

Fiche Synoptique TIPE 2006
Description et modélisation des tsunamis

Emmanuel Branlard
`emmanuel.branlard@supaero.fr`

Le 12 Juillet 2006

Description et modélisation des tsunamis

➤ Introduction :

L'ampleur de la catastrophe du 26 Décembre 2004 qui a fait près de 300000 morts, a suscité de vives interrogations. Cette catastrophe aurait-elle pu être évitée ?

Une meilleure simulation numérique des tsunamis permettrait de prévenir plus rapidement les populations. Envisageant l'épreuve de type comme une initiation aux professions scientifiques, j'ai souhaité découvrir différents aspects de la simulation numérique, élément indispensable à la physique de nos jours. Mes travaux auront pour but de lier la magnitude du séisme à la propagation du tsunami. Les phases de propagation et de déferlement sont à l'heure actuelle assez bien maîtrisées. La recherche est aujourd'hui portée sur les liens entre le séisme et la déformation initiale, afin de mieux prévoir comment la propagation va se dérouler.

Une grande partie du travail présenté relève d'initiatives personnelles, menant parfois à l'échec, confirmées d'autres fois par mon entretien ultérieur avec M. Okal(*). Pour toutes mes simulations, j'ai utilisé le logiciel Maple. Aucun travail de ce type n'a été effectué à ma connaissance sur ce logiciel et ce sont mes propres algorithmes que je présente, réalisés à partir d'aucun modèle.

➤ Plan de l'exposé :

I. Description et base théorique du phénomène de tsunami

I.1. Définition et caractéristiques

Avant la catastrophe du 26 Décembre 2004, les tsunamis étaient peu connus du grand public, c'est pourquoi j'ai jugé utile de rédiger un document présentant ce phénomène.

I.4. Equation caractéristique

Les tsunamis, respectent en très bonne approximation l'hypothèse des eaux peu profondes, et ceux-ci se propagent à travers les océans à la vitesse : $c = \sqrt{gh}$

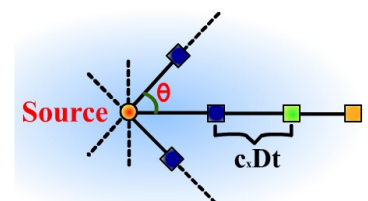
II. Modélisation de la propagation sur des grandes distances

II.1. Modélisation du fond océanique

Pour effectuer les travaux numériques, il a avant tout fallu que je modélise le fond océanique, au niveau de l'océan indien. L'aspect graphique est rudimentaire, les continents sont dessinés de manière rectiligne et simplifiée, tout comme le relief sous-marin.

II.2. Modèle de propagation rectiligne

Muni de la relation donnant la célérité du tsunami, on peut calculer les différentes positions du front de l'onde pour des instants donnés, et ainsi suivre la propagation du tsunami à travers l'océan.



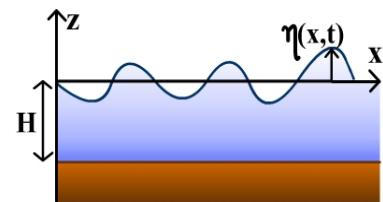
II.3. Modèle utilisant le principe d'Huygens

Afin d'améliorer le modèle précédent, je me suis inspiré du principe d'Huygens.

III. Théorie plus élaborée - Différences finies

III.1. Système d'équation - Korteweg de Vries

Dans la situation décrite par le schéma ci-contre, on peut établir un système d'équations aux dérivées partielles. Ce système se résout par la méthode des différences finies. Afin de découvrir certains aspects de cette méthode, j'ai du réduire la difficulté du problème en me plaçant dans le cadre de l'équation de Korteweg de Vries relative à un écoulement unidirectionnel.



III.2. Méthodes des différences finies

En discrétisant le problème, la résolution de l'équation aux dérivées partielles se transforme en une relation de récurrence matricielle, qui se calcule très bien numériquement. Toutefois, la difficulté réside dans le choix de la méthode de discrétisation et dans le choix des pas temporel et spatial utilisés.

IV. Relation Magnitude/Hauteur initiale grâce à l'Energie

IV.1. Énergie disponible

Une approche énergétique simple, permet d'évaluer l'énergie disponible pour la vague de tsunami. Celle-ci est égale à la différence entre le travail de la force qui déplace l'eau et le travail à fournir pour déplacer le même volume d'eau dans le cas d'une transformation réversible.

IV.2. Relation Magnitude - Hauteur initiale

La magnitude du séisme est une information que l'on possède assez rapidement, compte tenu de la vitesse de propagation des ondes sismiques. A partir du résultat admis, de l'énergie de l'onde solitaire, on peut estimer grâce au travail précédent la hauteur initiale de la déformation, en fonction de la magnitude.

➤ **Conclusion :**

Ce travail, m'aura permis d'une part, de mieux comprendre le phénomène de tsunami, et d'autre part de découvrir divers aspects du travail de recherche scientifique. Bien sûr, à l'échelle du monde scientifique, mon travail présente des résultats bien modestes, mais celui-ci m'a permis de découvrir les difficultés de la simulation numériques : hypothèses de travail, choix d'un modèle, stabilité de celui-ci, difficultés de programmation, optimisation du temps de calcul, et attentes lors de la compilation... Ce fut intéressant d'essayer de résoudre ces problèmes, résolution dans laquelle je fus parfois aidé par des chercheurs spécialistes, qui m'ont guidé, et qui, en dialoguant avec eux, m'ont transmis leur passion de la recherche.

Références

➤ Livres et Publications :

Thèse : The Physics of Ocean Waves (for physicists and surfers) (August 31, 2004)

Michael Twardos:

Thèse : Contribution à la dynamique des ondes de gravités non linéaires en eau peu profonde (Juin 2003)

Marc Francius, *Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, Marseille*

Abstract : Theoretical comparison of tsunamis from dislocations and landslides (1998)

E. A. Okal *Department of Geological Sciences, Northwestern University, Evanston, C.*

E. Synolakis *Department of Civil Engineering, University of Southern California, Los Angeles*

Research Letter : Effect of variable bathymetry on the amplitude of teleseismic tsunamis

(1987) M. T. Woods and E. A. Okal(*)

Formation of waves by ground motion

Pierre C. Sabatier *Département de physique mathématique, Université des sciences et techniques du Languedoc, Montpellier*

Hydrodynamique physique (2001)

E. Guyon, L. Petit, J.P. Hulin

Modelling of Tsunami Propagation in the Vicinity of the French Coast of the Mediterranean (13 Février 2001)

Efim Pelinovsky, Christian Kharif, Igor Riabov, Marc Francius

Study of tsunami propagation in the Ligurian Sea (18 Octobre 2001)

Efim Pelinovsky, Christian Kharif, Igor Riabov, Marc Francius

Assimage – Compte rendu de réunion (19 Mars 2004)

Etienne Huot

Contribution à l'étude mathématique et à la simulation numérique des écoulements des fluides géophysiques (14 Décembre 2004)

Bernard Di Martino, *chercheur à l'université de Corse*

Stabilization of a 1-D tank modeled by the shallow water equations (Juin 2002)

Christophe Prieur, Jonathan de Halleux

Rapport de Projet (ENSTA) Génération de tsunami (2001) - encadré par F. Dias(°)

➤ Notes de Cours :

Notes de cours de CPGE (2000)

M. Willaume, *professeur, Clermont Ferrand*

Notes de cours

Boujema Izrar, *professeur, Laboratoire d'Aérodynamique, Orléan*

Lecture Notes on Water Waves (cours de DEA)

Frédéric Dias (°)

➤ Sites Internet :

<http://www.shoa.cl/oceano/itic/frontpage.html> : Tsunami Les Grandes Vagues (par la Commission Océanographique Intergouvernementale de l'UNESCO)

<http://www.pmel.noaa.gov> : Tsunami Research Program (modèle MOST)

<http://www.enseeiht.fr/hmf/travaux/CD0001/travaux/optsee/hym/14/tsunami.htm> : Tsunami, the Big Wave

<http://www.enseeiht.fr/travaux/CD9598/travaux/optsee/hym/nome35/fau/frame.htm> : Hydrodynamique Marine
<http://www.scubageek.com/geek/articles/wwwceler.html> : Water wave celerity
<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/2minrelief.html> : Bathymétrie du globe par le National Geophysical Data Center
<http://www.astrosurf.com/macombes/lfb98-avant-propos.htm> :

➤ Remerciements :

Je tiens à remercier tout particulièrement le professeur Emile A. Okal(*), professeur au Département des Sciences Géologiques à l'Université Northwestern d'Evanston, qui m'a généreusement aidé dans mon travail, ainsi que Marc Francius, « Post-doc » au TNO Dept. Electro-optics group, La Haye, et Frederic Dias(°), professeur au CMLA (centre des Mathématiques et de leurs applications), ENS Cachan, qui m'ont apporté leur soutien dans mes recherches théoriques. Ce travail aura été pour moi très enrichissant.