

Un séisme lent, silencieux et meurtrier Nicaragua

2 septembre 1992

Hauteur maximale des vagues : 10 mètres

Nombre de victimes : 170



Des survivants font la queue pour obtenir du ravitaillement.



Un village côtier, le lendemain de la catastrophe.

On doit apprendre aux habitants des régions côtières à se réfugier vers les points les plus hauts du relief quand ils ressentent un séisme. Toutefois, au Nicaragua, en 1992, le tsunami qui tua 170 personnes et laissa 13 000 sans abri n'avait été annoncé que par de faibles secousses, et la population n'avait pas perçu le danger. Cinq à dix pour cent des séismes sont ainsi silencieux.

Les vibrations caractéristiques des séismes ont une courte longueur d'onde et elles s'atténuent rapidement en se propageant ; elles n'ont pas franchi la distance qui séparait le foyer sous-marin du continent. Les ondes de longueurs supérieures ont atteint la côte, mais elles accélèrent beaucoup moins le sol et elles n'ont pas été détectées par les sismographes standards, insensibles aux périodes supérieures à 20 secondes. Ce séisme a peut-être dégagé cinq fois plus d'énergie que ne le laisse croire la magnitude de 7,0. Cet événement a clairement montré que les systèmes de détection et d'alerte aux tsunamis devaient être équipés de sismographes à large bande passante.

d'eau ; la propagation, de la haute mer vers les côtes ; le déferlement sur le rivage. La description et la modélisation de ces trois étapes permettent la prévision des conséquences d'un tsunami déclenché en un point donné, ainsi que la reconnaissance des zones à risque. L'efficacité de ces prévisions est toutefois encore limitée par les défauts de la modélisation du déclenchement et du déferlement des vagues.

Comment apparaît un tsunami ? Plusieurs phénomènes créent des vagues à la surface de la mer. Le vent, d'abord, déforme la surface de l'eau en ondes assez courtes qui ne créent que des mouvements superficiels : un plongeur en apnée atteint facilement les profondeurs où la houle ne se fait plus sentir, et même les fortes tempêtes de pleine mer, qui produisent des creux de 30 mètres ou plus, ne déplacent pas les eaux profondes. Les marées, en revanche, qui balaient les côtes du Globe deux fois par jour, créent, comme les tsunamis, des courants qui déplacent les eaux profondes. Elles sont toutefois régulières, soumises aux attractions conjuguées de la Lune et du Soleil, et les vagues qu'elles créent sont rarement très hautes.

Les tsunamis, événements catastrophiques qui mettent la mer en mouvement sur toute son épaisseur, sont déclenchés par une déformation du fond océanique, lors du mouvement relatif de deux plaques tectoniques le long d'une faille ou, plus rarement, lors d'une éruption volcanique, de l'impact d'une météorite ou d'un glissement de terrain sous-marin. L'eau suit alors le mouvement du fond. Comme on n'enregistre jamais directement cette déformation du fond, les modèles n'en donnent qu'une description simplifiée, même dans le cas d'un séisme : on suppose que les plaques tectoniques se chevauchent suivant une surface plane rectangulaire.

Toutefois, même avec une description aussi simple, le calcul de la hauteur initiale du tsunami nécessite la connaissance de dix paramètres, telles la quantité de déplacement de part et d'autre du plan de faille ou la longueur et la largeur de celui-ci. Immédiatement après le séisme, les enregistrements des sismographes n'indiquent que l'orientation du plan de faille, la localisation du séisme, sa magnitude et sa profondeur. Tous les autres paramètres doivent être estimés : la première simulation sous-estime souvent l'ampleur des inondations d'un facteur cinq à dix.

Photographies de Paolo Bosio, Gamma Liaison

Dans ce modèle à un seul plan de faille, la surface de rupture, calculée à partir des enregistrements sismiques, est souvent surestimée : la précision spatiale des données sismiques est insuffisante. De ce fait, le calcul prévoit que l'énergie libérée est dissipée sur une surface plus grande qu'elle n'est ; l'amplitude du mouvement vertical du fond marin et la hauteur de la vague initiale sont sous-évaluées. C'est seulement quand le tsunami a déferlé que les données sur les inondations et les enregistrements sismiques complémentaires permettent un calcul plus précis de sa hauteur initiale. L'étude des répliques qui se produisent pendant les mois qui suivent le séisme initial permet finalement de mieux comprendre la répartition de l'énergie sismique et, en particulier, de mieux délimiter la zone de rupture de la faille. Des résultats satisfaisants nécessitent en général plusieurs mois de travail, mais chaque simulation réussie accroît la fiabilité des prévisions futures.

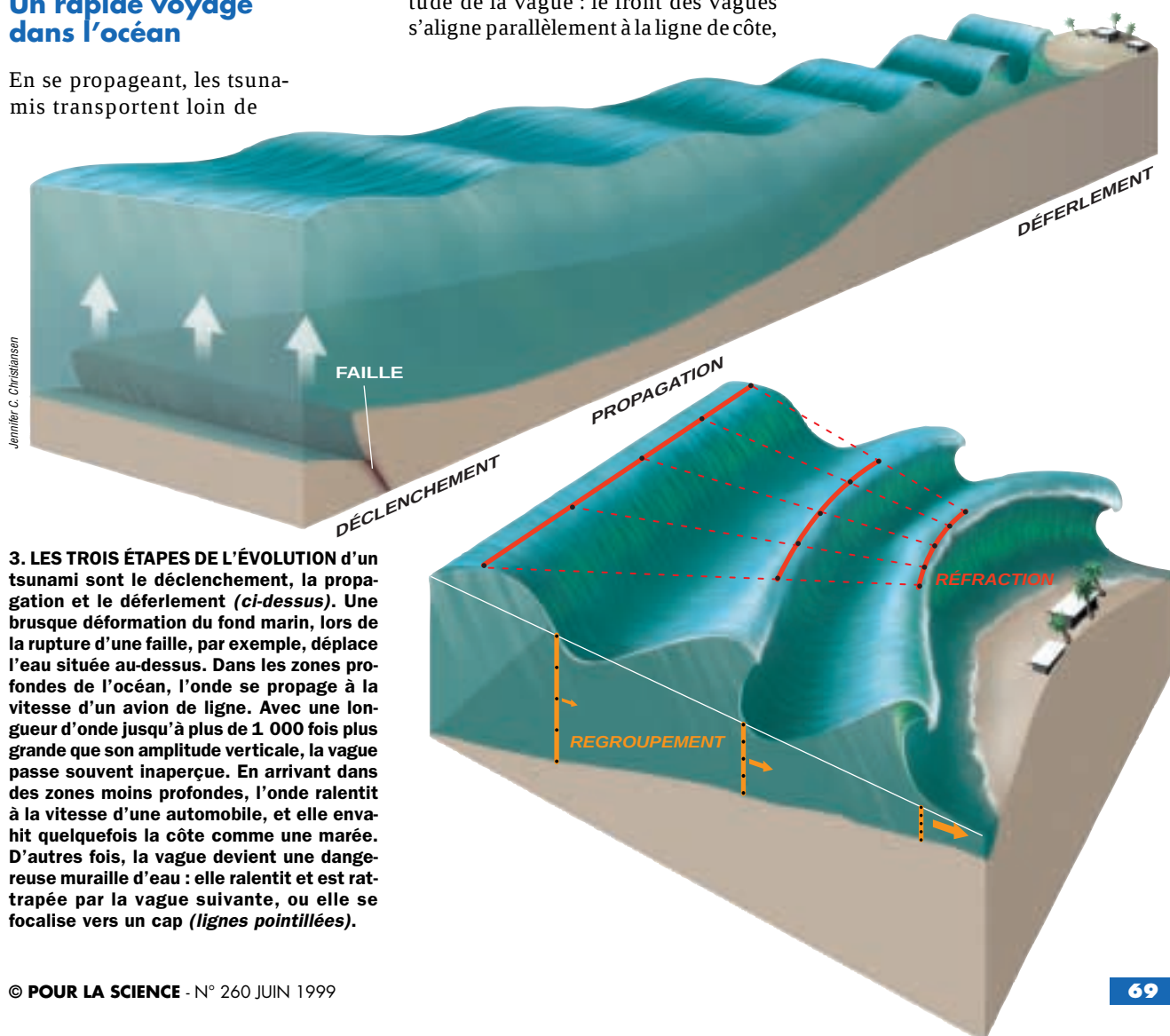
Un rapide voyage dans l'océan

En se propageant, les tsunamis transportent loin de

la source l'énergie libérée lors du séisme, comme les vibrations transportent l'énergie sismique à travers l'écorce terrestre. La hauteur de la vague est si petite par rapport à sa longueur d'onde et à la profondeur de l'eau, et la longueur d'onde est si grande par rapport à la profondeur que l'on peut utiliser la théorie des ondes longues linéaires. Celle-ci indique que la hauteur de l'onde ne détermine pas sa propagation et que sa propagation est d'autant plus rapide que la couche d'eau est épaisse et que la longueur d'onde est grande. Si l'on considère, par exemple, une onde plane, le passage de l'onde dans un plan correspond au seul passage de la quantité d'eau nécessaire à l'élévation du niveau de la mer sur la hauteur de la vague. Or, la vitesse de déplacement de l'eau ne dépend pas de la profondeur et, plus celle-ci est grande, plus le débit qui traverse le plan est grand, donc plus l'onde passe rapidement. Le relief sous-marin modifie la forme des vagues à l'approche des côtes, quand la couche d'eau est mince par rapport à l'amplitude de la vague : le front des vagues s'aligne parallèlement à la ligne de côte,

s'enroulant autour des caps. C'est le phénomène de réfraction. Ces déviations résultent du ralentissement des vagues quand le fond remonte ; ce ralentissement, dans les parties les plus entamées du front, engendre la rotation du front et le regroupement des vagues près de la côte : les vagues se rattrapent et se regroupent. La réfraction des ondes et le regroupement des vagues concentrent l'énergie : les vagues se dressent, et des courants très intenses sont créés.

Cette dernière étape du tsunami, le déferlement, est peut-être le plus difficile à modéliser : la vague est si haute (jusqu'à plusieurs dizaines de mètres) que la théorie linéaire n'est plus applicable. Quand elle n'est pas arrêtée par des falaises côtières ou par d'autres obstacles, une vague peut pénétrer sur plusieurs centaines de mètres à l'intérieur des terres. La submersion est aussi favorisée pour les séismes de subduction : lorsque la plaque océanique avance sous la plaque continentale, le



3. LES TROIS ÉTAPES DE L'ÉVOLUTION d'un tsunami sont le déclenchement, la propagation et le déferlement (*ci-dessus*). Une brusque déformation du fond marin, lors de la rupture d'une faille, par exemple, déplace l'eau située au-dessus. Dans les zones profondes de l'océan, l'onde se propage à la vitesse d'un avion de ligne. Avec une longueur d'onde jusqu'à plus de 1.000 fois plus grande que son amplitude verticale, la vague passe souvent inaperçue. En arrivant dans des zones moins profondes, l'onde ralentit à la vitesse d'une automobile, et elle envahit quelquefois la côte comme une marée. D'autres fois, la vague devient une dangereuse muraille d'eau : elle ralentit et est rattrapée par la vague suivante, ou elle se focalise vers un cap (*lignes pointillées*).