

063B - TSUNAMI, CÉLERITÉ VERSUS VITESSE

En mécanique classique, la célérité et la vitesse d'un système sont généralement confondues, du moins pour les gens de ma génération.

En physique, la vitesse (v) désigne le déplacement d'un objet matériel dans l'espace. Par contre, la célérité (c) qualifie la vitesse de propagation d'une onde ou d'une perturbation, sans transport global de matière.

Quelques définitions :

Vitesse (v) : Elle s'applique à un objet en mouvement (comme une voiture, un projectile ou un avion). La vitesse correspond au rapport d'une distance parcourue sur une durée. La vitesse d'un véhicule en ville est limitée à 8.33 m/s (30 Km/h).

Célérité (c) : Cette dernière s'applique à une onde (sonore, lumineuse, électromagnétique) tels la houle, le son ou la lumière. Le milieu transmet une information ou une perturbation, mais les particules locales ne voyagent pas avec l'onde. La célérité du son est de 340 m/s dans l'air, de 1'450 m/s dans l'eau et de 3'200 m/s dans la glace, ou 5'600 m/s dans l'acier.

Retard (τ , tau) : C'est le temps mis par une onde pour aller d'un point à un autre. Les deux termes sont liés par la formule : $c = d / \tau$, où « c » est la célérité, « d » la distance et « τ » le retard. On a donc aussi : $\tau = d / c$, le retard d'une onde est égal au rapport de la distance parcourue et de la célérité de ladite onde.

Comme écrit dans mon texte 063 « célérité de la houle », la longueur d'onde d'un tsunami est immense. En haute mer, la distance entre deux crêtes successives dépasse souvent 100 à 200 kilomètres, ce qui est énorme en comparaison avec les vagues de houle normales qui mesurent une centaine mètres. L'amplitude d'une onde de tsunami en pleine mer reste inférieure à un mètre, mais nous verrons qu'elle peut avancer avec une célérité proche à 600, voire 1'000 km/h, comme un jet !

La célérité de la lumière dans le vide est ce que l'on appelle une constante physique fondamentale. Sa valeur exacte est aujourd'hui fixée à 299'792'458 m/s. Elle représente la limite de la vitesse maximale pour des particules sans masse dans l'univers. On utilisait volontiers jusqu'il y a peu l'approche de 300 000 km/s. Elle sert depuis 1983 à la nouvelle définition du mètre, soit la distance que la lumière parcourt dans le vide en 1/299'792'458 de seconde.

En corolaire, aucun objet ayant une masse quelconque ne peut atteindre ou dépasser cette vitesse, car cela demanderait une énergie infinie. $E = m \cdot c^2$, ça vous rappelle quelque chose, non ? Cette constante très élevée signifie qu'une infiniment petite quantité de matière contient une quantité d'énergie absolument immense.

Quelques détails sur la propagation de l'onde d'un tsunami :

Un séisme sous-marin est susceptible de créer un tsunami. L'amplitude du tsunami généré augmente avec la magnitude du séisme. Avec une magnitude de 8 de l'échelle Richter, le séisme peut générer un tsunami dévastateur.

L'intensité dévastatrice, elle, se mesure avec l'échelle Mercalli ou EMS-98). Elle mesure les effets et les dégâts d'un séisme en un lieu donné.

On peut en effet avoir un séisme énorme, mais avec peu de dégâts ou au contraire un faible tremblement de terre entraînant des dégâts importants, d'où les deux échelles.

Mais pourquoi un tsunami peut-il entraîner de tels dommages ? De fait, un séisme maritime provoque une déformation de la surface de l'eau de l'océan. La force de la gravité induit de son côté une tendance à un retour de l'équilibre initial, ce qui engendre à son tour la propagation d'ondes sur la surface de l'océan.

Ces ondes traversent les mers sans perdre pratiquement aucune énergie. Au large, elles peuvent se déplacer à une célérité variant de 500 à 1'000 km/h, mais la houle est imperceptible, souvent de quelques décimètres.

Puis, près des côtes, la profondeur de l'eau diminue de même que la célérité de l'onde. Par contre, toute l'énergie de la houle se conserve, ce qui provoque une augmentation de la hauteur de la vague, laquelle peut atteindre plusieurs dizaines de mètres de hauteur en arrivant sur le rivage en déferlant. N'oublions pas que les particules de l'eau de l'océan ne se déplacent pas avec l'onde, tout comme dans les marées !

Les mesures effectuées sur de nombreux houlographes dans le monde entier nous ont permis de déterminer que pour une période de temps « T » (secondes) on a une longueur d'onde « λ » qui représente $\approx 1.6 * T^2$, avec une célérité de $\approx 1.25 * \sqrt{\lambda}$ (m/s), soit $\approx 0.65\sqrt{\lambda}$ (en nœuds). On constate donc que la célérité est proportionnelle à la période et que la longueur d'onde est proportionnelle à T^2 .

Il est important de relever que la hauteur ou l'amplitude de la houle n'intervient (pratiquement) pas dans sa vitesse de propagation, mais que cette célérité dépend (quasi) uniquement de la longueur d'onde, ce qui montre bien la question de la célérité de la propagation d'un tsunami.

La formule de la célérité d'un tsunami en eau profonde est $c = \sqrt{g * h}$, avec c = célérité du tsunami en mètres par seconde (m/s), g = l'accélération de la pesanteur sur Terre (environ 9,81 m/s²) et h la profondeur de l'océan en mètres.

Un exemple concret : Dans un océan d'une profondeur moyenne de 3'500 m, la formule nous donne $c = \sqrt{9,81 * 3500} = 185$ m/s, soit environ 666 km/h, pratiquement la vitesse d'un avion de ligne. A cette vitesse, le tsunami mettra environ 9 minutes pour parcourir 100 km, 1½ heure pour 1'000 km et 7 ½ heures pour 5'000 km.

Un tremblement de terre au Japon ou en Russie pourrait produire une vague dévastatrice en Polynésie seulement quelques heures plus tard !

D'où l'importance de la transmission hyperrapide des avis de risque d'un tsunami.

Comme indiqué plus haut, lorsque le tsunami se rapproche des côtes, la profondeur d'eau diminue, ce qui ralentit l'onde mais augmente considérablement la hauteur de la houle qui peut devenir dévastatrice.

Pour terminer, il ne faut pas confondre un tsunami (causé par un événement géologique sous-marin), avec un raz-de-marée (dû aux conditions météorologiques et aux vents violents).

P.-A. Reymond, septembre 2026