

PROPOSITION D'UN SUJET DE THESE EN R&D Quantification du risque de tsunami cosmogénique sur les côtes françaises

Décembre 2019

DAMIEN VIOLEAU – 01 30 87 78 31 – damien.violeau@edf.fr

CONTEXTE

Les tsunamis peuvent être provoqués par diverses causes : 1) les séismes sous-marins, 2) les glissements de terrains (aériens ou sous-marins), 3) les éruptions volcaniques sous-marines, et 4) la chute d'astéroïdes. Ce dernier mécanisme, rare, est assez mal étudié, et le risque associé est par conséquent mal quantifié.

La NASA et l'ESA ont lancé au début des années 2000 un programme international d'identification des astéroïdes à risque. Ce sont essentiellement des corps célestes en provenance de la ceinture principale d'astéroïdes, entre Mars et Jupiter, qui quittent cette orbite à cause d'instabilités mécaniques pour se rapprocher de l'orbite terrestre (on les appelle « géocroiseurs »). La communauté internationale en a répertorié quelques milliers, dont les plus dangereux (et donc les plus rares) ont un diamètre de quelques kilomètres, tandis que les plus petits qui soient visibles ont un diamètre de 150 m environ. Les géocroiseurs plus petits encore ne peuvent être observés à l'heure actuelle, mais ils sont beaucoup plus nombreux.

Lorsqu'un tel corps parvient sur Terre, si son diamètre est inférieur à une soixantaine de mètres il se désagrège dans l'atmosphère avant de toucher le sol ou l'océan (cf. l'explosion d'un astéroïde de 15 m de diamètre au-dessus de Tcheliabinsk en février 2013). L'onde de choc atmosphérique déterminée par son explosion peut agir sur la surface de l'océan en créant une série de vagues assimilées à un tsunami. Dans le cas d'un astéroïde de plus grand diamètre, son impact dans l'océan déterminerait un tsunami plus important. Dans les deux cas, on parle de tsunami « cosmogénique », dont l'amplitude initiale et la forme dépendent de la taille de l'astéroïde au moment de l'explosion ou de l'impact, de sa vitesse de chute (typiquement supérieure à 20 km/s) et – dans une mesure moindre – de son angle d'impact (voir figure ci-dessous).

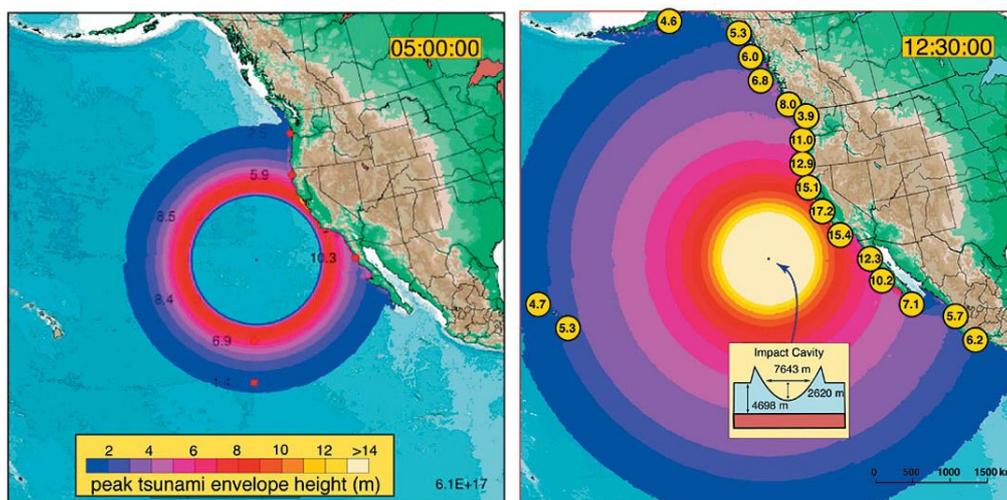


Figure 1 – Simulation de la chute hypothétique de l'astéroïde 2004MN4 (400 m de diamètre) près de la côte pacifique américaine (Chesley et Ward, 2006). Les nombres dans les cercles jaunes indiquent les hauteurs de vagues attendues à la côte.

Bien que de tels événements n'aient jamais été observés, des traces géologiques attestent de leur existence par le passé. Dans ce travail, on s'intéresse aux événements dont la période de retour est comprise entre 1.000 et 10.000 ans (soit des astéroïdes de diamètres de quelques dizaines de mètres).

EDF envisage de quantifier le risque de vague littorale résultant d'un tsunami cosmogénique. En 2019, un travail a été conduit au LNHE (Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement) d'EDF R&D et au LHSV (Laboratoire d'Hydraulique Saint-Venant), pour traiter les impacts dans l'océan par une approche préliminaire référencée dans les publications internationales (Ward et Asphaug, 2000). Ce travail exclut l'effet des explosions d'astéroïdes dans l'atmosphère. L'objet de cette thèse est d'examiner cet effet, apparemment moins dommageable mais plus fréquent.

CONTENU DE LA THESE

La thèse consiste à développer une approche de quantification du risque de tsunami cosmogénique dû aux explosions d'astéroïdes dans l'atmosphère, sur les côtes Atlantique/Manche/Mer du Nord françaises. On concaténera les résultats obtenus par EDF en 2019 concernant les chutes de plus grands astéroïdes dans l'océan, pour donner une approche probabiliste globale. On procédera de la manière suivante :

- Affiner, à l'aide d'une recherche bibliographique (et éventuellement avec notre partenaire l'Observatoire de Paris) la connaissance relative à la distribution de probabilité d'arrivée d'un astéroïde dans l'atmosphère terrestre en fonction de sa taille. Dans un premier temps, on retiendra une trajectoire d'arrivée verticale et une vitesse de chute constante (20 km/s), pour simplifier.
- Déterminer, pour un astéroïde de diamètre donné explosant au-dessus d'un point donné de l'océan Atlantique, la vague maximale résultante sur la façade Atlantique/Manche/Mer du Nord française en fonction de la distance au point d'explosion. Pour cela, on résoudra par quadrature un problème de Laplace en trois dimensions pour le potentiel des vitesses du fluide, dans l'espace de Fourier-Laplace, sous l'hypothèse que les vagues sont de petite amplitude par rapport à la profondeur de l'océan, et avec un terme source donné par l'onde de choc d'une déflagration de von Neumann–Sedov. Cette méthode est bien documentée, et a fait l'objet de développements préliminaires à EDF R&D et au LHSV dans le cadre d'une thèse (Le Gal *et al.*).
- Etudier l'effet des non-linéarités et surtout du *shoaling* (gonflement des vagues à l'approche des côtes lorsque le fond de l'océan remonte) sur quelques cas, à l'aide de simulations numériques sur la base de codes développés à EDF et au LHSV : Misthyc, qui résout les équations d'Euler dans le formalisme de Zakharov (pour prendre en compte les effets dispersifs fréquentiels) et Telemac-2D, qui résout les équations de Saint-Venant (pour prendre en compte la rotondité de la Terre, des forces de Coriolis et du frottement sur le fond de l'océan).
- Pratiquer une analyse probabiliste pour déduire la hauteur d'une vague survenant en moyenne tous les 1.000 ou 10.000 ans sur le littoral d'intérêt, sous l'effet de la chute d'un astéroïde en Atlantique. Pour cela, on utilisera les résultats de la deuxième étape dans le cadre d'une analyse bayésienne. On mettra à profit le travail fait par EDF en 2019, qui traite les chutes d'astéroïdes dans l'océan par cette méthode.

CONDITIONS

La thèse se déroulera sur le site EDF R&D de Chatou, au LHSV (Laboratoire d'Hydraulique Saint-Venant, Ecole des Ponts/EDF R&D/Cerema), avec la collaboration du CEREAs (Centre d'Enseignement et de Recherches en Environnement Atmosphérique, Ecole des Ponts/EDF R&D/Météo-France). Elle sera encadrée par Damien Violeau (chercheur senior au LNHE et au LHSV) et par Martin Ferrand (directeur adjoint du CEREAs). La thèse bénéficiera d'une bourse de l'Ecole des Ponts. Le/la doctorant.e recevra un salaire mensuel brut de 2000 euros environ.

Les candidat.e.s devront posséder de bonnes connaissances en mathématiques et en physique, avec de bonnes notions de mécanique des fluides et de programmation. On demande aussi un bon contact humain et une faculté d'autonomie, mais aussi de travail en groupe.

REFERENCES

Chesley, S.R., Ward, S.N. (2006), *A Quantitative assessment of the human and economic hazard from impact-generated tsunami*, Nat. Haz. **38**(3):355–374.

Le Gal, M., Violeau, D., Benoit, M., *Influence of timescales on the generation of seismic tsunamis*, soumis à Eur. J. Mech. B/Fluids.

Ward, S.N., Asphaug, E. (2000), *Asteroid impact tsunami: A Probabilistic hazard assessment*, Icarus **145**:64–78, doi:10.1006/icar.1999.6336.