échouées. Constructions légères proches des côtes faiblement endommagées. Dans les estuaires, inversion des cours d'eau jusqu'à une certaine distance en amont.
- 4) Forte. Inondation du rivage sous une certaine hauteur d'eau. Léger affouillement des espaces aménagés. Levées et digues endommagées. Constructions légères endommagées près des côtes. Constructions en dur abîmées sur la côte. Gros voiliers et petits navires échoués à terre ou emportés au large. Côtes jonchées de débris flottants.

- 5) Très forte. Inondation générale du rivage sous une certaine hauteur d'eau. Murs brise-lames et constructions en dur proches de la côte endommagés. Constructions légères détruites. Profond affouillement des terres cultivées et côte jonchée d'objets flottants et d'animaux marins. Exception faite des grands navires, toutes les autres catégories d'embarcations sont échouées ou emportées au large. Grands mascarets dans les estuaires. Ouvrages portuaires endommagés. Noyades. Vagues accompagnées d'un fort rugissement.
- 6) Désastreuse. Destruction partielle ou complète des constructions édifiées par l'homme jusqu'à une certaine distance du rivage. Inondation des côtes sous une grande hauteur d'eau. Gros navires gravement endommagés. Arbres déracinés ou cassés. Nombreuses victimes.

Étalement [géographique]

Lorsqu'on évoque des tsunamis, il s'agit de l'étalement de l'énergie des ondes dans une zone géographique de plus en plus large, à mesure qu'elles s'éloignent de la source. La raison de cet étalement géographique et de la diminution de l'énergie des ondes avec le parcours est la sphéricité de la terre. L'énergie du tsunami convergera de nouveau lorsqu'il arrivera à 90° de sa source. Les ondes de tsunami qui se propagent dans un grand océan se transforment

pour d'autres raisons, essentiellement la réfraction, mais l'étalement géographique est aussi d'une grande importance, en fonction de l'orientation, des dimensions et de la géométrie de la source du tsunami.

Étude de terrain consécutive à un tsunami

Les tsunamis sont des phénomènes relativement rares et la plupart des traces de leur passage sont éphémères. Il est donc indispensable d'organiser et de réaliser rapidement des études de terrain minutieuses après chaque tsunami afin de collecter des données détaillées précieuses pour l'évaluation du danger, la validation des modèles et autres aspects de la mitigation des tsunamis.

Depuis le début des années 1990, des études de terrain ont été organisées après chaque grand tsunami destructeur afin de mesurer les limites du *run-up* et de l'inondation, de recueillir des données connexes auprès de témoins oculaires en leur demandant par exemple le nombre de vagues, leur heure d'arrivée et laquelle était la plus grosse, ainsi que d'évaluer la réaction des personnes face au danger du tsunami. Les études ont été organisées au cas par cas, avec l'aide et la coordination de la COI et du CIIT, et en collaboration avec les pays touchés, par des universitaires de toutes nationalités spécialistes des

Après un tsunami majeur, des spécialistes en océanographie physique, en sciences sociales et des ingénieurs procèdent à des études de terrain pour recueillir des informations. Celles-ci portent sur le run-up, la hauteur de la masse d'eau déplacée et l'inondation, les déformations, l'affouillement, les effets sur les bâtiments et autres constructions, la description de l'arrivée des vagues et les conséquences pour la société. Elles sont importantes pour concevoir une meilleure façon d'atténuer les effets des tsunamis sur les personnes et les biens.

Crédit photographique : Philip Liu, Université Cornell



ITST mesurant le run-up d'un tsunami à l'aide d'un télémètre laser à El Salvador, 2012. Crédit photographique : CIIT

tsunamis (équipe internationale d'enquête relative au tsunami, ITST). La COI a publié un *Guide pour les études de terrain consécutives aux tsunamis* (Manuels et guides n° 37, 1998, 2^e édition 2014, IOC/2014/MG/37) qui offre un cadre flexible concernant la réalisation d'études, leurs principes directeurs et protocoles, les types de données et les observations à effectuer pour normaliser la collecte de données.

Hauteur d'inondation

Hauteur atteinte par l'eau de mer, mesurée par rapport à un niveau de référence prédéfini, tel que le niveau moyen de la mer ou le niveau de la mer à l'heure d'arrivée du tsunami, à une distance d'inondation donnée. La hauteur d'inondation est obtenue en additionnant la hauteur de la masse d'eau déplacée et l'altitude topographique du point considéré. Elle est parfois également appelée hauteur de tsunami.

Hauteur de la masse d'eau déplacée (hauteur du flot)

Profondeur ou hauteur du flot du tsunami sur le rivage, en un point donné, indiquée par les traces laissées par la masse d'eau telles que des amas de débris, des marques d'impact sur les troncs d'arbres, des débris végétaux accrochés aux arbres ou aux câbles électriques, ou des marques de boue sur les murs de bâtiments. La hauteur d'inondation est obtenue en additionnant la hauteur de la masse d'eau déplacée et l'altitude topographique du point considéré.

Hauteur moyenne

Hauteur moyenne d'un tsunami mesurée de creux à crête, déduction faite de la variation des marées.

Hauteur significative des vagues

Moyenne du tiers supérieur des hauteurs d'un groupe de vagues donné. À noter : ce que comprend ce tiers supérieur dépend de la manière dont on prend en compte les vagues les plus petites. Lorsqu'on analyse un enregistrement de vagues et qu'on calcule la moyenne du tiers supérieur d'un nombre donné de vagues, ce nombre est défini comme le quotient de la durée de l'enregistrement par la période significative. On parle également de hauteur caractéristique des vagues.

Heure d'arrivée

Heure du premier maximum des ondes d'un tsunami.

Inondation ou distance d'inondation

Distance entre la ligne d'inondation et le rivage, généralement mesurée perpendiculairement à ce dernier.



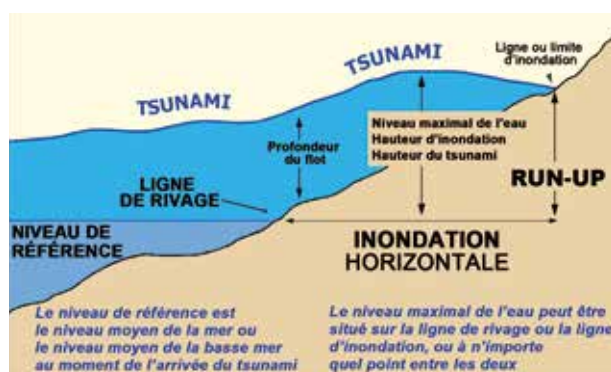
Inondation due au tsunami provoqué par un séisme, le 26 mai 1983, à l'aquarium d'Oga (Japon). Crédit photographique : Takaaki Uda, Public Works Research Institute (Japon)

Inondation maximale

Pénétration horizontale maximale du tsunami depuis la ligne de rivage. L'inondation maximale est mesurée pour chaque côte ou chaque port touché par le tsunami.

Intensité

Mesure de la puissance, de la force ou de l'énergie.



Intensité du tsunami

Importance d'un tsunami, fondée sur l'observation macroscopique de ses effets sur les personnes et les biens, entre autres des navires et des édifices de différentes tailles.

À l'origine, l'échelle des tsunamis a été publiée par Sieberg (1923), puis modifiée par Ambraseys (1962), et comporte six degrés. Papadopoulos et Imamura (2001) ont proposé une nouvelle échelle d'intensité allant de 1 à 12, qui ne nécessite pas la mesure de paramètres physiques comme l'amplitude de l'onde ; elle est sensible à de petites différences dans les conséquences du tsunami et comprend des échelons suffisamment détaillés pour couvrir de nombreux types possibles d'effets des tsunamis sur l'environnement humain et naturel. Elle ressemble, avec ses 12 degrés, à l'Échelle d'intensité modifiée de Mercalli, utilisée pour décrire en termes macrosismiques l'intensité d'un séisme.

Ligne d'inondation

Limite de l'inondation à l'intérieur des terres, mesurée horizontalement à partir du niveau moyen de la mer (MSL). La ligne qui sépare la végétation vivante de la végétation morte sert parfois de référence. En ce qui concerne les tsunamis, limite de pénétration à l'intérieur des terres.

Longueur de crête

Longueur d'une vague le long de sa crête. Parfois appelée largeur de crête.

Longueur d'onde du tsunami

Distance horizontale entre des points similaires de deux vagues successives, mesurée perpendiculairement à la crête. La longueur d'onde et la période du tsunami donnent des renseignements sur sa source. La longueur d'onde des tsunamis générés par des séismes varie généralement entre 20 et 300 kilomètres, tandis que pour ceux provoqués par des glissements de terrain, elle va de quelques centaines de mètres à quelques dizaines de kilomètres.

Magnitude

Valeur numérique attribuée aux propriétés d'un phénomène et permettant de le comparer à d'autres phénomènes de même type.

Magnitude du tsunami

Importance d'un tsunami fondée sur la mesure de son onde par des marégraphes ou équivalents.

Initialement descriptive et plutôt semblable à celle de l'intensité, l'échelle quantifie l'importance en utilisant des mesures de la hauteur des vagues ou du run-up. Lida et al. (1972) ont décrit la magnitude, allant de -1 à 4, comme une fonction logarithmique de base 2 de la hauteur maximum des vagues mesurée sur le terrain :

$$m = \log_2 H_{\max}$$

Ensuite, Hatori (1979) a ajouté la distance dans la formule de cette échelle, dite alors de Imamura-Lida pour les tsunamis en champ lointain. Soloviev (1970) a suggéré que la hauteur moyenne H du tsunami pouvait être un autre bon indicateur de son importance, et que l'intensité maximale serait celle mesurée au plus près de sa source. Une variante en est l'Échelle d'intensité I de Imamura-Soloviev. Shuto (1993) a suggéré de choisir, pour H et sa mesure, la hauteur à laquelle certains effets ou dégâts particuliers sont advenus ; il a donc proposé une échelle qui pourrait servir d'outil de prévision d'effets macroscopiques.

On a aussi proposé des magnitudes de tsunamis formellement semblables à celles utilisées pour les séismes. Elles comprennent notamment la formule initialement proposée par Abe (1979) pour la magnitude M_t d'un tsunami, M_t :

$$M_t = \log H + B$$

où H est l'amplitude maximale (en mètres) d'une crête ou d'un creux unique et B une constante ; et une variante destinée aux champs lointains, proposée par Hatori, qui ajoute au calcul un facteur de distance.

Montée

Hausse ou élévation du niveau de la mer associée à un tsunami, un ouragan, une onde de tempête, à une marée ou un phénomène climatique à long terme.

Montée initiale

Heure où est enregistré le premier minimum des ondes de tsunami.

Niveau (maximal) de l'eau

Différence d'altitude entre la marque la plus élevée laissée localement par l'eau et le niveau de la mer au moment où se produit le phénomène. Cette mesure est différente de celle de run-up maximal, car la marque laissée par l'eau n'est généralement pas observée au niveau de la ligne d'inondation, mais parfois à mi-hauteur d'un bâtiment ou sur un tronc d'arbre. On parle également de hauteur d'inondation ou du tsunami.

Période du tsunami

Durée nécessaire à une vague pour accomplir un cycle complet ou parcourir une longueur d'onde. La période d'un tsunami est généralement comprise entre cinq et soixante minutes. Elle est souvent exprimée par la différence entre l'heure d'arrivée du pic le plus élevé et celle du suivant, mesurée sur un enregistrement du niveau de la mer.

Répartition du run-up

Série de valeurs du run-up mesurées ou observées le long d'une côte.

Retrait

Abaissement du niveau de la mer avant inondation par un tsunami. La ligne de rivage s'éloigne vers le large, parfois d'un kilomètre ou davantage, laissant à découvert le fond, les rochers et la faune marine. Le retrait de la mer est une alerte naturelle au tsunami.



Rivage nord de Oahu, à Hawaï. Lors du tsunami des îles Aléoutiennes du 9 mars 1957, les gens ont commis l'extrême imprudence d'explorer le récif découvert, sans se rendre compte que quelques minutes plus tard les vagues du tsunami inonderaient le rivage.

Photo de A. Yamauchi, avec l'autorisation du Star Bulletin

Run-up/altitude du point de pénétration maximale

1) Différence d'altitude entre le point de pénétration maximale du tsunami (ligne d'inondation) et le niveau de la mer au moment où le phénomène survient. Dans la pratique, le run-up n'est mesuré que s'il existe des traces délimitant clairement la ligne d'inondation sur le rivage.

2) Altitude atteinte par l'eau de mer, mesurée par rapport à un niveau de référence prédéterminé, comme par exemple le niveau moyen de la mer, la hauteur moyenne des basses mers, le niveau de la mer à l'heure où survient le phénomène, etc., et mesurée, dans l'idéal, en un point qui constitue un maximum local de l'inondation horizontale. Lorsque la hauteur n'est pas mesurée au maximum de l'inondation horizontale, elle est souvent appelée hauteur d'inondation.



Le tsunami a dépouillé de leur végétation des collines boisées, laissant une trace nette de son run-up, à Banda Aceh (tsunami de Sumatra du 26 décembre 2004).

Crédit photographique : Yuichi Nishimura, Université d'Hokkaido



On peut souvent déduire l'ampleur du run-up de l'étendue verticale de la végétation détruite, des débris d'objets qui se trouvent généralement au niveau du sol et que l'on observe coincés dans des fils électriques, des arbres ou à d'autres hauteurs, et des traces laissées par le niveau de l'eau sur les murs des constructions. Dans les cas extrêmes, voitures, bateaux et autres objets lourds ont été soulevés et déposés en haut de bâtiments. Banda Aceh, Indonésie, 26 décembre 2004.

Crédit photographique : C. Courtney, Tetra Tech EMI

Subsidence (soulèvement)

Le mouvement permanent de la terre vers le bas (subsidence) ou vers le haut (soulèvement) provoqué par des processus géologiques, comme il s'en produit au cours d'un séisme.



*Le séisme du 26 décembre 2004 s'est traduit par une subsidence terrestre de 1,2 m à Car Nicobar, dans les îles Nicobar, en Inde. Des maisons, jadis au-dessus du niveau de la mer, baignent à présent dans l'eau.
Crédit photographique : ICMAM, Chennai, DOD, Inde*

Temps écoulé

Temps qui sépare l'apparition du niveau maximal de l'heure d'arrivée de la première vague.

Vague initiale

Première vague du tsunami à arriver. Dans certains cas, elle entraîne initialement une baisse ou chute du niveau de la mer, dans d'autres, une élévation ou montée. En cas de chute du niveau, on observe un retrait de la mer.

Zone d'inondation

Zone inondée par le tsunami.



La partie la plus sombre montre la zone d'inondation du tsunami de 1964 en Alaska. Crédit photographique : NGDC

4. MARÉES, MARÉGRAPHES ET NIVEAU DE LA MER

Cette section présente tous les termes relatifs au niveau de la mer et aux instruments utilisés pour mesurer les tsunamis

Amplitude de la marée

La moitié de la différence de hauteur entre une pleine mer et une basse mer consécutives, soit la moitié de l'amplitude de la marée.

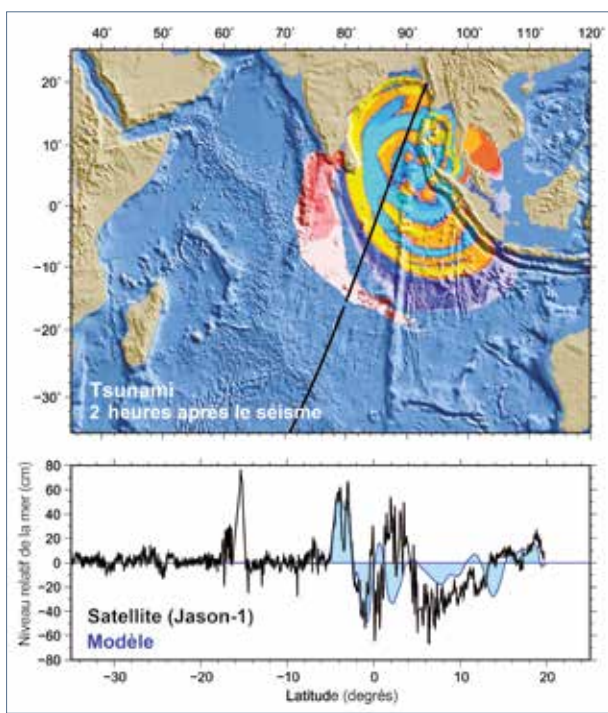
Basse mer

Niveau le plus bas atteint par la surface de la mer au cours d'un cycle de la marée. Terme courant, marée basse.

Cotidal

Indiquant l'égalité avec les marées ou une coïncidence avec l'heure de la haute ou de la basse mer.

Hauteur de la surface de la mer



Des radioaltimètres embarqués sur le satellite Jason-1 ont enregistré le tsunami du 26 décembre 2004 dans l'océan Indien sur un instantané réalisé deux heures après le séisme. Le profil bathymétrique superposant les calculs du modèle MOST et les données satellitaires montre une amplitude maximale des ondes d'environ 60 cm. Crédit image : NOAA

Des altimètres satellitaires surveillent la hauteur de la surface de la mer et peuvent enregistrer un instantané de la propagation d'un tsunami si l'orbite du satellite est au-dessus de lui. Pendant les tsunamis de 2004 dans l'océan Indien et de 2011 dans le Tohoku, plusieurs satellites ont capté ces phénomènes alors qu'ils se propageaient respectivement dans l'océan Indien et dans l'océan Pacifique.

Instrument câblé posé au fond de l'océan

Instrument situé au fond de la mer et relié à la terre par un câble qui fournit l'énergie nécessaire au relevé de données et à leur transmission depuis les fonds marins jusqu'à la côte. Les câbles peuvent s'étendre jusqu'à des dizaines de kilomètres au large et à travers les océans. Ils permettent de déployer des observatoires des fonds marins en temps réel et à capteurs multiples pour assurer une surveillance à long terme. Il s'agit par exemple de sismomètres pour mesurer les séismes, de capteurs de pression sensibles pour mesurer les tsunamis, de capteurs géodésiques pour mesurer la déformation des fonds marins, ou bien encore de caméras. Le Japon gère le fonctionnement de plusieurs systèmes câblés.

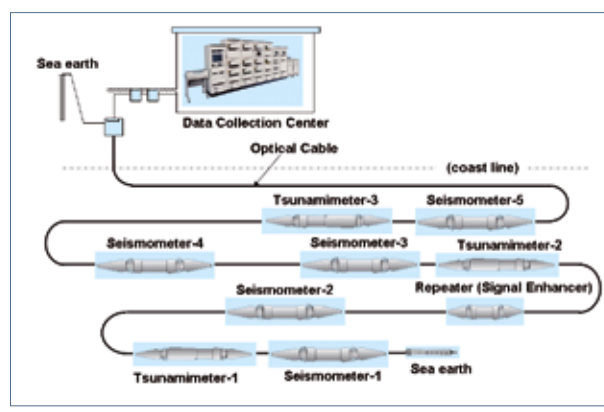


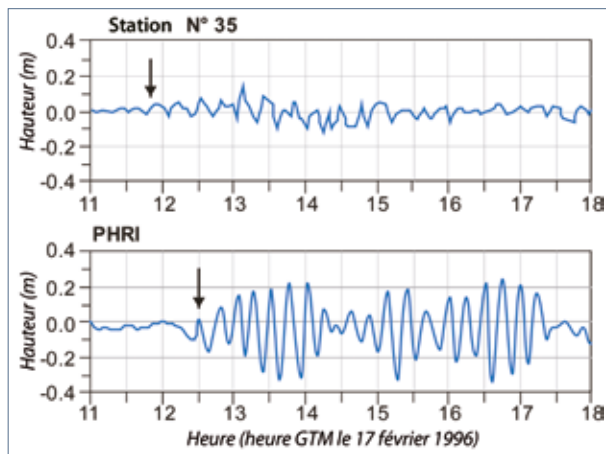
Schéma d'un système câblé océanique pour le suivi des séismes et des tsunamis. Avec l'autorisation du JMA

Marée

Mouvement rythmique, alternatif, de montée et de descente de la surface (ou du niveau de l'eau) des océans et des masses d'eau qui s'y rattachent, comme les estuaires et les golfes. Elle se produit deux fois par jour sur la plus grande partie de la planète et résulte de l'attraction gravitationnelle de la lune (et à un moindre degré du soleil), qui ne s'exerce pas uniformément sur les différentes régions de la terre en rotation.

Marégramme

- 1) Enregistrement d'un marégraphe.
- 2) Toute représentation graphique de la montée et de la descente du niveau de la mer, avec l'heure portée en abscisse et la hauteur en ordonnée ; généralement utilisé pour mesurer les marées, mais susceptible aussi d'enregistrer des tsunamis.



Marégrammes des signaux de tsunami mesurés par un capteur sous-marin situé à 50 km de l'embouchure de la baie de Tokyo à une profondeur de 50 m environ (graphique supérieur) et par un autre capteur situé sur le rivage (graphique inférieur). Le tsunami est détecté par le capteur situé en dehors de la baie environ 40 minutes avant d'atteindre le rivage (flèches). Le capteur câblé de pression posé au fond de l'océan, au large, a été conçu par l'Institut de recherche sur les ports et villes portuaires (PHRI) du Japon et utilisé par le JMA

Marégraphe

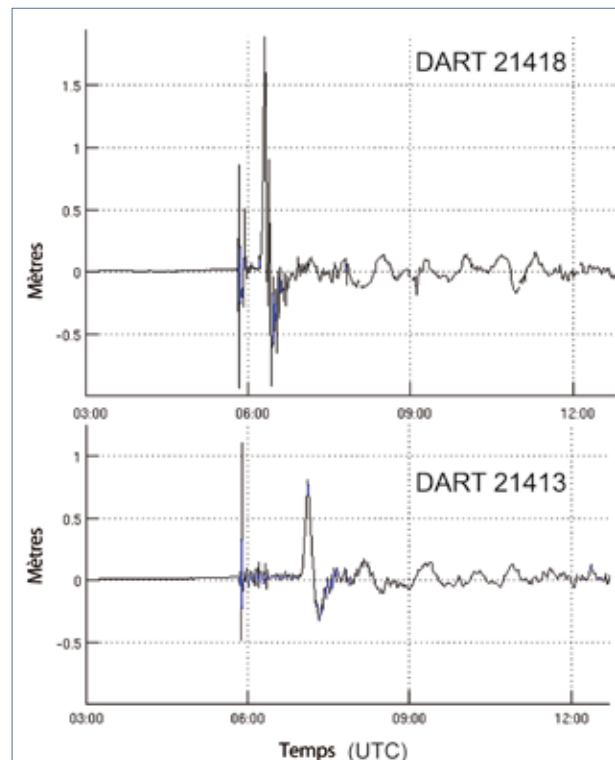
Instrument de mesure du niveau de la mer.

Appareil mesurant le changement du niveau de la mer par rapport à un niveau de référence.

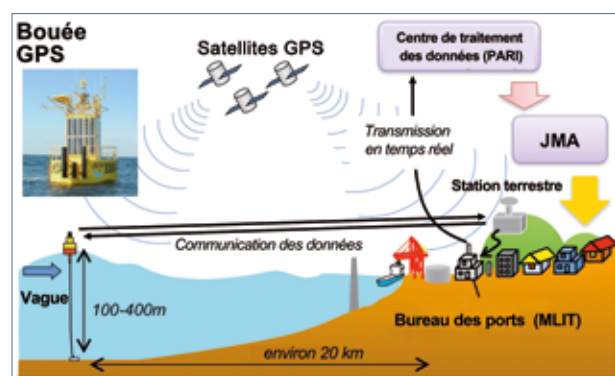
Marégraphes GPS

Bouée de surface équipée d'une antenne GPS (système de positionnement global) et ancrée à une vingtaine de kilomètres de la côte pour surveiller en permanence les mouvements du niveau de la mer grâce à un GPS en mode cinématique temps réel (RTK) relié à une station terrestre.

La bouée GPS est utilisée comme marégraphe pour détecter les tsunamis avant leur arrivée sur la côte. Au Japon, ce système est opérationnel depuis 2008 et en 2012, 15 bouées GPS ont été mises en service par le Bureau des ports du Ministère japonais de l'aménagement du territoire, du transport et du tourisme (MLIT). Les données GPS sont transmises à une station terrestre, traitées en temps réel par l'institut de recherche PARI (Port and Airport Research Institute), puis envoyées à l'Office météorologique japonais (JMA) qui est chargé de la surveillance des tsunamis et des alertes. Lors du tsunami qui a frappé le Tohoku en 2011, le JMA a détecté le phénomène au large et renforcé son alerte au tsunami pour le Japon.



Enregistrement du tsunami du 11 mars 2011 par la bouée DART® #21418 située à 450 milles nautiques au nord-ouest de Tokyo. L'amplitude maximale de l'onde a été mesurée à 1,8 m, 33 minutes après le séisme. Le premier enregistrement correspond à la secousse due au séisme. Données reproduites avec l'autorisation de la NOAA



Le système de bouées GPS a été mis en service par le MLIT sur 15 sites autour du Japon afin de surveiller les vagues



La bouée GPS ancrée par 204 m de profondeur au large du port de Kamaishi a enregistré à plus de 6 m la crête de la première vague du tsunami déclenché par le séisme survenu au large du Tohoku en 2011. Données obtenues par le Bureau des ports du Ministère japonais de l'aménagement du territoire, du transport et du tourisme (MLIT) et traitées par l'institut de recherche PARI

Niveau de la mer

Hauteur de la mer à un moment donné, mesuré par rapport à un niveau de référence, tel que le niveau moyen de la mer.

Niveau de référence de la mer

Les différences d'altitude observées entre des repères géodésiques sont retraitées par la méthode des moindres carrés afin de déterminer des altitudes orthométriques par rapport à une surface de référence altimétrique commune qui est le niveau de référence de la mer. Cette méthode garantit la cohérence des altitudes de tous les repères qui figurent sur la partie d'un réseau altimétrique relevant d'un service géodésique et permet de les comparer directement afin de déterminer, dans un système géodésique de référence, des différences d'altitude entre des repères qui ne sont pas nécessairement directement reliés par des lignes de nivellement. C'est l'acceptation universelle d'un niveau de référence de la mer qui rend possible cet important système de contrôle géodésique des altitudes.

Niveau maximum probable de l'eau

Niveau hypothétique (à l'exclusion du run-up provoqué par des vagues normales générées par le vent) que pourrait atteindre l'eau dans le pire cas de figure possible, si les facteurs hydrométéorologiques, géosismiques et autres facteurs géophysiques raisonnablement envisageables dans la région considérée se conjugaient, en ayant chacun un impact local maximal. Ce niveau représente la réaction physique d'une masse d'eau soumise à des phénomènes comme des ouragans, lignes de grains mobiles et autres phénomènes météorologiques de type cyclonique, des tsunamis et la marée astronomique, d'intensité maximale, conjugués à des conditions hydrologiques ambiantes

probables paroxystiques, comme le niveau des vagues, pratiquement sans aucun risque de dépassement.

Niveau moyen de la mer

La moyenne arithmétique des hauteurs de la marée relevées toutes les heures sur un littoral ouvert ou dans des eaux voisines pouvant rejoindre librement la mer, pendant une période donnée ; cette valeur est souvent utilisée comme niveau de référence pour les études géodésiques. Aux États-Unis, le niveau moyen de la mer est défini comme la hauteur moyenne de la surface de la mer à tous les stades de la marée sur une période de 19 ans.

Onde de marée (1)/ Raz-de-marée (2)

- 1) Le mouvement ondulatoire des marées.
- 2) Souvent utilisé improprement pour désigner un tsunami, une onde de tempête ou toute autre élévation du niveau de la mer anormalement importante, donc destructrice, qui n'a rien à voir avec la marée.

Plans de vagues (Diagrammes de réfraction)

Des modèles utilisant comme entrées la profondeur de l'eau, la direction des vagues, leurs angles de séparation et l'écart entre deux rayons de houle adjacents permettent d'obtenir le trajet des orthogonales, les coefficients de réfraction, la hauteur des vagues et leurs temps de parcours.

Station marégraphique

Un ensemble qui comprend un appareil de mesure de la hauteur du niveau de la mer, comme un marégraphe, une plate-forme de collecte de données (PCD) pour recueillir, numériser et archiver numériquement les informations sur le niveau de la mer, et souvent un système de communication pour transmettre ces informations de la station à un centre de collecte de données. Les spécifications d'échantillonnage et de transmission des données dépendent des objectifs. Le programme GLOSS gère un réseau de base de stations marégraphiques. Pour la surveillance des tsunamis locaux, des échantillons de flux de données d'une seconde disponibles en temps réel sont nécessaires. Pour les tsunamis en champ lointain, les centres peuvent convenablement donner l'alerte en

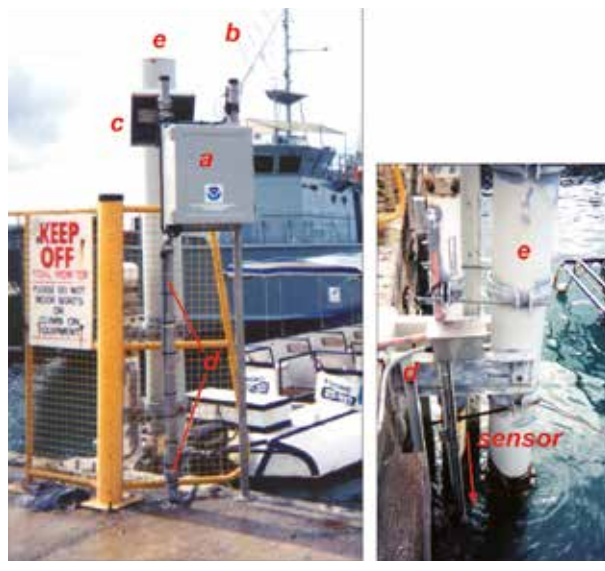
utilisant des données acquises en temps quasi réel (un échantillon d'une minute transmis toutes les 15 minutes, au minimum). Les stations marégraphiques sont aussi utilisées pour surveiller l'évolution à long terme du niveau de la mer et pour étudier le changement climatique. Dans ce cas, la localisation très précise de la station, comme le permettent les techniques géodésiques, est une spécification importante.



Les stations marégraphiques du GLOSS utilisent nombre d'instruments pour mesurer le niveau de la mer, notamment des radars orientés vers le bas. Port-Louis, à Maurice.
Crédit photographique : Centre du niveau de la mer de l'Université de Hawaii

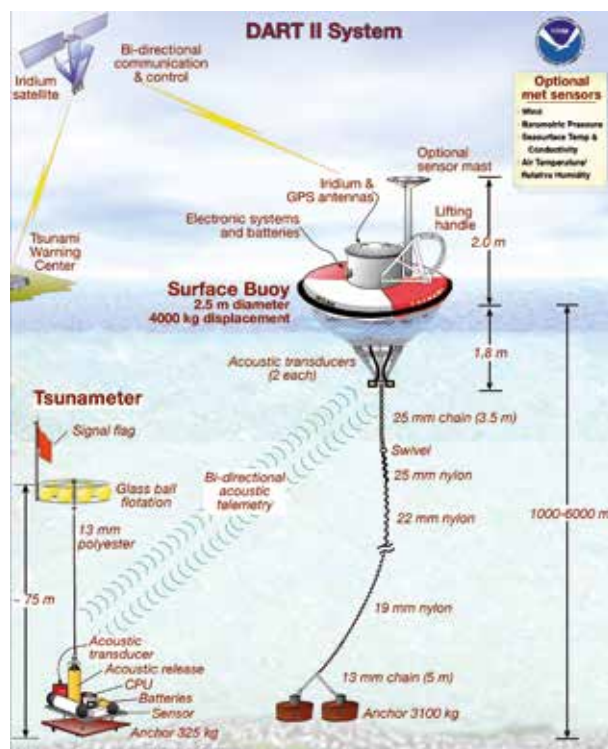
Station marégraphique

Endroit où sont obtenues des observations marégraphiques.



Station marégraphique de Rarotonga, port d'Avarua, dans les Îles Cook. L'appareillage électronique placé dans un coffret en fibre de verre (a), l'antenne (b), le panneau solaire (c) ont été installés sur un môle. Les câbles qui relient le capteur, situé à un mètre cinquante sous le niveau de basse mer, à la plate-forme de collecte des données contenant l'équipement électronique, sont enfermés dans une gaine (d) fixée à l'extérieur du tube (e) abritant le capteur

Système d'évaluation et d'enregistrement des tsunamis en mer profonde (DART®)



Un instrument qui détecte très tôt, mesure et signale en temps réel un tsunami en haute mer. Mis au point par le Laboratoire pour l'environnement marin du Pacifique de la NOAA (États-Unis), le système DART® est constitué d'un enregistreur de pression posé sur le fond, capable de détecter des tsunamis de l'ordre du centimètre, et d'une bouée de surface ancrée pour les communications en temps réel. Une liaison acoustique transmet les données du fond jusqu'à la bouée. Elles sont alors communiquées par satellite à des stations à terre, qui démodulent les signaux pour diffusion immédiate aux centres d'alertes aux tsunamis de la NOAA. Les données du DART®, associées aux techniques les plus modernes de modélisation numérique, font partie d'un ensemble de prévision des tsunamis qui permettra d'anticiper leurs effets à la côte en fonction du site.

Tsunamimètre

Un instrument qui permet de détecter très tôt, de mesurer et de signaler en temps réel un tsunami en haute mer. Le système DART® et les capteurs câblés de pression en eau profonde sont des tsunamimètres.



Les tsunamis endommagent les installations côtières. Ce marégraphe installé à Talcahuano a été utilisé par la marine chilienne pour surveiller le tsunami qui a touché le Chili le 27 février 2010. Lors du tsunami survenu au Japon le 11 mars 2011, sept stations ont été détruites ou endommagées et six autres ont cessé de transmettre des données, laissant le JMA dans l'incapacité d'observer pleinement la gravité du phénomène.

Avec l'autorisation de R. Núñez Gundlach

5. SYSTÈME D'ALERTE AUX TSUNAMIS : ACRONYMES ET ORGANISATIONS

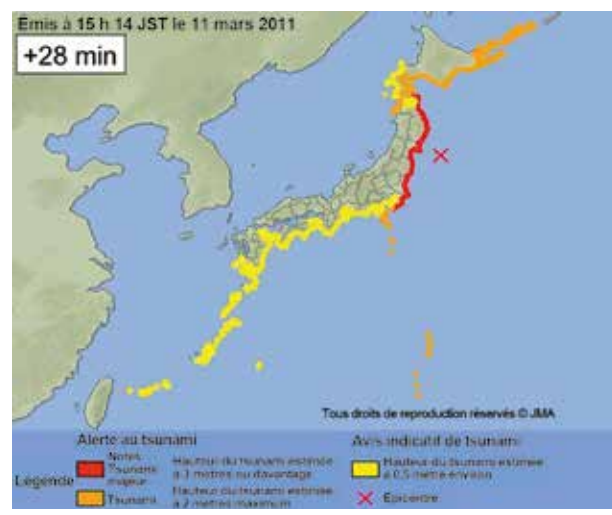
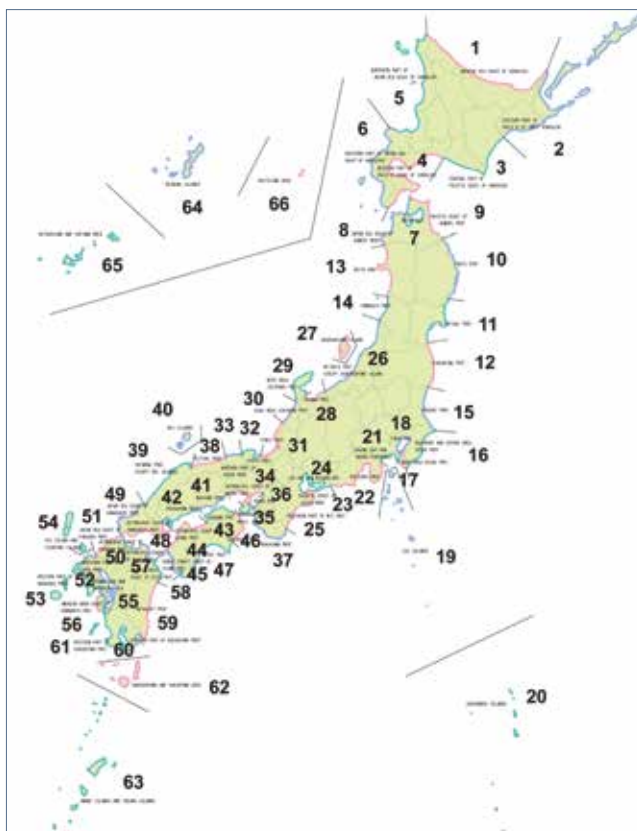
Les Systèmes d'alerte aux tsunamis et de mitigation de la COI travaillent en partenariat avec un certain nombre d'organisations et utilisent des acronymes et un lexique spécifiques pour décrire la gouvernance du système, les services et les différents produits relatifs aux tsunamis.

Alerte au tsunami

Une alerte au tsunami est habituellement émise par un Centre national d'alerte aux tsunamis pour faire savoir qu'un risque de tsunami est attendu et imminent. Une alerte au tsunami peut être diffusée pour différents niveaux de risque. Par exemple, une menace de faible niveau se caractérise par de faibles variations du niveau de la mer et de forts courants océaniques, et le tsunami ne représente un risque réel que sur les plages, dans les ports et pour les activités de loisirs en mer. Si le niveau de menace est élevé, des vagues de grande amplitude et de forts courants peuvent se produire et provoquer d'importantes inondations ainsi que la destruction totale de la plupart des structures proches du littoral. Des vagues dangereuses

peuvent se succéder pendant plusieurs heures après l'arrivée de la première vague.

Les différents niveaux d'alerte doivent déclencher différents types de réaction de la part des responsables des secours d'urgence et des populations menacées. En cas de risque majeur, ils convient notamment d'assurer la sécurité du public en évacuant les zones côtières de faible altitude et en déplaçant des bateaux vers des eaux profondes si l'on dispose d'assez de temps. Les alertes peuvent être mises à jour, ajustées selon les zones géographiques, revues à la baisse ou annulées. Pour que l'alerte soit aussi rapide que possible, les premiers avis ne s'appuient normalement que sur les informations sismiques. Les niveaux de risque peuvent porter des noms différents selon les pays en



Régions de prévision des tsunamis du JMA (à gauche) et alerte japonaise au tsunami du 11 mars 2011 (à droite). Toute la côte orientale du Japon a été mise en alerte 28 minutes après le séisme de magnitude 9,0, le nord du Japon étant placé en alerte majeure et le reste de la côte pacifique en alerte au tsunami ou ayant reçu un avis indicatif de tsunami. Les alertes et avis ont tous été annulés au bout de 2 jours, 3 heures et 12 minutes

fonction de la langue pratiquée et de la nomenclature normalisée utilisée pour les autres types de risques, par exemple pour les événements météorologiques.

Il existe au Japon 66 régions de prévision côtière, et des alertes sont émises spécialement pour chacune d'elles. Il existe trois niveaux de menace en fonction de la prévision de la hauteur du tsunami (alerte majeure au tsunami, alerte au tsunami et avis indicatif de tsunami).

Annulation de l'alerte au tsunami

Une alerte est annulée lorsque des vagues destructrices cessent d'atteindre le rivage. Un avis d'annulation est émis quand les relevés du niveau de la mer indiquent que les vagues du tsunami ont cessé d'être dévastatrices et que le tsunami est en régression dans la plupart des régions surveillées.



Le 29 septembre 2009, le tsunami des Samoa a commencé à inonder le port de Pago Pago 11 minutes après le séisme, et la deuxième vague, 14 minutes plus tard, a submergé le rivage, projetant des bateaux sur le toit des bâtiments du front de mer, Samoa américaines. Crédit photographique : R. Madsen

Centre national d'alerte aux tsunamis (NTWC)

Centre officiellement désigné par le gouvernement pour jouer un rôle de surveillance et émettre des alertes aux tsunamis et autres communiqués analogues sur le territoire national conformément aux procédures opérationnelles normalisées du pays.

CIT

Centre d'information sur les tsunamis. Centres fournissant aux États membres et au public une assistance technique ainsi qu'une aide à la formation, à la sensibilisation et au renforcement des capacités en vue de l'élaboration de mesures de prévention, de préparation et de mitigation concernant les tsunamis. Les centres assurent notamment la gestion des études de performance après un phénomène, servent de ressource pour l'élaboration, la publication et la diffusion de

matériels d'éducation, de prévention et d'information sur les tsunamis et peuvent appuyer les activités d'évaluation des risques et de mitigation. Un centre d'information sur les tsunamis a été mis en place au sein de chaque système régional d'alerte aux tsunamis, dans le cadre du GIC.

PTWS

- Centre international d'information sur les tsunamis (CIIT)

IOTWMS

- Centre d'information sur les tsunamis dans l'océan Indien (IOTIC)

NEAMTWS

- Centre d'information sur les tsunamis pour l'Atlantique du Nord-Est, la Méditerranée et les mers adjacentes (NEAMTIC)

CARIBE-EWS

- Centre d'information sur les tsunamis dans les Caraïbes (CTIC)

CIIT

Centre international d'information sur les tsunamis. Le CIIT a été créé en novembre 1965 par la COI de l'UNESCO pour appuyer le GIC/ITSU dans le Pacifique. Le CIIT fournit également aux États membres une assistance technique ainsi qu'une aide au renforcement des capacités en vue de la mise en place de systèmes d'alerte aux tsunamis et de mitigation à l'échelle mondiale dans les océans Indien et Atlantique, la mer des Caraïbes et la Méditerranée, ainsi que d'autres océans et mers bordières, et, en tant que plus ancien Centre d'information sur les tsunamis, il apporte son soutien à ses homologues qui démarrent dans d'autres régions. Dans le Pacifique, le CIIT assure notamment le suivi du PTWS et recommande les améliorations à y apporter, coordonne les transferts de technologie relatifs aux tsunamis entre les États membres intéressés par la mise en place de systèmes d'alerte aux tsunamis nationaux et régionaux, fait office de centre d'échange d'informations pour les activités d'évaluation des risques et de mitigation, travaille avec le World Data Service for Geophysics (Service mondial de données géophysiques) à la collecte de données sur les phénomènes historiques et sert de ressource pour l'élaboration, la publication et la diffusion de matériels d'éducation et de prévention sur les tsunamis (www.tsunamiwave.info).

COI

Commission océanographique intergouvernementale de l'UNESCO. La COI, point focal pour l'océanologie et les services océaniques au sein du système des Nations Unies, est chargée de « promouvoir la coopération internationale et de coordonner les programmes de recherche, les services et le renforcement des capacités, afin d'accroître les connaissances relatives à la nature et aux ressources des océans et des zones côtières et d'appliquer ces connaissances à l'amélioration de la gestion, au développement durable, à la protection du milieu marin et aux processus de prise de décisions par ses États membres ». Elle aide les gouvernements à résoudre leurs problèmes individuels et collectifs, concernant l'océan et la zone côtière, par la mise en commun du savoir, de l'information et de la technologie et la coordination des programmes nationaux (<http://ioc.unesco.org/>).

Fin d'alerte au tsunami

Après l'annulation de l'alerte, un avis de fin d'alerte est émis par les autorités locales (et non par le TWC) à l'intention du public, quand celui-ci peut réintégrer les zones évacuées sans courir aucun risque. L'action des vagues de tsunami peuvent varier considérablement en fonction des conditions locales, la décision de lever complètement l'alerte dépendra de l'importance des dommages et ne sera pas nécessairement prise de façon identique d'une localité à l'autre. En général, après

réception d'un avis d'annulation d'alerte, les organismes d'intervention peuvent lever définitivement l'alerte lorsque la zone dont ils ont la charge n'a plus enregistré de vagues destructrices depuis au moins deux heures, sauf si d'autres heures estimatives d'arrivée ont été annoncées par le TWC (à la suite d'une réplique importante, par exemple) ou si les conditions locales, un effet de seiche prolongé ou des courants particulièrement forts dans les chenaux et dans les ports par exemple, justifient le maintien de l'état d'alerte. Les dégâts causés localement aux structures et aux infrastructures essentielles et/ou les effets secondaires provoqués par des incendies ou la fuite de substances dangereuses peuvent retarder sensiblement l'annonce de la fin d'alerte.

GIC

Groupe intergouvernemental de coordination. En tant qu'organes subsidiaires de la COI de l'UNESCO, les GIC se réunissent pour promouvoir, organiser et coordonner les activités régionales de mitigation des tsunamis, y compris la publication en temps utile d'alertes aux tsunamis. Atteindre un tel objectif nécessite la participation, la coopération et la contribution de nombreux services nationaux et internationaux d'observation de l'activité sismique et du niveau de la mer, ainsi que de communication et de diffusion, dans toute la région. Un GIC se compose d'États membres de la région. Il existe à l'heure actuelle des GIC pour les systèmes d'alerte aux tsunamis et de mitigation dans le Pacifique, l'océan Indien, la mer des Caraïbes et les régions adjacentes, ainsi que dans l'Atlantique du Nord Est, la Méditerranée et les mers adjacentes (www.ioc-tsunami.org/).

GIC/CARIBE-EWS

Groupe intergouvernemental de coordination du Système d'alerte aux tsunamis et aux autres risques côtiers dans la mer des Caraïbes et les régions adjacentes, créé par l'Assemblée générale de la COI à sa 23^e session (résolution XXIII.13), en 2005. Le GIC se compose essentiellement d'États membres de la COI et d'organisations régionales de la région élargie des Caraïbes. Grâce aux efforts de coordination déployés par la Sous-Commission de la COI pour l'IOCARIBE depuis 1993, un groupe d'experts a formulé une proposition pour la création du Système d'alerte aux tsunamis dans la région du golfe du Mexique et de la mer des Caraïbes, qui a été approuvée par le Conseil exécutif de la COI en 2002.

GIC/IOTWMS

Groupe intergouvernemental de coordination du Système d'alerte aux tsunamis et de mitigation dans l'océan Indien, créé par l'Assemblée générale de la COI à sa vingt-troisième session (résolution XXIII-12), en 2005. Le secrétariat du GIC/IOTWMS se trouve actuellement à Perth (Australie). Le GIC/IOTWMS compte à ce jour 28 États membres.



Banda Aceh, Sumatra, Indonésie. Le tsunami du 26 décembre 2004 a totalement rasé les villes et villages côtiers, ne laissant que du sable, de la boue et de l'eau, là où auparavant se trouvaient des quartiers prospères d'habitation, de bureaux et d'espaces verts. Crédit photographique : DigitalGlobe

GIC/ITSU

Groupe international de coordination du Système d'alerte aux tsunamis dans le Pacifique, créé par l'Assemblée générale de la COI à sa 4^e session (résolution IV.6), en 1965. Le GIC/ITSU a été renommé « Groupe intergouvernemental de coordination du Système d'alerte aux tsunamis et de mitigation dans le Pacifique » (GIC/PTWS) en vertu de la résolution XXXIX.8 adoptée par le Conseil exécutif de la COI en 2006.

GIC/NEAMTWS

Groupe intergouvernemental de coordination du Système d'alerte rapide aux tsunamis et de mitigation dans l'Atlantique du Nord-Est, la Méditerranée et les mers adjacentes, créé par l'Assemblée générale de la COI à sa 23^e session (résolution XXIII.14), en 2005. Il se compose essentiellement d'États membres de la COI bordant l'Atlantique du Nord-Est ou la Méditerranée et les mers adjacentes. Il compte actuellement 39 États membres.

GIC/PTWS

Groupe intergouvernemental de coordination du Système d'alerte aux tsunamis et de mitigation dans le Pacifique, anciennement GIC/ITSU, renommé en vertu de la recommandation ITSU XX.1 (20^e session du GIC/ITSU, 2005)

qui a été approuvée par la résolution XXXIX.8 du Conseil exécutif de la COI. Il rassemble à l'heure actuelle 46 pays.

GLOSS

Système mondial d'observation du niveau de la mer. L'une des composantes du Système mondial d'observation de l'océan (GOOS). La COI de l'UNESCO a créé le GLOSS en 1985 pour améliorer la qualité des données relatives au niveau de la mer devant alimenter des études sur l'évolution à long terme du niveau de la mer. Il se compose d'un réseau principal comptant environ 300 stations réparties le long des côtes continentales et dans chaque archipel de la planète. Le réseau du GLOSS contribue également à la surveillance du niveau de la mer aux fins des alertes aux tsunamis, avec pour norme opérationnelle minimale la transmission d'un échantillon de données d'une minute tous les quarts d'heure.

GOOS

Système mondial d'observation de l'océan. Le GOOS est un système permanent d'observation, de modélisation et d'analyse des variables océanographiques à l'appui des services océanographiques opérationnels du monde entier. Il vise à fournir une description exacte de l'état actuel des océans, notamment de ses ressources biologiques ; des prévisions ininterrompues de l'évolution des conditions en mer en se projetant le plus loin possible dans l'avenir, ainsi que des éléments de base pour prévoir les changements climatiques. Le Bureau des projets du GOOS, implanté depuis 1992 au siège de la COI, à Paris, prête son concours à la mise en œuvre du GOOS.

Guide opérationnel à l'intention des utilisateurs du Système d'alerte aux tsunamis

Ce guide présente une synthèse des services et procédures opérationnels et administratifs, notamment des réseaux de données de surveillance et de détection et de suivi utilisés par les centres d'alerte, les critères utilisés pour l'établissement de rapports et la publication de messages d'information sur les tsunamis, des exemples de messages, ainsi que les destinataires et les méthodes de diffusion de ces messages. Il peut également inclure des informations générales permettant aux utilisateurs de comprendre les produits diffusés. Dans le Pacifique, il s'intitulait précédemment « Plan de communication du TWSP ».

JMA

Office météorologique japonais. Le JMA a mis en place un service d'alerte aux tsunamis en 1952. Le JMA fait désormais office de système national d'alerte aux tsunamis, assure un suivi permanent, 24 heures sur 24, de

toute activité sismique enregistrée au Japon et diffuse en temps utile des informations concernant les tremblements de terre et les tsunamis. En 2005, le JMA a mis en service le Centre consultatif sur les tsunamis dans le Pacifique Nord-Ouest (NWPTAC) qui fournit, en étroite coordination avec le PTWC, des informations complémentaires sur les tsunamis qui se produisent au Japon ou aux alentours, ainsi que dans le Pacifique Nord-Ouest et des services provisoires pour la mer de Chine méridionale. De 2005 à 2012, le JMA et le PTWC ont fourni des services provisoires pour l'océan Indien (<http://www.jma.go.jp/jma>);

Niveaux de menace de tsunami

Ils décrivent les types de menace que représente un tsunami en fonction de l'aléa potentiel et de ses conséquences sur les populations, les structures et les écosystèmes sur terre ou dans les milieux marins proches du littoral. En fonction du type de menace, un NTWC pourra émettre le bulletin d'information ou la déclaration correspondant au tsunami concerné.

Menace d'inondation des terres. Tsunamis pouvant inonder des communautés côtières et éventuellement provoquer des dégâts importants. En présence d'une menace terrestre, les populations doivent évacuer les zones à risque.

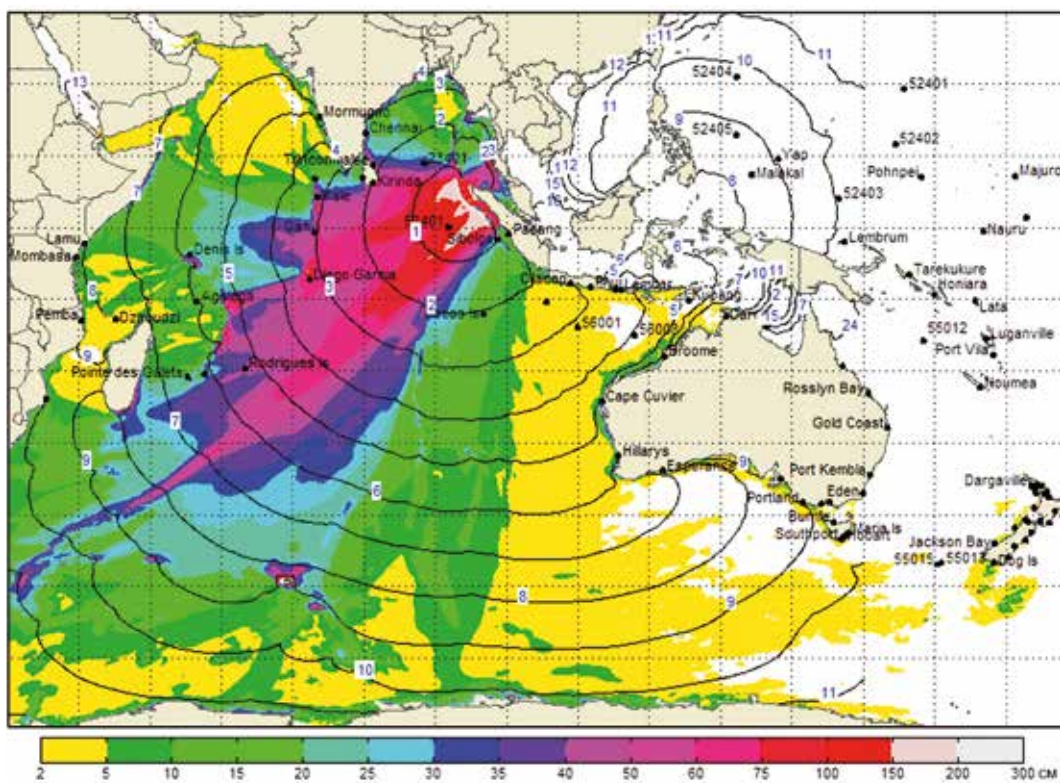
Menace pour les eaux marines côtières. Les tsunamis qui constituent une menace marine peuvent provoquer de forts courants dangereux et inhabituels dans les eaux côtières. En présence d'une menace marine, les populations doivent rester hors de l'eau et à l'écart des estrans, y compris les chenaux et les estuaires.

Menace potentielle. Tsunamis représentant une menace potentielle terrestre ou marine, encore en cours d'évaluation.

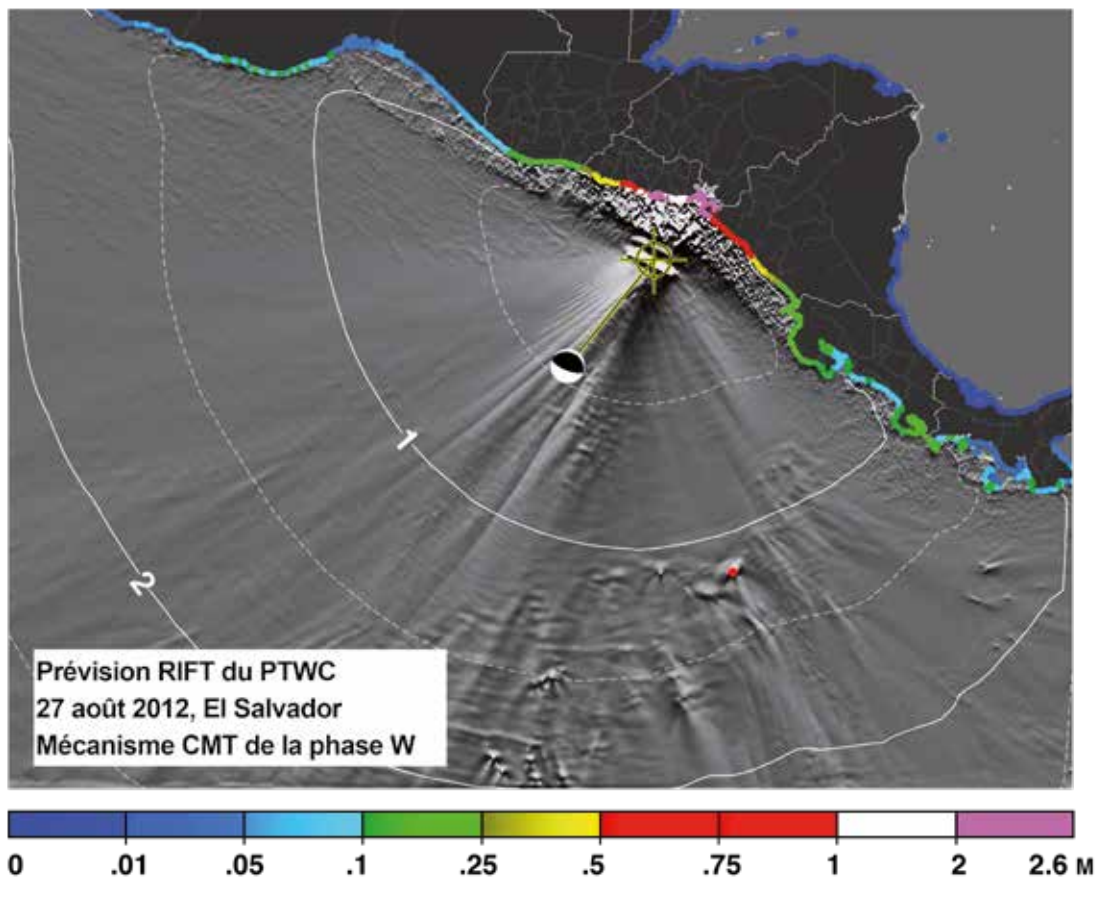
Absence de menace. Absence de possibilité qu'un tsunami se produise ou tsunamis n'étant pas supposés provoquer de dégâts ni représenter un danger pour la population.

Plan directeur de l'ITSU

Principal guide à long terme pour l'amélioration du Système d'alerte aux tsunamis. Le Plan présente une synthèse des éléments fondamentaux du système d'alerte, une description de ses composantes déjà en place ainsi qu'un aperçu de ses activités, des séries de données, des méthodes et des procédures qui doivent être améliorées afin de réduire le risque de tsunami. La première édition du Plan directeur du GIC/PTWS a été publiée en 1989. La troisième édition date de 2004 (www.unesco.org/ulis/cgi-bin/ulis.pl?catno=117788&set=50C4D77D_0_77&gp=1&lin=1&ll=1).



Carte de menace de tsunami établie par le RTSP australien de l'IOTWMS pour l'océan Indien en fonction du séisme de magnitude 9,1 survenu le 26 décembre 2004 au large de Sumatra, Indonésie. Cette prévision aurait été émise si des centres internationaux d'alerte avaient été opérationnels en 2004. Les bandes colorées représentent les directions de propagation de l'énergie du tsunami et les amplitudes maximales au large des côtes. Les lignes de contour prévoyant le temps de parcours du tsunami sont tracées à intervalle d'une heure. Avec l'autorisation du Centre australien conjoint d'alerte aux tsunamis.



Prévision RIFT du PTWC concernant la menace de tsunami consécutive au séisme de compression de magnitude 7,7 survenu au large d'El Salvador en août 2012. Les zones colorées le long de la côte indiquent les amplitudes maximales de tsunami attendues aux endroits correspondants, le rose représentant les amplitudes les plus élevées. Les lignes de contour prévues (blanches) indiquant le temps de parcours du tsunami sont tracées à intervalle de 30 minutes. Les effets de relief en gris représentent la directivité de propagation de l'énergie du tsunami. Avec l'autorisation du PTWC

Point de prévision de tsunamis

Lieux pour lesquels le Centre d'alerte aux tsunamis, ou un autre organisme, est en mesure de fournir des estimations de l'heure d'arrivée d'un tsunami et/ou de la hauteur des vagues. Ils peuvent correspondre à la présence de villes côtières ou de populations importantes, et/ou à l'emplacement de marégraphes.

Prestataire de services relatifs aux tsunamis (TSP)

Centre qui surveille l'activité sismique et le niveau de la mer et diffuse en temps voulu des informations sur les menaces de tsunami dans le cadre d'un Groupe intergouvernemental de coordination (GIC) de centres nationaux d'alerte aux tsunamis (NTWC)/points focaux pour l'alerte aux tsunamis (TWFP) et d'autres prestataires de services opérant dans un bassin océanique donné. Les NTWC/TWFP peuvent utiliser ces produits pour élaborer et diffuser des alertes aux tsunamis dans leur pays. Les TSP peuvent également diffuser des messages publics

à l'échelle d'un bassin et faire office de centre national d'alerte aux tsunamis diffusant des alertes pour leur propre pays. Plusieurs prestataires de services ont été établis dans le cadre des GIC.

PTWS

- Centre consultatif sur les tsunamis dans le Pacifique Nord-Ouest (NWPTAC) de l'Office météorologique japonais (JMA)
- Centre d'alerte aux tsunamis dans le Pacifique (PTWC) des États-Unis

IOTWMS

- Centre australien conjoint d'alerte aux tsunamis (JATWC)
- Centre indien d'alerte rapide aux tsunamis (ITEWC)
- Système indonésien d'alerte rapide aux tsunamis (InaTEWS)

CARIBE-EWS

- Centre d'alerte aux tsunamis dans le Pacifique (PTWC) des États-Unis

Il peut également exister des arrangements bilatéraux, multilatéraux et sous-régionaux pour la fourniture de produits à un sous-ensemble d'États membres au sein du GIC. Ce dernier peut décider ou non de mettre en place des critères.

Prévision de tsunami

Estimation quantitative de toute caractéristique de l'aléa tsunami qui est faite à l'avance. Les caractéristiques qui peuvent être prévues sont l'heure d'arrivée de la première vague, l'heure d'arrivée de la plus grande vague, l'amplitude des plus grandes vagues de tsunami et la durée du danger de tsunami. Les prévisions sont principalement produites par les centres d'alerte à partir des résultats de modèles numériques. Ceux-ci peuvent inclure des modèles du temps de parcours, de propagation et d'inondation. Tous ces modèles s'appuient sur des hypothèses concernant principalement la source du tsunami, qui peut être exacte ou non et être un facteur d'erreurs dans la prévision. La plupart des modèles peuvent être contraints par des observations du tsunami à mesure qu'elles deviennent disponibles, ce qui contribue à améliorer la précision de la prévision. Des prévisions de tsunami peuvent être émises aux points de prévision, pour des sous-blocs géographiques ou selon les juridictions géopolitiques d'un pays, en vue de fournir un avis circonstancié sur la menace de tsunami.

Produits des Centres d'alerte aux tsunamis

Les Centres d'alerte aux tsunamis émettent quatre principaux types de messages : (1) des bulletins d'information, lorsqu'un fort séisme s'est produit mais que la menace de tsunami est minime ou inexistante ; (2) des avis indicatifs, de veille, ou d'alerte, locaux, régionaux ou à l'échelle d'un bassin lorsqu'il existe une menace imminente de tsunami ; (3) des bulletins d'annulation quand les vagues de tsunami dévastatrices ont cessé ; et (4) des messages de communication sur les tsunamis, afin de tester régulièrement le système. Les messages relatifs aux tsunamis doivent contenir des informations utiles à la prise de décisions officielles en situation d'urgence, c'est-à-dire le degré d'urgence, de gravité et de certitude du tsunami ainsi que la zone qu'il touchera. Pour que l'alerte soit aussi précoce que possible, les premiers avis se fondent uniquement sur les données sismiques les plus rapidement disponibles, entre autres la localisation du séisme, sa magnitude et sa profondeur. Les messages d'alerte sont actualisés régulièrement, ou en fonction des besoins, ou encore annulés une fois la menace disparue.

Les messages d'alerte aux tsunamis suivent toujours la même présentation et doivent contenir les indications suivantes :

En-tête du message (numéro du message, centre émetteur et heure d'émission), type du message et zone touchée ; déclaration des autorités ; paramètres du séisme ; mesures des vagues de tsunami (dès qu'elles deviennent disponibles) ; déclaration d'évaluation ou estimation de la menace (pouvant inclure un avis sur les

mesures d'intervention adaptées, le degré de certitude et les heures estimatives d'arrivée) ; et la fréquence des bulletins ultérieurs.

SMT

Système mondial de télécommunications de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) reliant directement les services météorologiques et hydrologiques nationaux dans le monde. Le SMT est largement utilisé pour la transmission, en temps quasi réel, des données relatives au niveau de la mer afin de surveiller les tsunamis. Le SMT et d'autres systèmes fiables de communication sont utilisés pour la transmission des alertes aux tsunamis.

TBB

Tableau d'affichage électronique sur les tsunamis (Tsunami Bulletin Board). Le TBB est un service de courrier électronique proposé par le CIIT qui offre un forum de discussion scientifique ouvert et objectif où publier des articles d'actualité et d'information concernant les tsunamis et la recherche dans ce domaine. Le CIIT propose ce service aux chercheurs qui étudient les tsunamis ainsi qu'à d'autres techniciens professionnels afin de faciliter la large diffusion d'informations sur les tsunamis, l'état actuel des travaux de recherche ainsi que des annonces concernant les réunions à venir et d'autres matériels relatifs aux tsunamis. Toute contribution des membres du TBB est la bienvenue. Les messages sont immédiatement diffusés sans modification. Le TBB s'est avéré très utile pour organiser rapidement des enquêtes après un tsunami, en diffuser les résultats et prévoir des ateliers et des colloques sur les tsunamis. Les membres du TBB reçoivent automatiquement les bulletins et avis relatifs aux tsunamis émis par le PTWC et le NTWC des États-Unis.

TER

Intervention d'urgence en cas de tsunami (Tsunami Emergency Response). Le plan d'intervention d'urgence présente les mesures prises par les organismes responsables pour garantir la sécurité publique après notification par le point focal pour l'alerte aux tsunamis, qui est généralement le Centre national d'alerte aux tsunamis. Il comprend des procédures et protocoles opérationnels normalisés pour les activités et les interventions d'urgence et indique quels sont les organismes et les personnes concernés, leur rôle et leurs responsabilités, leurs coordonnées, les délais d'action et le degré d'urgence, ainsi que les moyens déployés pour alerter les citoyens ordinaires et les populations ayant des besoins spéciaux (handicapés physiques ou mentaux, personnes âgées, populations de passage et maritimes). Lors d'une intervention face à un tsunami, l'accent est mis sur la rapidité, l'efficacité, la concision et la clarté de l'action et des instructions transmises au public. Un Plan

d'intervention d'urgence doit également définir les actions et les responsabilités postérieures au tsunami pour les opérations de recherche et de secours, d'aide humanitaire, de réhabilitation et de relèvement.



En 1986, à la suite d'un séisme dans les îles Aléoutiennes, le PTWC a émis une alerte au tsunami qui a amené les fonctionnaires chargés des situations d'urgence à Hawaï à évacuer toutes les zones côtières de faible altitude. Baie de Waimea, Oahu, Hawaï.
Crédit photographique : Honolulu Advertiser

TNC

Contact national pour les tsunamis du Groupe de coordination intergouvernemental (Tsunami National Contact). TNC est la personne désignée par le gouvernement d'un État membre du GIC pour représenter son pays aux fins de la coordination des activités internationales d'alerte aux tsunamis et de mitigation. Cette personne est un des principaux acteurs du programme du système national d'alerte aux tsunamis et de mitigation. Il peut s'agir du point focal pour l'alerte aux tsunamis, d'une personne appartenant à l'organisme national chargé de la gestion des catastrophes, d'un membre d'une institution technique ou scientifique ou de toute autre entité ayant des responsabilités en matière d'alerte aux tsunamis et de mitigation.

TOWS-WG

Par sa résolution XXIV-14 (2007), l'Assemblée de la COI a créé le Groupe de travail sur les systèmes d'alerte aux tsunamis et autres aléas liés au niveau de la mer, et de mitigation (*Working Group on Tsunamis and Other Hazards related to Sea-Level Warning and Mitigation Systems*) afin de donner aux organes directeurs de la COI des avis sur des activités coordonnées de développement et de mise en œuvre de systèmes d'alerte et de mitigation concernant les tsunamis et autres aléas liés au niveau de la mer qui représentent des priorités communes à tous les GIC des Systèmes d'alerte aux tsunamis.

TWFP

Point focal du GIC pour l'alerte aux tsunamis. Point de contact disponible 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7 (un bureau, une unité opérationnelle ou un poste, et non un individu), désigné officiellement par le centre national d'alerte aux tsunamis ou par le gouvernement pour recevoir et diffuser les informations relatives aux tsunamis émises par un prestataire de services relatifs aux tsunamis du GIC, conformément aux procédures opérationnelles normalisées du pays. Le TWFP peut ou non être le NTWC.

TWP

Les responsables de la veille aux tsunamis (National Watch Providers) sont des NTWC du NEAMTWS désireux et capables de fournir des informations d'alerte aux tsunamis à d'autres États membres à des points de prévision désignés ; les destinataires des services de veille sont les TWFP qui ont fait le choix de recevoir ce type d'information ; en général, ce sont eux-mêmes des NTWC. Afin d'être reconnus comme faisant partie du NEAMTWS, les candidats TWP doivent remplir un certain nombre de conditions et être approuvés par le GIC/NEAMTWS. Les États membres sont libres de choisir le TWP dont ils souhaitent recevoir des messages de veille et peuvent recevoir ces messages de plusieurs TWP.

UGGI

Union géodésique et géophysique internationale. L'UGGI est une organisation scientifique non gouvernementale créée en 1919 qui s'attache à promouvoir et à coordonner l'étude de la Terre et de son environnement dans l'espace. La Commission de l'UGGI sur les tsunamis, établie en 1960, est un groupe international de scientifiques intéressés par divers aspects des tsunamis, notamment une meilleure compréhension de la dynamique de leur formation, de leur propagation et de leur pénétration à

l'intérieur des terres, ainsi que de leurs répercussions sur la société (<http://iugg.org>).

UNESCO

Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture. Créée en 1945, l'UNESCO s'attache à promouvoir la coopération entre ses États membres dans les domaines de l'éducation, de la science, de la culture et de la communication. Aujourd'hui, l'UNESCO fonctionne comme un laboratoire d'idées et remplit une fonction normative en élaborant des textes universels sur de nouvelles questions éthiques. Elle sert aussi de centre de diffusion et de mise en commun de l'information et du savoir en aidant les États membres à renforcer leurs capacités humaines et institutionnelles dans différents domaines. L'Acte constitutif de l'UNESCO déclare que « les guerres prenant naissance dans l'esprit des hommes, c'est dans l'esprit des hommes que doivent être élevées les défenses de la paix » (www.unesco.org/).

WDS et NGDC

Le Système mondial de données (WDS) a été créé pour archiver et diffuser les données collectées dans le cadre des programmes d'observation de l'Année géophysique internationale (1957-1958). Implanté à l'origine aux États-Unis, en Europe, en Russie et au Japon, le WDS compte aujourd'hui 40 membres dont l'activité est axée sur divers services d'analyse et de conservation des données qui forment ensemble un système commun de données distribuées interopérables au niveau mondial .

Le **Centre national de données géophysiques (NGDC)** de la NOAA cohabite avec le service mondial de données géophysiques du Système mondial de données, englobant la géologie marine et la géophysique, qui gère les données mondiales concernant la géophysique, les fonds marins et les aléas naturels, notamment les tsunamis. Ces données couvrent des périodes allant de quelques secondes à plusieurs millénaires et constituent des informations de référence pour la recherche dans de nombreuses disciplines.

(www.icsu-wds.org/, www.ngdc.noaa.gov/hazard/)

6. BIBLIOGRAPHIE

OUVRAGES GÉNÉRAUX

- Atwater, Brian F., et al., *Surviving a tsunami – Lessons from Chile, Hawaii, and Japan*. USGS Circular 1187. Washington DC : GPO, rev 2009. En anglais, version espagnole intitulée « Sobreviviendo a un tsunami: lecciones de Chile, Hawái y Japón », USGS Circular 1218, rev 2006. En ligne.
- Bernard, E.N., dir. publ., *Developing tsunami-resilient communities: The National Tsunami Hazard Mitigation Program*, Dorchedt : Springer, 2005.
- Bernard, E.N., et A. R. Robinson, *Tsunamis, The Sea*, Volume 16, Cambridge: Harvard University Press, 2009.
- Dudley, W. et M. Lee, *Tsunami! 2e Ed.*, Honolulu : University of Hawaii Press, 1998.
- UNESCO/COI Centre international d'information sur les tsunamis. *Tsunami Newsletter*. Honolulu, 1965 to present. En ligne en anglais.
- UNESCO/COI. *Master plan for the Tsunami Warning System in the Pacific*. Troisième édition. Document d'information de la COI n° 1124. Paris, UNESCO, 2004. En ligne en anglais (Plan directeur de l'ITSU – Système d'alerte aux tsunamis dans le Pacifique. Deuxième édition. IOC/INF-1124. Paris, UNESCO, 1999).
- UNESCO-COI Centre international d'information sur les tsunamis. *Tsunami – Les Grandes Vagues*. IOC/BRO/2012/4. Paris, UNESCO, rev 2012 (original NOAA PA 7407, 1975). En anglais ; versions espagnole et française en ligne.
- UNESCO-COI Centre international d'information sur les tsunamis. *Glossaire sur les tsunamis*. Édition révisée en 2012 (Série technique de la COI n° 85). Paris, UNESCO. En anglais ; versions espagnole et française en ligne.
- UNESCO-COI Centre international d'information sur les tsunamis. *Tsunami Warning!*, Document d'information n° 1223. Paris, UNESCO, rev 2005 (original 2000).
- UNESCO-IOC. *Post-tsunami survey field guide*. Deuxième édition. Manuels et Guides de la COI n° 37 (Guide pour les études de terrain consécutives aux tsunamis. Première édition. Manuels et Guides de la COI n° 37). Paris, UNESCO, 1998, révisé en 2012. Première édition (1998) en russe, français et espagnol en ligne.

CATALOGUES DES PHÉNOMÈNES

- Berninghausen, W.H., *Tsunamis and seismic seiches of Southeast Asia*. Bulletin of the Seismological Society of America, 59, 289–297, 1969.
- Berninghausen, W.H., *Tsunamis and seismic seiches reported from regions adjacent to the Indian Ocean*. Bulletin of the Seismological Society of America, 56(1), 69–74, 1966.
- Berninghausen, W.H., *Tsunamis and seismic seiches reported from the Western North and Atlantic and the coastal waters of Northwestern Europe*. Informal Report No. 68-05, Washington DC: Naval Oceanographic Office, 1968.
- Berninghausen, W.H., *Tsunamis reported from the west coast of South America, 1562-1960*. Bull. Seismol. Soc. Amer., 52, 915–921, 1962.
- Berninghausen, W. H., *Tsunamis and seismic seiches reported from the eastern Atlantic south of the Bay of Biscay*. Bull. Seismol. Soc. Amer., 54, 439–442, 1964.
- Dunbar, P.K., P. A. Lockridge, et L. S. Whiteside, *Catalogue of Significant Earthquakes. 2150BC–1991AD*. US Department of Commerce, NOAA, National Geophysical Data Center, Boulder, États-Unis d'Amérique, World Data Center A for Solid Earth Geophysics Reports SE-49, 320 pp, 1992.
- Everingham, I.B., *Preliminary Catalogue of Tsunamis for the New Guinea I Solomon Island Region 1768–1972*. Bureau des ressources minérales, Canberra, Australie, Rapport 180, 78 pp, 1977.
- Heck, N.H., List of seismic sea waves. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 37, No. 4, p. 269–286, 1947.
- Lida, K., D. Cox, et G. Pararas-Carayannis, *Preliminary catalog of tsunamis occurring in the Pacific Ocean*. Data Report No. 5, Hawaii Institute of Geophysics, HIG-67-10. Honolulu: Université de Hawaii, réédité en 1972. URL: www.soest.hawaii.edu/Library/Tsunami%20Reports/lida_et_al.pdf.
- Lida, K., *Catalog of tsunamis in Japan and its neighboring countries*. Institut de technologie, Aichi, Yachigusa, Yakusa-cho, Toyota-shi, 470–03, Japon, 52 p, 1984.
- Kanamori, H. et K. Yomogida, *First results of the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku earthquake*, Earth, Planets Space, 63, 511–902, 2011.
- Lander, J. F., L. S. Whiteside, et P. A. Lockridge, *Two Decades of Global Tsunamis, 1982–2002*, Science of Tsunami Hazards, the International Journal of the Tsunami Society, Honolulu, Hawaii, États-Unis d'Amérique, 21, 3–82, 2003.

- Lander, J.F., *Tsunamis Affecting Alaska 1737–1996*. KGRD No. 31, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Geophysical Data Center, Boulder, Colorado, États-Unis d'Amérique, septembre, 155, 1996.
- Lander, J.F., P.A. Lockridge, et M.J. Kozuch, *Tsunamis affecting the West Coast of the United States 1806–1992*. US Department of Commerce, NOAA, National Geophysical Data Center, Boulder, États-Unis d'Amérique, NGDC Key to Geophysical Records Documentation KGRD-29. 242 pp, 1993.
- Lander, J., et P. Lockridge, *United States Tsunamis (including United States Possessions) 1690–1988*. Publication 41-2, Boulder: National Geophysical Data Center, 1989.
- Lockridge, P.A., *Tsunamis in Peru-Chile*, Report SE-39, World Data Center A for Solid Earth Geophysics, NOAA, National Geophysical Data Center, Boulder, CO, États-Unis d'Amérique, 97, 1985.
- Lockridge, P.A., L.S. Whiteside et J.F. Lander, *Tsunamis and Tsunami-like Waves of the Eastern United States*. Science of Tsunami Hazards, the International Journal of the Tsunami Society, Honolulu, Hawaii, États-Unis d'Amérique, 20 (3), 120–144, 2002.
- Molina, E.e (Seccion de Sismologia, INSIVUMEH, Guatemala). *Tsunami catalogue for Central America 1539–1996 [Report]*. Reduction of natural disasters in Central America. Universitas Bergensis Technical Report no. II 1-04, Bergen, Norvège : Institute of Solid Earth Physics, Université de Bergen; 1997.
- Murty, T.S. et M. Rafiq, *A tentative list of tsunamis in the marginal seas of the north Indian Ocean*. Natural Hazards, 4 (1), 81–83, 1991.
- NOAA National Geophysical Data Center (NGDC), US Dept of Commerce, Boulder, CO, *Global Historical Tsunami Database, 2000 BC to present, 2012*, online www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml
- NOAA National Geophysical Data Center et COI/UNESCO-NOAA Centre international d'information sur les tsunamis, *2012 Global Tsunami Sources, 1410 BC to 2012 AD Map*. Également en ligne.
- O'Loughlin, K.F. et J.F. Lander, *Caribbean tsunamis: A 500-year history from 1498–1998*, Advances in Natural and Technological Hazards Research, Vol. 20 Boston, MA: Kluwer Academic Publishers, 2003.
- Pararas-Carayannis G., *Catalogue of Tsunamis in the Hawaiian Islands*. US Department of Commerce, NOAA National Geophysical Center, Boulder, États-Unis d'Amérique, World Data Center A for Solid Earth Geophysics Publication, 94 pp, 1969.
- Sanchez Devora, A. J., et S. F. Farreras Sanz, *Catalog of tsunamis on the western coast of Mexico*. Report SE-50, World Data Center A for Solid Earth Geophysics, NOAA, National Geophysical Data Center, Boulder, Colorado, États-Unis d'Amérique, 79 p., 1993.
- Satake, K., A. B. Rabinowich, U. Kanoglu, et S. Tinti, *Tsunamis in the World Ocean: Past, Present, and Future. Volume I*, Pure Appl. Geophys, 168 (6-7), Numéro spécial, 2011a.
- Satake, K., A. B. Rabinowich, U. Kanoglu, et S. Tinti, *Tsunamis in the World Ocean: Past, Present, and Future. Volume II*, Pure Appl. Geophys, 168 (11), Numéro spécial, 2011b.
- Satake, K., A.B. Rabinowich, D. Dominey-Howes, et J.C. Borrero, *Historical and Recent Catastrophic Tsunamis in the World: Volume I. The 2011 Tohoku Tsunami*, Pure Appl. Geophys., 170 (6/8), Numéro spécial, 2012a.
- Satake, K., A.B. Rabinowich, D. Dominey-Howes, et J.C. Borrero, *Historical and Recent Catastrophic Tsunamis in the World: Volume II. Tsunamis from 1755 to 2010*, Pure Appl. Geophys., 170 (9/10), Numéro spécial, 2012b.
- Sato, S., *Special Anniversary Issue on the 2011 Tohoku earthquake tsunami*, Coastal Engineering Journal, 54 (1), 2012.
- Soloviev, S.L., et al., *Tsunamis in the Mediterranean Sea 2000BC–2000AD*. Advances in Natural and Technological Hazards Research, Vol. 13, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- Soloviev, S.L., et C. N. Go, *A catalogue of tsunamis on the western shore of the Pacific Ocean*. Academie des sciences de l'URSS, Nauka Publishing House, Moscou, 310 pp., 1974. Canadian Translation of Fisheries and Aquatic Sciences No. 5077, 1984. Original russe. Version anglaise disponible à l'Institut canadien de l'information scientifique et technique, Conseil national de recherches, Ottawa, Ontario, Canada K1A 0S2, 447 pp, 1984.
- Soloviev, S.L., et C. N. Go, *A catalogue of tsunamis on the eastern shore of the Pacific Ocean*. Academie des sciences de l'URSS, Nauka Publishing House, Moscou, 204 pp., 1975. Canadian Translation of Fisheries and Aquatic Sciences No. 5078, 1984, Original russe. Version anglaise disponible à l'Institut canadien de l'information scientifique et technique, Conseil national de recherches, Ottawa, Ontario, Canada K1A 0S2, 293 pp, 1984.
- Soloviev, S.L., C. Go, et C. S. Kim, *Catalogue of Tsunamis in the Pacific 1969–1982, Results of Researches on the International Geophysical Projects*. Moscou: Academie des sciences de l'URSS, 1992.
- Soloviev, S.L. et M.D. Ferchev, *Summary of Data on Tsunamis in the USSR*. Bulletin of the Council for Seismology, Academie des sciences de l'URSS [Byulleten Soveta po Seismologii Akademiyi Nauk, SSSR], 9, 23–55, Moscou, URSS, 37, 1961.
- Tinti S., A. Maramai et L. Graziani. *A new version of the European Tsunami Catalogue: updating and revision*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 1, 1-8, 2001.
- Tsunami Laboratory, ICMMG SD RAS, Novosibirsk, Russia, *Historical Tsunami Database for the World Ocean (HTDB/WLD), 1628 B.C to present (Base de données sur les tsunamis historiques dans l'océan mondial (HTDB/WLD), de 1628 av. J.-C. à ce jour)*, 2011, en ligne en anglais à l'adresse suivante : <http://tsun.sccc.ru/nh/tsunami.php>.
- Watanabe, H., *Comprehensive List of Tsunamis to Hit the Japanese Islands*, 2e éd., University of Tokyo Press, 1998, 245 p, 1998, en japonais.

OUVRAGES TECHNIQUES

- Abe, K., Size of great earthquakes 1837–1974 inferred from tsunami data, *J. Geophys. Res.*, 84, 1561–1568, 1979.
- Abe, Katsuyuki, *A new scale of tsunami magnitude*, Mt. in *Tsunamis: Their science and engineering*, Lida et Iwasaki, dir. publ., Tokyo: Terra Scientific Publishing Company, 91–101, 1983.
- Ambraseys, N.N., Data for the investigation of the seismic sea-waves in the Eastern Mediterranean, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 52:4, 895–913, 1962.
- Cummins, P.R., L.S.L. Kong, et K. Satake, Tsunami Science Four Years after the 2004 Indian Ocean Tsunami. Part I: Modelling and Hazard Assessment, *Pure Appl. Geophys.* 165 (11/12), Numéro spécial, 2008.
- Cummins, P.R., L.S.L. Kong, et K. Satake, Tsunami Science Four Years after the 2004 Indian Ocean Tsunami. Part II: Observation and data Analysis, *Pure Appl. Geophys.* 166 (1/2), Numéro spécial, 2009.
- Dmowska, R. et B. Saltzman, dir. publ., Tsunamigenic earthquakes and their consequences. *Advances in Geophysics*, Vol. 39, San Diego: Academic Press, 1998.
- Commission européenne. Direction générale, Recherche et développement (Direction générale XIII), UNESCO et Commissariat à l'énergie atomique (CEA), International Conference on Tsunamis, Conférence internationale sur les tsunamis (anglais seulement) 26–28 mai 1998. France : CEA, 1998.
- Fukuyama, E., J. B. Rundle, et K. F. Tiampo, dir. publ., *Earthquake Hazard Evaluation*, ISBN 978-3-0348-0587-2
- Hatori, T., Relation between tsunami magnitude and wave energy, *Bull. Earthquake Res. Inst. Univ. Tokyo*, 54, 531–541, 1979. En japonais avec résumé en anglais.
- Hatori, T., Classification of tsunami magnitude scale, *Bull. Earthquake Res. Inst. Univ. Tokyo*, 61, 503–515, 1986. En japonais avec résumé en anglais.
- Lida, K. et T. Iwasaki, dir. publ., *Tsunamis: Their science and engineering, Actes du colloque international sur les tsunamis (1981)*, Tokyo: Terra Scientific, 1983.
- Kanamori, H., "Mechanism of tsunami earthquakes," *Phys. Earth Planet. Inter.*, 6, 346–359, 1972.
- Keating, B., Waythomas, C., et A. Dawson, dir. publ., *Landslides and Tsunamis*. Pageoph Topical Volumes, Basel: Birkhäuser Verlag, 2000.
- Mader, C., *Numerical modeling of water waves*, 2e éd. Boca Raton, FL: CRC Press, 2004.
- Papadopoulos, G., et F. Imamura, "A proposal for a new tsunami intensity scale," *Actes du colloque international sur les tsunamis*, session 5, Numéro 5–1, Seattle, 2001.
- Satake, K., dir. publ., *Tsunamis: Case studies and recent developments*. Dordrecht: Springer, 2005.
- Satake, K. et F. Imamura, dir. publ., *Tsunamis 1992–1994: Their generation, dynamics, and hazard*, Pageoph Topical Volumes. Basel: Birkhäuser Verlag, 1995.
- Satake, K., E.A. Okal, et J.C. Borrero, Tsunami and its hazards in the Indian and Pacific oceans, *Pure Appl. Geophys.*, 164(2-3), Numéro spécial, 2007
- Sauber, J. et R. Dmowska, *Seismogenic and tsunamigenic processes in shallow subduction zones*. Pageoph Topical Volumes. Bâle : Birkhäuser Verlag, 1999.
- Shuto, N., "Tsunami intensity and disasters," dans *Tsunamis in the World*, S. Tinti, dir. publ. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 197–216, 1993.
- Sieberg, A., *Erdbebenkunde*, Jena: Fischer, 102–104, 1923. Sieberg's scale.
- Soloviev, S.L., "Recurrence of earthquakes and tsunamis in the Pacific Ocean," dans *Tsunamis in the Pacific Ocean*, edited by W. M. Adams, Honolulu: East-West Center Press, 149–164, 1970.
- Soloviev, S.L., "Recurrence of earthquakes and tsunamis in the Pacific Ocean," *Volny Tsunami (Trudy SahkNII, Issue 29)*, Yuzhno-Sakhalinsk, 7–46, 1972. En russe.
- Tinti, S., dir. publ., Tsunamis in the World : Fifteenth International Tsunami Symposium, 1991, *Advances in Natural and Technological Hazards Research*, Vol. 1. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993.
- Tsuchiya, Y. et N. Shuto, dir. publ., Tsunami: Progress in prediction, disaster prevention and warning. *Advances in Natural and Technological Hazards Research*, Vol. 4. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995.
- Yeh, H., Liu, P., et C. Synolakis, *Long-wave runup models*, Singapore: World Scientific, 1996.

7. MANUELS SCOLAIRES ET MANUELS DE L'ENSEIGNEMENT

Pre-elementary school: Earthquakes and tsunamis Chile: SHOA/IOC/ITIC, 1996. Révisé en 2003 en espagnol.

2-4 Grade: I invite you to know the earth I. Chile: SHOA/IOC/ITIC, 1997.

5-8 Grade: I invite you to know the earth II. Chile: SHOA/IOC/ITIC, 1997.

High School: Earthquakes and tsunamis. Chile: SHOA/IOC/ITIC, 1997.

8. INDEX

A			
Aléa tsunami	14	Étude de terrain consécutive à un tsunami	24
Alerte au tsunami	34	Évaluation de l'aléa tsunami	16
Amplitude de la marée	29	Évaluation probabiliste de l'aléa tsunami	17
Amplitude du tsunami	23	F	
Annulation de l'alerte au tsunami	35	Fin d'alerte au tsunami	36
B		Formation des tsunamis	17
Basse mer	29	G	
Brise-lame ou brises-lames	14	GIC	36
C		GIC/CARIBE-EWS	36
Caractéristiques du phénomène	6	GIC/IOTWMS	36
Carte d'évacuation	14	GIC/ITSU	37
Carte des temps de parcours	15	GIC/NEAMTWS	37
Centre national de données géophysiques (NGDC)	42	GIC/PTWS	37
Chute	23	GLOSS	37
CIIT	36	GOOS	37
COI	36	Guide opérationnel à l'intention des utilisateurs du Système d'alerte aux tsunamis	37
Contact national du GIC pour les tsunamis (TNC)	41	H	
Cotidal	29	Hauteur de la masse d'eau déplacée (hauteur du flot)	25
Crête de la vague	23	Hauteur de la surface de la mer	29
Creux de la vague	23	Hauteur d'inondation	25
D		Hauteur moyenne	25
Débordement	23	Hauteur significative des vagues	25
Déferlante ou vague déferlante	15	Heure d'arrivée	25
Dégâts causés par un tsunami	15	Heure estimative d'arrivée	17
Diagrammes de réfraction	16	I	
Données historiques sur les tsunamis	16	Inondation maximale	25
E		Inondation ou distance d'inondation	25
Échelle d'intensité des tsunamis de Sieberg	23	Instrument câblé posé au fond de l'océan	29
Échelle d'intensité modifiée des ondes marines de Sieberg	23	Intensité	25
Effets des tsunamis	16	Intensité du tsunami	26
Étalement [géographique]	24	Intervention d'urgence en cas de tsunami (TER)	40

J				
JMA	37	Retrait	27	
L		Risque de tsunami	21	
Ligne d'inondation	26	Run-up/altitude du point de pénétration maximale	27	
Longueur de crête	26	S		
Longueur d'onde du tsunami	26	Sédiments de tsunamis	7	
M		Seiche	21	
Magnitude	26	Séisme tsunamigène	7	
Magnitude du tsunami	26	Signes avant-coureurs d'un tsunami (ou signes précurseurs de l'arrivée d'un tsunami)	21	
Marée	28	Simulation d'un tsunami	21	
Marégramme	30	SMT	40	
Marégraphe	30	Source du tsunami	21	
Marégraphes GPS	30	Station marégraphique	31	
Maremoto	7	Subsidence (soulèvement)	28	
Mascaret provoqué par un tsunami	18	Système d'évaluation et d'enregistrement des tsunamis en mer profonde (DART®)	32	
Microtsunami	7	Système mondial de données (WDS)	42	
Modélisation numérique d'un tsunami	18	T		
Montée	26	Tableau d'affichage électronique sur les tsunamis (TBB)	40	
Montée initiale	26	Télétsunami ou tsunami généré à distance ou tsunami en champ lointain	8	
N		Temps de parcours	21	
Niveau de la mer	31	Temps écoulé	28	
Niveau de référence de la mer	31	Théorie de la formation des tsunamis	21	
Niveau (maximal) de l'eau	31	Tsunami	9	
Niveau maximum probable de l'eau	31	Tsunami à l'échelle d'un océan ou tsunami à l'échelle d'un bassin océanique	10	
Niveau moyen de la mer	31	Tsunami historique	10	
Niveaux de menace de tsunami	38	Tsunami local	10	
NTWC	35	Tsunami météorologique (ou météo-tsunami)	10	
O		Tsunami régional	10	
Observation des tsunamis	19	Tsunamigène	21	
Onde de coin du tsunami	19	Tsunamimètre	33	
Onde de marée/Raz-de-marée	31	U		
P		UGGI	41	
Paléotsunami	7	UNESCO	42	
Période du tsunami	27	V		
Plan directeur de l'ITSU	38	Vague initiale	28	
Plans de vagues (Diagrammes de réfraction)	31	Vagues sismiques	22	
Point de prévision de tsunami	39	Vitesse du tsunami (ou vitesse dans des eaux peu profondes)	22	
Point focal du GIC pour l'alerte aux tsunamis (TWFP)	41	Z		
Préparation aux tsunamis	19	Zonage des tsunamis	22	
Prestataire de services relatifs aux tsunamis (TSP)	39	Zone d'inondation	28	
Prévision de tsunami	40			
Produits des Centres d'alerte aux tsunamis	40			
Propagation des tsunamis	19			
R				
Raz-de-marée/Onde de marée	31			
Remous	21			
Répartition du run-up	27			
Résonance du tsunami	21			
Responsable de la veille aux tsunamis (TWP)	41			



Centre international d'information sur les tsunamis,
un partenariat de la COI de l'UNESCO et de la NOAA
Daniel K. Inouye Regional Center (IRC),
1845 Wasp Boulevard, Building 176, Honolulu, Hawaii 96818, États-Unis.
Tél. : (1) 808-725-6050, Fax : (1) 808-725-6055,
<http://www.tsunamiwave.info>, E-mail : itic.tsunami@noaa.gov

Situé à Honolulu, le Centre international d'information sur les tsunamis (CIIT) a été créé le 12 novembre 1965 par la Commission océanographique intergouvernementale (COI) de l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture. La première session du Groupe international de coordination du Système d'alerte aux tsunamis dans le Pacifique (GIC/ITSU) s'est réunie en 1968. En 2005, le GIC/ITSU a été renommé « Groupe intergouvernemental de coordination du Système d'alerte aux tsunamis et de mitigation dans le Pacifique » (GIC/PTWS) afin de souligner la nature globale de la réduction des risques.

Le CIIT remercie les scientifiques ci-après pour l'aide qu'ils ont apportée à la révision du présent document : Thorkild Aarup, Jose Borrero, Paula Dunbar, Fumihiko Imamura, Osamu Kamigaichi, Laura Kong, Emilio Lorca, Charles McCreery, Modesto Ortiz, William Power, Alexander Rabinovich, Kenji Satake, François Schindele, Fred Stephenson, Costas Synolakis et Masahiro Yamamoto.



Série technique n° 85



Organisation
des Nations Unies
pour l'éducation,
la science et la culture



Commission
océanographique
intergouvernementale