

Les tsunamis

Définition

Le tsunami est une onde marine exceptionnelle déclenchée par un soudain déplacement du plancher océanique.

On lui attribue parfois des appellations ambiguës : *seismic sea wave* (vague marine sismique) car les séismes sont la première cause de leur déclenchement, *tidal wave*, même si les tsunamis n'ont rien à voir avec la marée. D'ailleurs tsunami vient du japonais qui signifie "vague causée par la marée"...

On les trouve dans tous les océans, surtout dans l'océan Pacifique qui est notamment délimité par la Ceinture de Feu, et dans certaines mers comme la Méditerranée. Ils peuvent être dévastateurs et meurtriers comme en témoignent le tsunami du 26 décembre 2004 qui a tué 280 000 personnes et celui qui a dévasté les côtes nord-ouest du Japon le 11 mars 2011.

Caractéristiques hydro-dynamiques des tsunamis

Tsunami en pleine mer

Dans le cas des vagues océaniques, les termes utilisés sont pour l'essentiel les mêmes que ceux qui s'appliquent aux autres types d'ondes :

- **longueur d'onde** : distance entre 2 crêtes successives ;
- **fréquence ou période** : intervalle de temps entre 2 crêtes successives ;
- **hauteur** : dénivellation entre crête et creux ;
- **amplitude** : dénivellation entre la crête et le niveau moyen de la mer. Attention ! Pour la plupart des ondes, l'amplitude représente la moitié de la hauteur ;
- **run-up**. L'amplitude du tsunami à son contact avec la côte (déferlement) est appelée *run-up* par les Anglo-saxons, il s'agit de l'altitude maximale de la zone inondée par le tsunami ;
- **vitesse** ;

On classe les tsunamis en fonction de leur **magnitude**, qui correspond à l'énergie totale libérée par le tsunami. Plusieurs échelles de magnitude sont utilisées, l'une des plus pratiques étant celle d'Imamura Iida, où la magnitude est égale au logarithme (en base 2) de la hauteur maximum de la vague principale le long de la côte :

Echelle d'intensité de Sieberg et Ambraseys

Un autre paramètre important est l'**intensité** du tsunami, qui représente la force de la vague en un lieu donné. L'échelle couramment utilisée est celle de Sieberg, modifiée par Ambraseys (1962) qui classe les tsunamis de 1 (pas de dommages) à 6 (désastreux). En 2001, une échelle en 12 niveaux a été proposée par Gerassimos Papadopoulos et

Fumihiko Imamura. Elle est basée sur les conséquences des tsunamis sur les humains, les objets (bateaux) et les constructions.

Caractéristiques des tsunamis

La longueur d'onde des vagues océaniques est en moyenne de 100 m, alors que celle des tsunamis peut excéder 200 km. Leur vitesse de propagation en pleine mer est de plusieurs centaines de km/h (180 km/h pour le tsunami du 2 septembre 1992 au Nicaragua), et peut être dix fois plus rapide que celle des vagues normales (90 km/h environ) car la vitesse augmente avec la profondeur (pas d'influence de la rugosité du fond). Ex. : 500 km/h pour le tsunami du 26/12/2004 dans l'océan Indien et 800 km/h pour le tsunami du 1er Avril 1946 né en Alaska et qui ravagea la ville de Hilo à Hawaii 4,5 h plus tard (18 m de haut, 150 victimes).

- Dans le cas d'une série de tsunamis, la fréquence entre 2 crêtes est élevée, jusqu'à une heure, malgré leur vitesse rapide, car la fréquence dépend surtout de leur longueur d'onde qui est très grande.
- En pleine mer, l'amplitude des tsunamis reste généralement faible, inférieure à 1 m, mais peut atteindre plusieurs mètres dans certains cas.

Tsunami à l'approche et au contact de la côte

L'onde du tsunami, née du choc sismique du haut en bas de la masse océanique, est épaisse de plusieurs centaines de mètres et gagne en énergie chaque fois qu'elle heurte le plancher sous-marin. Des masses d'eau importantes glissent en profondeur le long des déformations du sol marin, à la différence des vagues ordinaires qui n'affectent que la surface de l'eau. À cause de la relation entre la vitesse de propagation et de la profondeur du fond océanique, les tsunamis sont freinés très brutalement dès qu'ils atteignent la plate-forme continentale. Ceci entraîne une augmentation très forte de l'amplitude de la vague, qui atteint fréquemment 5 ou 10 m. Dans les cas les plus dramatiques relevés (voir tableau ci-dessous), le run-up a pu atteindre 20, 30, voire 40 m pour le tsunami déclenché par l'éruption du volcan Krakatoa (Indonésie, 1883). Le record semble appartenir au tsunami du 17 octobre 1737 dans le nord des Kourilles avec 60 m. À cause de leur grande longueur d'onde, la crête du tsunami à la côte peut durer plusieurs minutes, ce qui augmente les risques.

Le run-up

Le run-up des tsunamis à la côte est déterminé par la combinaison de plusieurs méthodes :

- Observation visuelle
- Marques laissées par l'eau ou les débris transportés par la vague sur les bâtiments.

Le run-up d'un tsunami est fonction de plusieurs facteurs : profondeur, morphologie du plancher océanique, tracé de la côte. Dans certains cas, la côte peut réfracter le tsunami et l'orienter en direction de ports ou de baies habituellement protégées des vagues de tempêtes. Il est donc important d'établir des cartes de risques avec plusieurs scénarios fondés sur différentes orthogonales de vagues exceptionnelles (même principe qu'orthogonales de houle, mais les résultats sont très différents). Quand l'énergie d'un tsunami est concentrée dans un secteur précis à cause de la configuration de la côte et/ou du plancher océanique, il est appelé wave trap (trappe à vague) par les Anglo-saxons. Si le tsunami est concentré dans un secteur resserré comme une baie longue et étroite ou l'embouchure d'un cours d'eau, il peut prendre la forme d'un mur appelé bore (trou). Dans ces cas, la force du tsunami est exceptionnelle : un des trois principaux tsunamis engendrés par l'explosion du Krakatoa en 1883 transporta un bloc de corail de 600 t à 100 m à l'intérieur des terres et un bateau à 2,5 km et à 24 m d'altitude. Ceux du Santorin ravagèrent la côte nord de la Crète.

Le comportement d'un tsunami à l'approche de la côte diffère de celui des autres vagues océaniques.

Parfois, le niveau de la mer baisse notablement juste avant l'arrivée du tsunami car l'eau littorale est en quelque sorte aspirée par l'immense rouleau que forme le tsunami (cf. citerna). Ce phénomène est appelé drawdown par les Anglo-saxons. Bien évidemment, il ne faut pas s'aventurer dans la zone émergée, mais au contraire se réfugier sur des topographies élevées.

Dans d'autres cas, le premier mouvement de l'eau littorale est au contraire une élévation (serait-ce la pression exercée sur l'eau littorale par le tsunami ?).

Des vidéos édifiantes du tsunami du 11 mars 2011 au Japon montrent comment le tsunami pénètre à l'intérieur des terres et ravage les côtes.

Les causes des tsunamis

Chaque événement qui entraîne un déplacement significatif du plancher océanique cause aussi le déplacement d'un volume d'eau équivalent, qui peut donner naissance à

un tsunami. La plupart des tsunamis sont issus des séismes, mais d'autres peuvent aussi résulter d'éruptions volcaniques, de glissements de terrain ou d'activités humaines (essais nucléaires).

Les séismes

Le plus souvent, les tsunamis résultent de tremblements de terre se produisant à proximité des côtes. Tout séisme qui engendre un tsunami est qualifié de séisme tsunamigénique (*Tsunamigenic Earthquake*). L'un des plus célèbres est celui qui toucha les côtes du Portugal en 1755. Il produisit une série de tsunamis de 5 m de haut qui firent 60 000 victimes à Lisbonne, soit 1/4 de la population de la ville. Cet exemple est significatif car l'on pense souvent que les tsunamis sont le domaine réservé du Pacifique, or même les côtes françaises ne sont pas épargnées. Le séisme de 8,9 de Sumatra en décembre 2004 produisit également de nombreux tsunamis avec plusieurs vagues d'une dizaine de mètres de haut qui furent dévastatrices.

La magnitude des tsunamis est en général liée à celle des séismes qui les ont initiés. Ainsi, un gros séisme risque de générer tsunami important. Par exemple le tsunami du 28 mars 1964 qui détruisit en partie Hilo (Hawaï) fut déclenché en Alaska par le séisme Good Friday de magnitude 9 (le plus fort connu avec celui du Chili en 1960).

Cependant, cette corrélation est loin d'être aussi simple car les tsunamis résultent essentiellement de déformations verticales de la croûte, même de faible ampleur comme en témoigne le fameux séisme qui détruisit San Francisco en 1906 sans produire de tsunami malgré sa magnitude de 8,3 sur l'échelle de Richter (450 victimes, 28 000 maisons détruites). La cause réside dans le rejet inférieur à un mètre, malgré plus de 6 m de coulissage le long de la faille de San Andréas en partie immergée. En revanche, les séismes faisant jouer ou rejouer des failles conformes ou inverses sont à même d'engendrer des tsunamis, même pour des rejets limités.

Cependant, même le long de failles verticales, les gros séismes ne produisent parfois que des tsunamis de magnitude modeste voire aucun. A l'inverse, des séismes modestes peuvent déclencher des tsunamis d'une magnitude exceptionnelle. Cette dernière catégorie spécifique de séisme tsunamigénique est appelée par les experts japonais séisme tsunami (*Tsunami Earthquake*). Les 2 exemples les plus célèbres de séisme tsunami sont ceux de Sanriku (Honshu) le 15 juin 1896 (24 m de haut, 26 000 victimes) et du 1 avril 1946 au large de l'île d'Unimak (Aléoutiennes, Alaska), qui atteint Hawaï avec une amplitude de 18 m à Hilo.

Les séismes tsunami naissent dans la plupart des cas le long d'une marge active de plaque caractérisée par une profonde fosse océanique (zones de subduction). Il existe deux raisons principales pour que des séismes modérés produisent des tsunamis de forte magnitude :

1. Le glissement de sédiments dans une marge d'accrétion. Les sédiments très volumineux qui composent le prisme d'accrétion, en équilibre instable, peuvent glisser le long du plan de Benioff et entraîner un tsunami exceptionnel (cas sans doute des tsunamis de Sanriku 1896 et Unimak en 1946).
2. Dans les zones de subduction dépourvues de prisme d'accrétion, le principal facteur de déclenchement est la création d'un nouveau plan de rupture, d'une nouvelle faille verticale.

Ex. : séisme du 2 septembre 1992 au Nicaragua, de magnitude 7 (modéré), à 60 km de la côte (contact plaques Cocos et Caraïbe) qui déclencha un tsunami de 8 à 15 m de haut qui toucha l'ensemble de la côte ouest du pays.

Pour la prévention des risques, les sismologues n'utilisent plus seulement l'échelle de Richter, mais le « moment sismique », une mesure qui prend en compte les propriétés d'élasticité de la croûte et la superficie moyenne de la zone où des dislocations de la croûte se produisent pendant un séisme.

Les éruptions volcaniques

La fréquence des tsunamis causés par une éruption est beaucoup plus faible que celle des précédents : seulement 2 % en Méditerranée, essentiellement en Italie, surtout par le Vésuve (à 11 reprises, par ex. en 79 avt JC et surtout en 1631). Et Seulement 6 des 109 tsunamis régionaux déclenchés dans la région Kourilles-Kamtchatka de 1737 à 1990. En revanche, la magnitude des tsunamis d'origine volcanique peut être beaucoup plus forte que celle des tsunamis d'origine sismique. Les deux tsunamis les plus catastrophiques de l'Histoire furent déclenchés par l'éruption d'un volcan insulaire de type explosif : Santorin 1600 avt JC et Krakatoa 1883. Dans ces deux cas, la formation de plusieurs tsunamis successifs fut lié à une éruption plinienne suivie de la formation d'une caldeira qui abaissa le plancher océanique de plusieurs centaines de mètres.

Dans d'autres cas, les tsunamis peuvent résulter : d'un écroulement de flanc d'un volcan, générant une avalanche de débris ; de l'arrivée dans la mer de coulées pyroclastiques (nuées ardentes – cf Krakatoa) ou de coulées de débris (lahars). Dans ces derniers cas, plus le volume de matériaux entrant dans la mer est élevé, plus le tsunami est important.

Les glissements de terrain

Les glissements de terrain tsunamigéniques sont souvent associés aux séismes ou aux éruptions volcaniques, mais pas toujours. Le plus souvent, les tsunamis sont déclenchés le long des parois de canyons sous-marins, dont les flancs s'écroulent de temps à autres. C'est particulièrement le cas le long de la côte ouest des Etats-Unis. Le séisme de 1964 en Alaska (Good Friday) généra au moins 20 glissements de terrain. Celui de Lituya Bay (Alaska) du 9 juillet 1958 de magnitude 7 provoqua un glissement qui repoussa la mer jusqu'à 60 m d'altitude sur la rive opposée, ravageant la forêt.

Le mini-tsunami qui affecta l'aéroport de Nice fut aussi causé par un glissement le long d'un canyon sous-marin.

Les éboulements et les glissements de terrain peuvent générer, dans le pire de cas, des mégatsunamis caractérisés par de puissantes vagues pouvant atteindre jusqu'à 300 mètres de haut avec une vitesse de propagation de plus de 900 km/h... Ce risque existe encore actuellement.

Les facteurs anthropiques

Nous pensons bien sûr aux essais nucléaires qui ont déclenché des tsunamis :

- à l'atoll de Bikini dans les îles Marshall dans les années 40 et 50
- à Mururoa

Il existe également d'autres facteurs à l'origine de mini-tsunamis dans les lacs par exemples, mais il ne s'agit pas de tsunamis au sens propre du terme.

Les conséquences des tsunamis sur le littoral

Effets morphologiques : érosion des plages

Exemples :

- recul de la plage après le passage d'un tsunami de 8 m sur la plage de Marsella, Nicaragua en 1992.
- recul de 150 m d'une plage de Flores par glissements répétés sur 2 km de long après une vague de 11 m de haut.

Effets écologiques

Par l'action mécanique des vagues

- destruction de la végétation à Florès.
- débris coralliens transportés jusqu'à 200 m de la côte après le passage du tsunami de Flores en 1992.

Par l'action du sel

A Flores, l'eau salée a tué tous les arbres ayant résisté au choc mécanique des vagues.

Effets humains et sociaux-économiques

Les pertes s'élèvent généralement à plusieurs centaines de victimes, sauf dans les cas les plus graves où elles se comptent par dizaines de milliers (Santorin 1600 av. JC,

Lisbonne, 1755, Krakatoa 1883, Honshu 1896, Sumatra 2004). L'Indonésie est un des pays les plus gravement touchés et où le risque est le plus important au monde. Certes, l'aléa n'est pas plus fort qu'au Japon, mais la vulnérabilité des populations y est beaucoup plus importante.

Les tsunamis les plus dévastateurs

De 1998 à 2017, les tsunamis ont tué 251 770 personnes et entraîné 280 milliards de dollars de perte économique, selon l'Office des Nations Unies pour la réduction des risques de catastrophe (UNISDR).

Comment prévenir les risques liés aux tsunamis

Il n'existe aucun moyen technique de protection, seule la prévention est possible,

Prévention à court terme : mise en place de systèmes d'alerte

Internationaux

Système d'alerte international dans le Pacifique. Très axé sur la surveillance des séismes, en particulier des séismes tsunamis. Basé à Honolulu et géré par NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Equipé d'une trentaine de stations sismiques et de 78 marégraphes. Il permet de donner l'alerte 1 heure avant l'arrivée d'un tsunami. Ce dispositif reste effectif uniquement pour les populations vivant à plus de 750 km de la source.