

A. Gailler, H. Hébert,
F. Schindélé
CEA – DAM Île-de-France

D. Reymond
CEA, Laboratoire de géophysique,
Pamatai, Polynésie française

VERS UNE ESTIMATION EN TEMPS RÉEL DE L'AMPLIFICATION CÔTIÈRE AU CENTRE NATIONAL D'ALERTE AUX TSUNAMIS FRANÇAIS

Les outils opérationnels de modélisation des tsunamis fournissent des niveaux d'alerte à l'échelle des bassins. Une méthode de calcul rapide, basée sur des lois d'amplification côtière des tsunamis, a été testée pour quantifier les effets attendus sur chaque site.

Elle fournit les hauteurs de tsunami à la côte, calculées à partir de la simulation du tsunami en océan profond, et en utilisant à la côte une fonction de transfert dérivée d'une loi non linéaire (loi de Green). Les résultats préliminaires sur la zone de Nice montrent que l'approximation est obtenue en une minute en général, un laps de temps compatible avec les exigences opérationnelles. Bien que les effets de résonance dans les ports et baies ne soient pas reproduits, les amplitudes sont estimées rapidement et sont du même ordre de grandeur que la modélisation haute résolution au temps de calcul bien plus long.

Dans le cadre du Centre d'alerte aux tsunamis français (Cenalt), les hauteurs de vagues côtières sont aujourd'hui exclusivement mesurées à partir des données marégraphiques temps réel **1**, donc *a posteriori*, mais ne sont pas prédites par le calcul. En effet le système de prévision actuel fournit uniquement des résultats en océan profond,

soit à l'aide d'une base de données de plus de 2000 scénarios de tsunamis précalculés, soit par un outil de modélisation temps réel. Ces deux systèmes fournissent les hauteurs au large et ne prennent pas en compte la réponse côtière à l'arrivée du tsunami.

Une modélisation détaillée à la côte nécessite l'utilisation de grilles imbr-

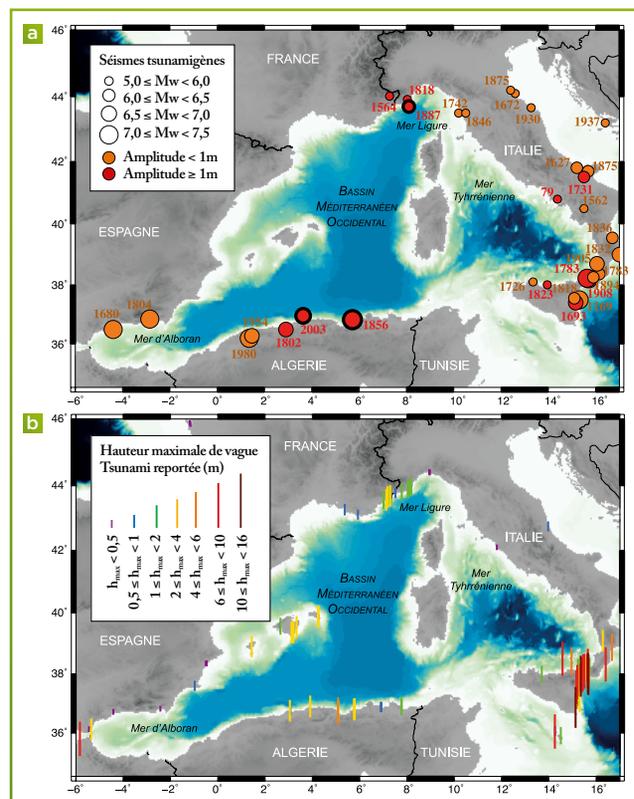


Figure 1
➔ (a) Localisations des séismes tsunamigènes historiques dans le bassin méditerranéen occidental avec leur magnitude M_w (cercle), et amplitudes observées du tsunami associé (couleur). Les cercles en trait noir épais marquent les événements historiques utilisés dans ce travail. (b) Hauteurs maximales h_{max} de tsunami observées pour tous les événements historiques ci-dessus.

quées de résolution croissante **2**, faisant intervenir un code trop lent en contexte opérationnel. En outre les côtes françaises méditerranéennes peuvent être frappées par un tsunami de source généralement assez proche, et le Cenalt ne dispose que de 70 minutes pour publier les messages d'alerte. Une méthode simple d'estimation aux côtes repose sur une loi d'amplification non linéaire classique nommée loi de Green **3**, qui reste une approximation ne tenant pas compte des variations complexes des géométries littorales. La réponse côtière précise peut être approchée en utilisant un facteur de correction empirique, fonction de la configuration locale (facteur β), qui permet ensuite de caractériser rapidement, en 1 minute environ, l'amplification site par site à partir de modèles peu détaillés **4**.

La limitation de cette méthode est qu'elle exige de nombreuses données historiques pour chaque littoral, afin de paramétrer la correction localement. En Méditerranée, plusieurs séismes tsunamigènes historiques sont répertoriés (figure 1). Cependant, les tsunamis produits, modérés, sont mal documentés. Les paramètres d'amplification sont donc définis au regard de données synthétiques issues de simulations haute résolution. Neuf séismes historiques et synthétiques ont été considérés (marge algérienne et mer Ligure, figure 2). Les hauteurs de tsunami basées sur une fonction de transfert amplificatrice tirée de la loi de Green empiriquement modifiée ont alors été calculées et comparées aux simulations fines.

À la côte, les premiers résultats montrent que l'approximation linéaire fournit des estimations du même ordre de grandeur que les modèles détaillés **1**. D'ouest en est, les

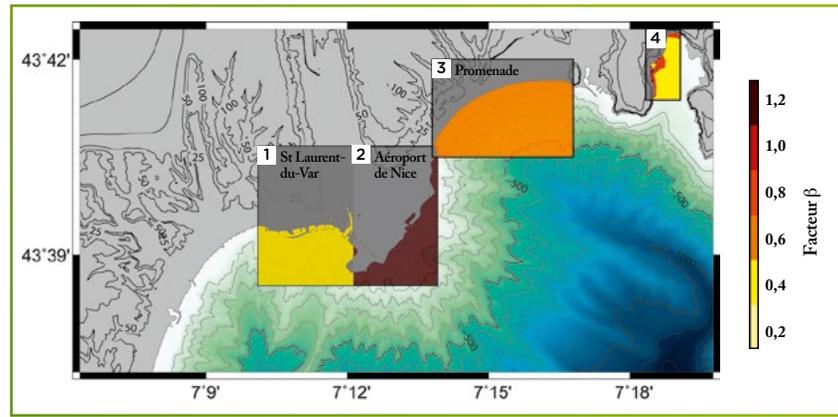


Figure 3

➤ Valeurs du coefficient de correction des amplifications beta (β), régionalisé le long de la Côte d'Azur, déterminées dans cette étude (isocontour bathymétrique 100 m). Les valeurs plus fortes de β soulignent une amplification plus importante (par exemple pour la zone Aéroport de Nice).

calculs révèlent un site d'amplification faible (Saint-Laurent-du-Var, $\beta=0,2$), un domaine fortement amplificateur (aéroport de Nice, $\beta=1,2$), puis à nouveau une zone de faible amplification (promenade des Anglais). Pour le site le plus à l'est (Villefranche-sur-Mer), la réponse complexe conduit à régionaliser les facteurs d'amplification au sein même du domaine (figure 3). Ces différents facteurs d'amplification sont le reflet de la variabilité des pentes sous-marines, de la géométrie des ports et des baies, et des interférences avec des infrastructures maritimes (digues, remblais sur la mer).

Ce travail montre que la loi de Green pure ne peut pas fournir d'estimations satisfaisantes pour tous les points côtiers : des zones fortement amplificatrices peuvent jouxter des sites à amplification faible ou nulle. Inclure un facteur d'amplification dépendant du site permet d'obtenir une meilleure approxima-

tion des prévisions à la côte. La fonction de transfert utilisée pourrait encore comporter des facteurs correctifs supplémentaires pour améliorer les estimations à différentes magnitudes. Cette méthode, implantée au sein des outils du Cenalt, devrait permettre, à terme, de fournir aux autorités de protection civile des estimations côtières rapides à différentes échelles (par exemple départementale, portuaire).

RÉFÉRENCES

- 1** A. GAILLER, H. HÉBERT, F. SCHINDELÉ, D. REYMOND, "Coastal Amplification Laws for the French Tsunami Warning Center: Numerical Modeling and Fast Estimate of Tsunami Wave Heights Along the French Riviera", *Pure Appl. Geophys.*, p. 1-16 (2017), <https://doi.org/10.1007/s00024-017-1713-9>.
- 2** H. HÉBERT, A. SLADEN, F. SCHINDELÉ, "Numerical modeling of the great 2004 Indian Ocean tsunami: Focus on the Mascarene Islands", *Bulletin of the Seismological Society of America*, **97**, p. S208-S222 (2007).
- 3** G. GREEN, "On the motion of waves in a variable canal of small depth and width", *Transactions of the Cambridge Philosophical Society*, **6**, p. 457-462 (1838).
- 4** A. JAMELOT, D. REYMOND, "New tsunami forecast tools for the French Polynesia tsunami warning system Part II: Numerical modelling and tsunami height estimation", *Pure Appl. Geophys.*, **172**, p. 805-819 (2015).

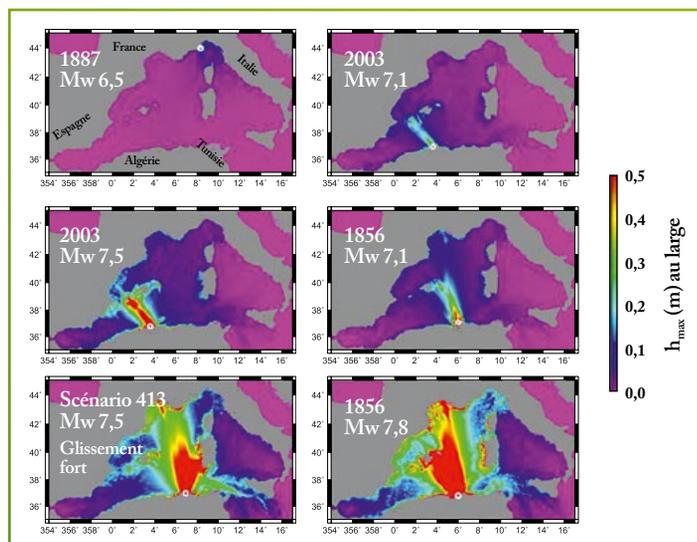


Figure 2

➤ Hauteurs d'eau maximales représentées au large pour 6 scénarios (parmi les 9 utilisés dans l'étude). Les valeurs sont obtenues au large, sur une grille de résolution 2' (3,7 km), après 3 h de propagation. Les cercles blancs représentent l'épicentre des séismes considérés. Les scénarios se réfèrent soit à des épicentres historiques réels (dates indiquées), avec une variation paramétrique sur la magnitude Mw, soit à des épicentres fictifs réalistes.