

# Risques NaTech : vulnérabilité et résilience des installations industrielles sous l'effet d'un tsunami

Gaëtan Prod'homme, Benjamin Le Roux

► **To cite this version:**

Gaëtan Prod'homme, Benjamin Le Roux. Risques NaTech : vulnérabilité et résilience des installations industrielles sous l'effet d'un tsunami. Rapport Scientifique INERIS, 2017, 2016-2017, pp.22-23. ineris-01869656

**HAL Id: ineris-01869656**

**<https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-01869656>**

Submitted on 6 Sep 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# RISQUES NATECH : VULNÉRABILITÉ ET RÉSILIENCE DES INSTALLATIONS INDUSTRIELLES SOUS L'EFFET D'UN TSUNAMI

## Contributeurs

Gaëtan  
PROD'HOMME,

Benjamin  
LE ROUX

Un accident NaTech (contraction de « naturel » et « technologique ») est un accident technologique majeur engendré par un événement naturel et dont les conséquences sont susceptibles de porter atteinte à des tiers ou à l'environnement. Les accidents de type NaTech ne représentent qu'une faible part de l'ensemble des accidents industriels connus en Europe (5 %) et en France (7 %). Toutefois, les interactions entre aléas naturels et installations industrielles font aujourd'hui l'objet d'une attention soutenue compte tenu notamment des conséquences du changement climatique, qui a pour effet reconnu une fréquence accrue des phénomènes naturels extrêmes.

Un des exemples les plus marquants de la décennie en termes de risque NaTech est le séisme de mars 2011 au Japon qui a montré qu'un aléa naturel (séisme et tsunami) pouvait avoir un impact sur une installation industrielle et être à l'origine d'une série d'accidents technologiques notoires. Ainsi de nombreuses défaillances techniques ont été relatées sur ces installations suite à la catastrophe, ce qui a par exemple provoqué l'explosion de sphères GPL dans la baie de Chiba ou encore des incendies durant plusieurs jours dans la raffinerie de Sendai (figure 1).

Les objectifs qui guident la conception de la stratégie de maîtrise du risque NaTech peuvent porter sur la

protection des équipements industriels, sur leur maintien structurel ou fonctionnel en cas d'événement naturel, voire, dans certains cas, sur la nature du risque résiduel. L'évaluation de la capacité de résilience d'un système peut être évaluée en précisant deux de ses caractéristiques :

- la quantification des dommages induits sur le système;
- la capacité à mettre en œuvre des mesures d'adaptation ou de récupération.

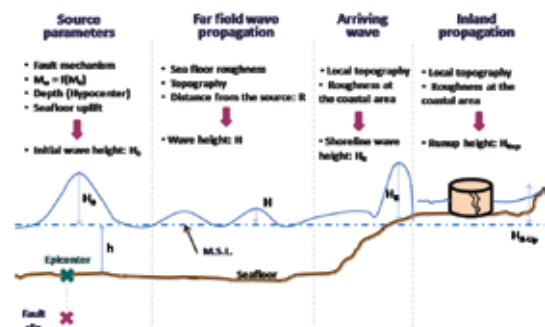
Dans le cadre du projet de recherche Internatech (*Interdisciplinary study on the mitigation of NaTech risks in a complex world: learning from the Japanese experience applying ERRA NaTech method, iNTeg-Risk project*), l'Ineris a collaboré dès octobre 2011 avec l'Advanced industrial science technology (AIST) japonais, le laboratoire Modélisation et simulation multi-échelle (MSME) de l'université de Marne-la-Vallée Paris-Est et la société Phimeca afin de développer une méthode globale d'évaluation de la résilience d'équipements industriels (réservoirs d'hydrocarbures, tuyauteries...) soumis à un séisme ou un tsunami [1; 2].

Dans l'objectif d'appliquer cette démarche pour les événements naturels de type tsunamis, le laboratoire MSME a développé des modèles de prédiction de hauteur de vagues. Ces modèles permettent d'établir des hauteurs de vagues attendues sur le littoral en cas de tsunami, en fonction de la distance de l'épicentre du séisme, de sa profondeur, du type de fond marin, de la topographie et de l'altitude des cibles (figure 2). Une évaluation de la vulnérabilité des équipements industriels, tels que des réservoirs d'hydrocarbures,

**Figure 1 /**  
Photographie post-accidentelle : renversement d'un réservoir par le tsunami (Japon, 2011).



**Figure 2 /**  
Formation du tsunami de l'épicentre vers les côtes [1].



soumis à la pression des vagues a ensuite été menée. Pour ce faire, l’Ineris a développé des modèles de prédiction du comportement mécanique de ces équipements tenant compte de leurs principaux modes de défaillance: glissement (D1), renversement (D2), soulèvement (D3), instabilité de type voilement mécanique (D4) ou encore impact par des objets flottants (D5). L’ensemble de ces modes pouvant conduire à l’arrachement de tuyauteries connectées (figure 3).

Les modèles développés permettent de tenir compte de différents paramètres tels que la hauteur de vague, le taux de remplissage du réservoir et intégrant une capacité de déformation plastique (figure 4).

En appliquant à ces modèles une approche paramétrique des hauteurs de vagues, il est possible d’obtenir des courbes de fragilité indiquant la probabilité de défaillance d’un équipement en fonction de la nature de sollicitation envisageable (figure 5).

Ces courbes de fragilité peuvent alors être implémentées au sein d’une méthodologie d’analyse de risques contribuant à l’identification des séquences accidentelles à l’origine du risque et à la réflexion sur les mesures techniques et/ou organisationnelles à mettre en place afin de minimiser les dommages induits en cas d’évènements naturels de type tsunami.

Dans la continuité du projet Internatech, il pourrait être envisagé de développer une démarche similaire pour d’autres types de submersions marines, et plus largement d’autres aléas inondations tels que les ruptures de barrages, les débordements de cours d’eau. Des travaux ont par ailleurs d’ores et déjà été menés pour des équipements industriels soumis à un aléa sismique.

L’ensemble de ces travaux a alimenté les réflexions de l’Ineris sur les NaTech menées dans le cadre d’instances internationales telle que l’OCDE ou encore dans le cadre de l’application de la circulaire du 10 mai 2010 avec le *Référentiel méthodologique relatif à la maîtrise du risque inondation dans les installations classées* [3].

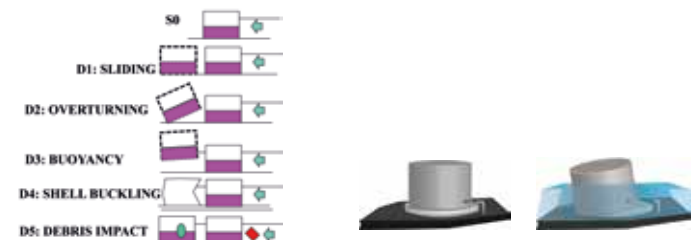
**Références**

[1] Mebarki, Ahmed ; Jerez, Sandra ; Prod’homme, Gaëtan ; Reimeringer, Mathieu. Natural hazards, vulnerability and structural resilience: tsunamis, *Geomatics, natural hazards and risk*, 2016 VOL. 7, NO. S1, 5\_17  
 [2] Mebarki, Ahmed ; Willot, Adrien ; Jerez, Sandra ; Reimeringer, Mathieu ; Prod’homme, Gaëtan. Vulnerability and resilience under effects of tsunamis : case of industrial plants *Procedia Engineering*, 2014, 84 : p. 116-121  
 [3] Ineris, Référentiel méthodologique relatif à la maîtrise du risque inondation dans les installations classées, ref. Ineris- DRA-14-141515-03596A (2014)  
 Duval, Christophe ; Willot, Adrien ; Hyvernage, Olivier. (Ineris) Maîtrise des accidents NaTech dans les installations industrielles, *Techniques de l’Ingénieur* (2017)

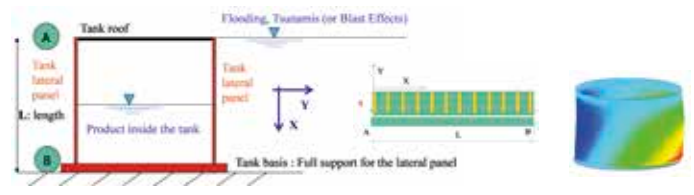
**ABSTRACT /**

Natural hazards have triggered major industrial accidents in the past, even if these NaTech accidents – a contraction of the words “natural” and “technological” – were not so numerous. Earthquake and Tsunami event in Japan in March 2011 is one of the most striking examples during the last decade. Several industrial plants have suffered irreversible damages and have generated important socioeconomic consequences. Internatech Project conducted by Ineris in collaboration with AIST, MSME Laboratory Marne-la-Vallée University and Phimeca company aimed to develop a resilience evaluation method of industrial structure subjected to tsunami and earthquake. Simplified models have been developed to describe the wave height profile in case of tsunamis. The mechanical vulnerability of cylindrical metal tanks has been investigated, taking into account multimodal failures (overturning, rupture of anchorages and sliding, buoyancy or buckling). Fragility curves have then been developed and could be implemented in resilience analyses. A similar framework was also developed for earthquake events and could be adapted in the future to other kinds of flooding events. The results contributed to the work carried out by Ineris in international group and the application of French regulations.

**Figure 3 /** A gauche, principaux modes de défaillance d’un réservoir atmosphérique à une vague [1], à droite, rupture d’une tuyauterie connectée à un réservoir.



**Figure 4 /** Modélisation de l’effet du tsunami sur les réservoirs de stockage d’hydrocarbures (à gauche, un modèle simple de flexion à un degré de liberté [1]) (à droite, le calcul des efforts induits par un séisme dans la coque d’un réservoir d’hydrocarbures par simulation numérique).



**Figure 5 /** Courbes de fragilité de réservoirs atmosphériques d’hydrocarbures soumis à un tsunami pour différents niveaux de dommage (a) : grand réservoir (hauteur=19m, rayon=10m, (b) : petit réservoir (hauteur=8m, rayon=5,57 m) [1].

