



16 octobre 1979

***Tsunami
dans la Baie des Anges
Catastrophe
naturelle ?***

***Pierre COCHONAT
7 mars 2019***

La Grande Vague de Kanagawa est la première estampe des Trente-six vues du Mont Fuji, l'œuvre majeure [du Japonais Katsushika Hokusai](#). Parue en 1831 ¹

NICE, 16 octobre 1979, les faits

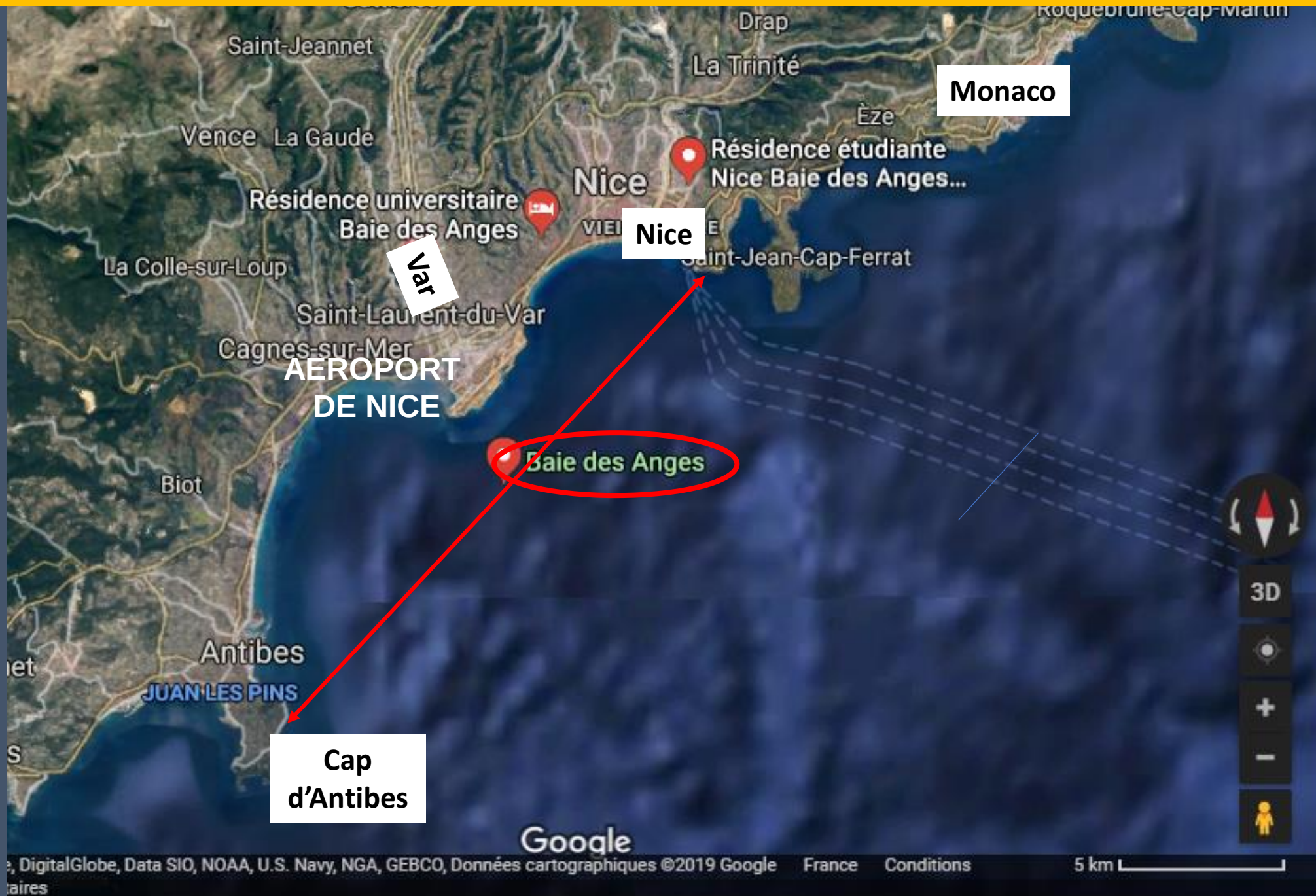
Mécanismes et causes des tsunamis

Vitesse de propagation de la vague et prévention

Causes de l'accident de 1979

**Les risques sur les côtes européennes
et surtout méditerranéennes**

:



L'ACCIDENT DE L'AÉROPORT DE NICE EN 1979



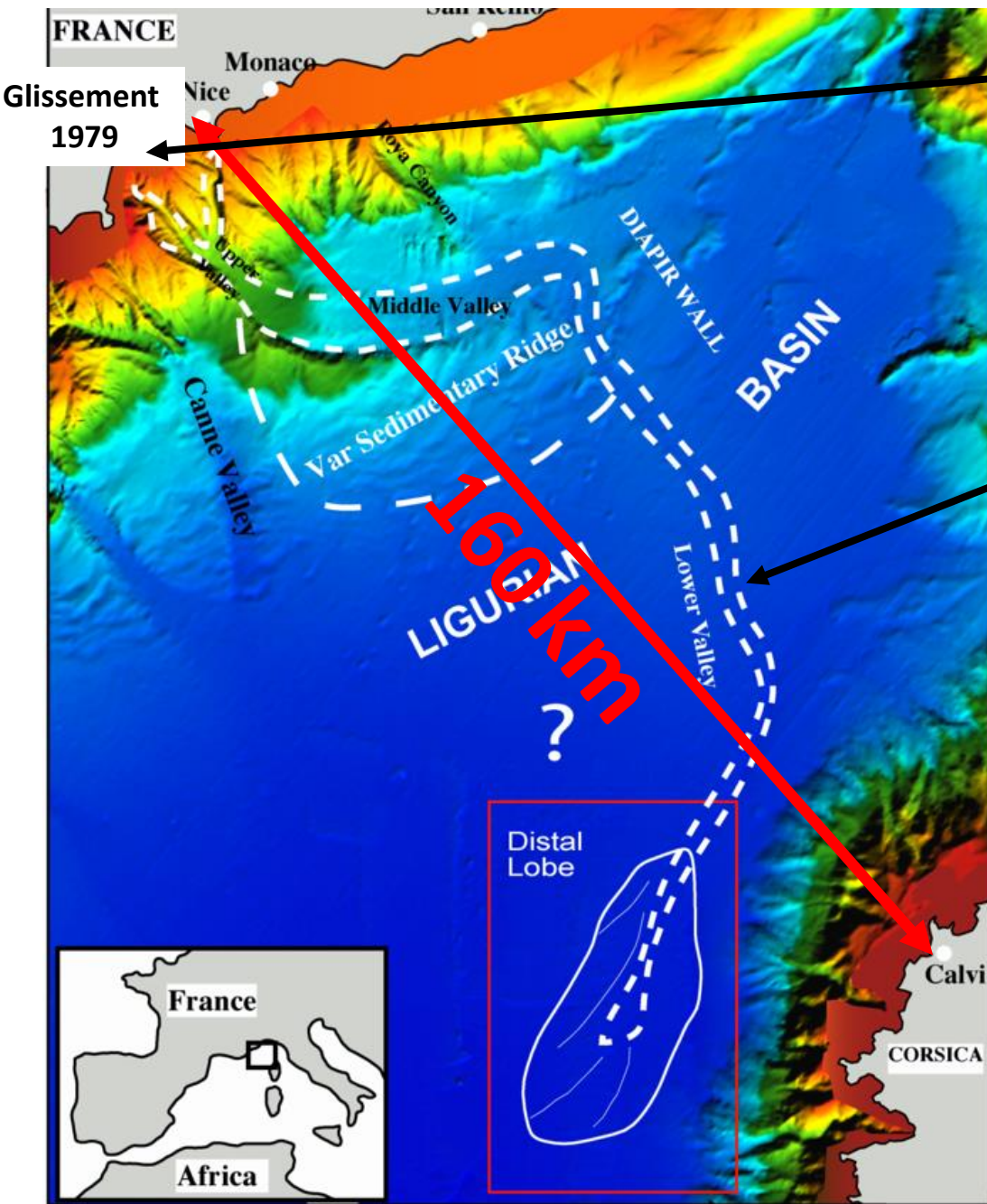
Extension de
l'aéroport :
remblayage pour une
digue d'un nouveau
port

13h 54 : glissement sous-marin de grande
ampleur



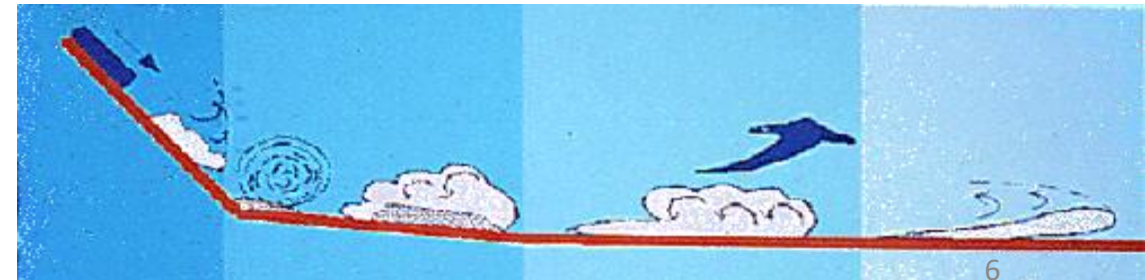
- **13h54** glissement de l'extension du remblai
- **14h 07** la vague atteint Antibes (vitesse moyenne de la vague 46 km/h) (un raz de marée (3,5 m max.) submergea le littoral sur un front de 100 km environ, après une baisse relative du niveau de la mer à Nice,)
- **11 morts**

Source : nice-matin



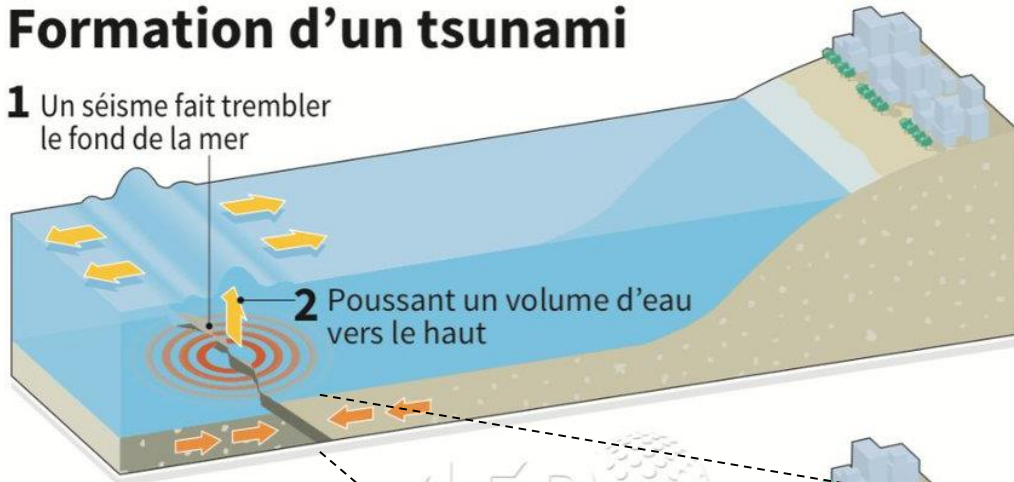
Glissement
1979

- Volume initial du **glissement** estimé à 8×10^6 m³ (loupe d'arrachement entre 30 et 50 m de profondeur)
- Glissement suivi d'une **avalanche sous-marine** :
3 h 45 et 8 heures après le glissement de l'aéroport, deux câbles téléphoniques situés respectivement à 80 km et 110 km de Nice furent sectionnés
(vitesse moyenne de l'avalanche de 21 à 14 km/h)



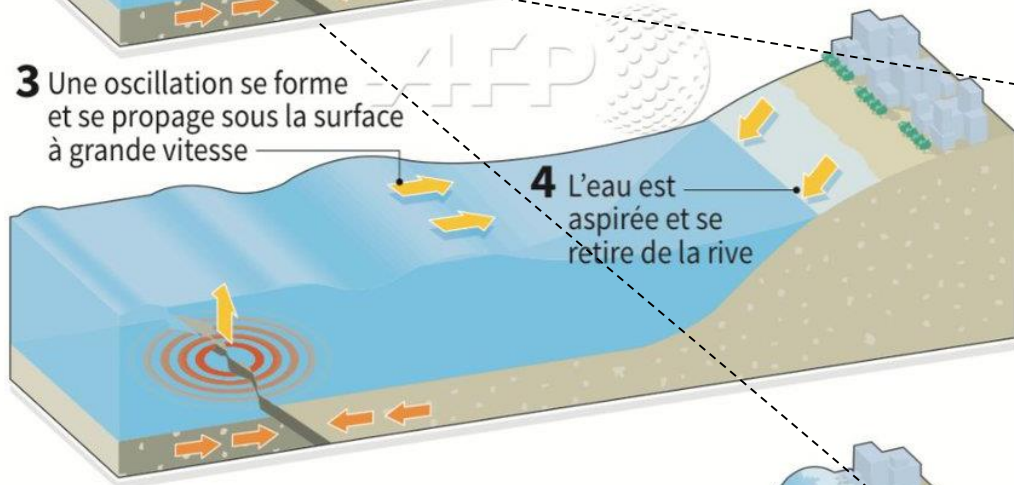
Formation d'un tsunami

1 Un séisme fait trembler le fond de la mer



2 Poussant un volume d'eau vers le haut

3 Une oscillation se forme et se propage sous la surface à grande vitesse



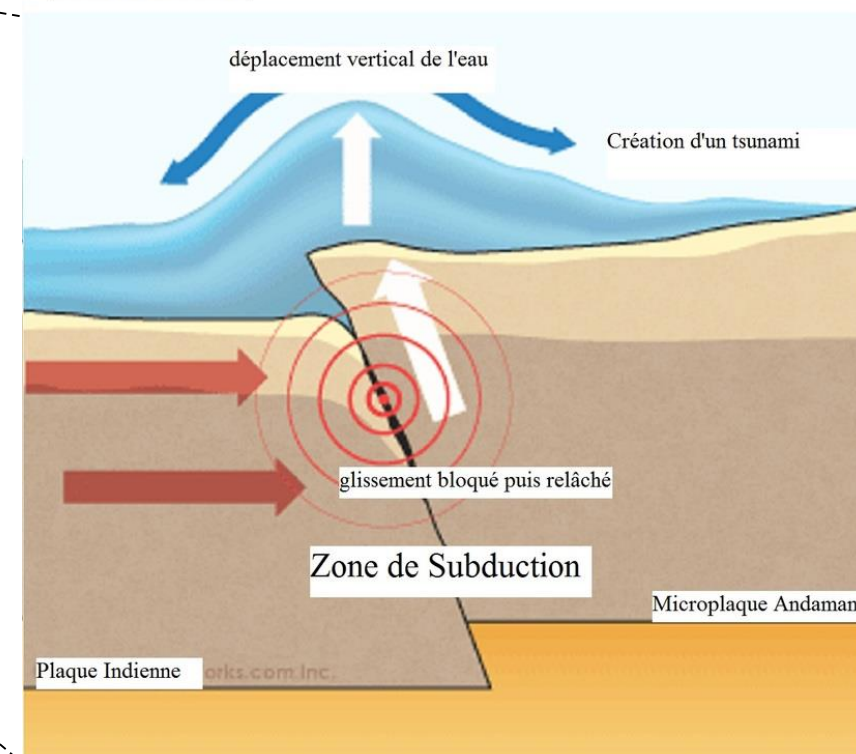
4 L'eau est aspirée et se retire de la rive

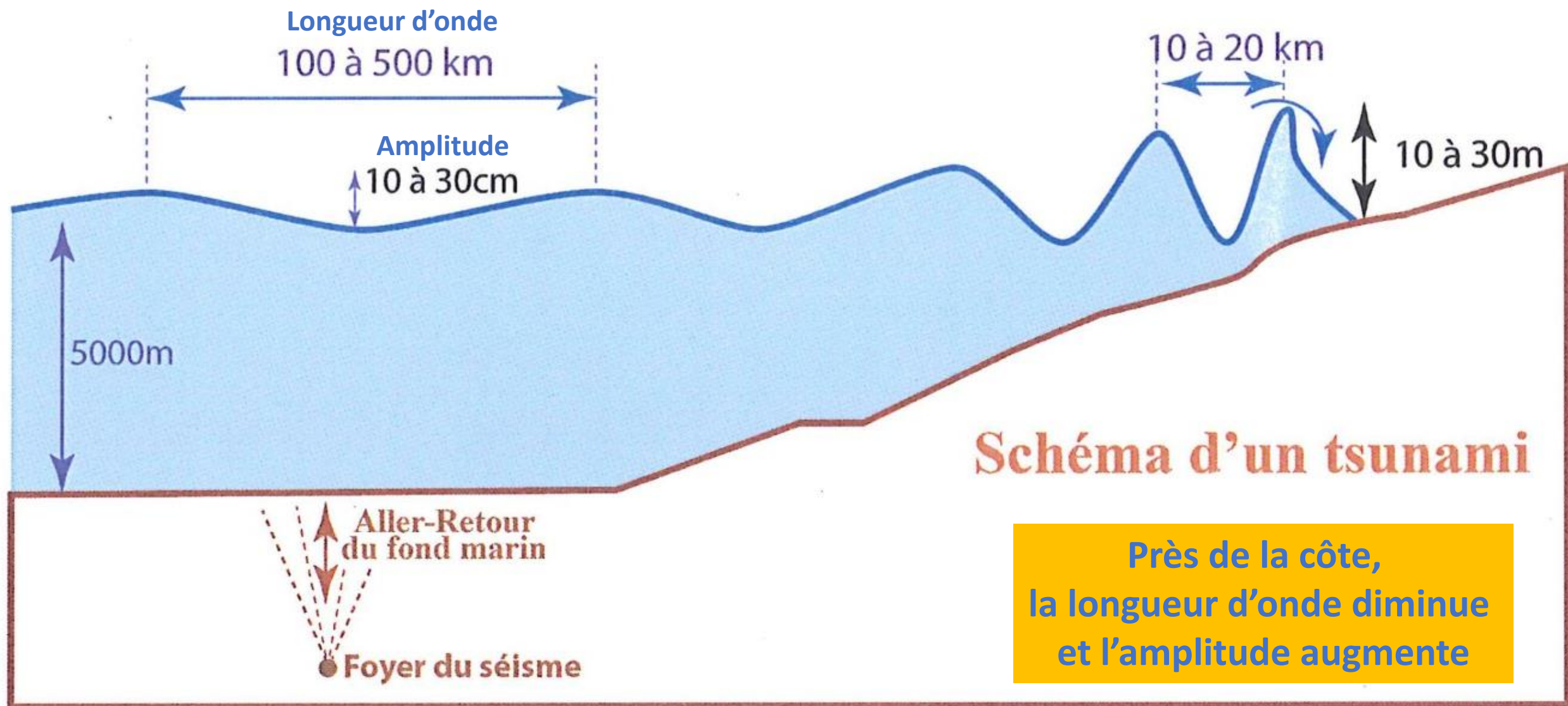


5 En approchant des côtes, l'onde forme des vagues géantes

Le tsunami est une onde marine exceptionnelle déclenchée par une soudaine déformation du plancher océanique.

Schéma très simplifié représentant ce qui s'est passé lors du séisme-tsunami de 2004 en Indonésie





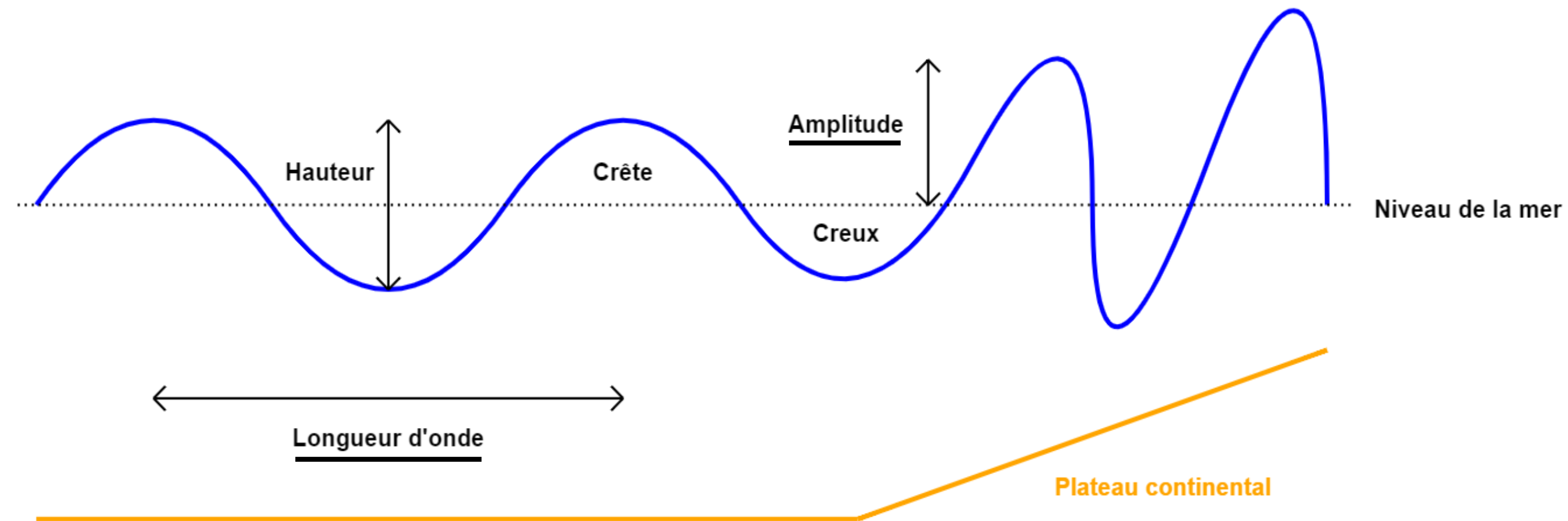


Schéma d'un tsunami à l'approche de la côte.
© notre-planete.info

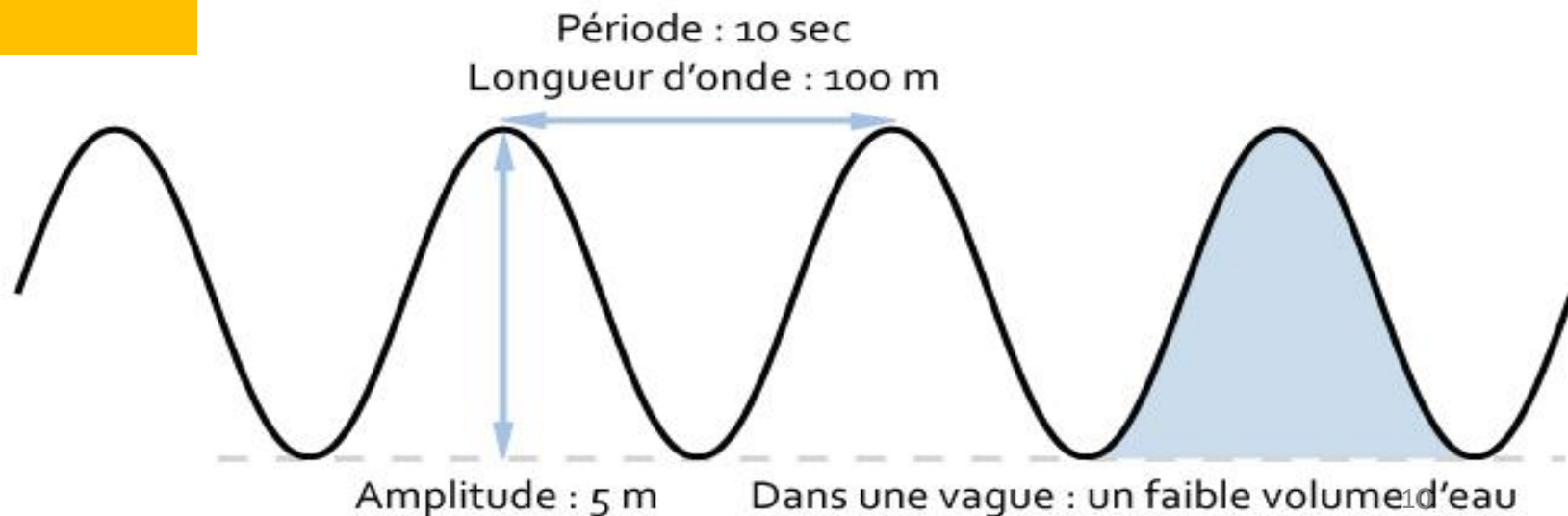
Différence entre vague de tempête (houle) et vague de tsunami

Important pour déceler les vagues de tsunami en haute mer

TSUNAMI (près de la côte)



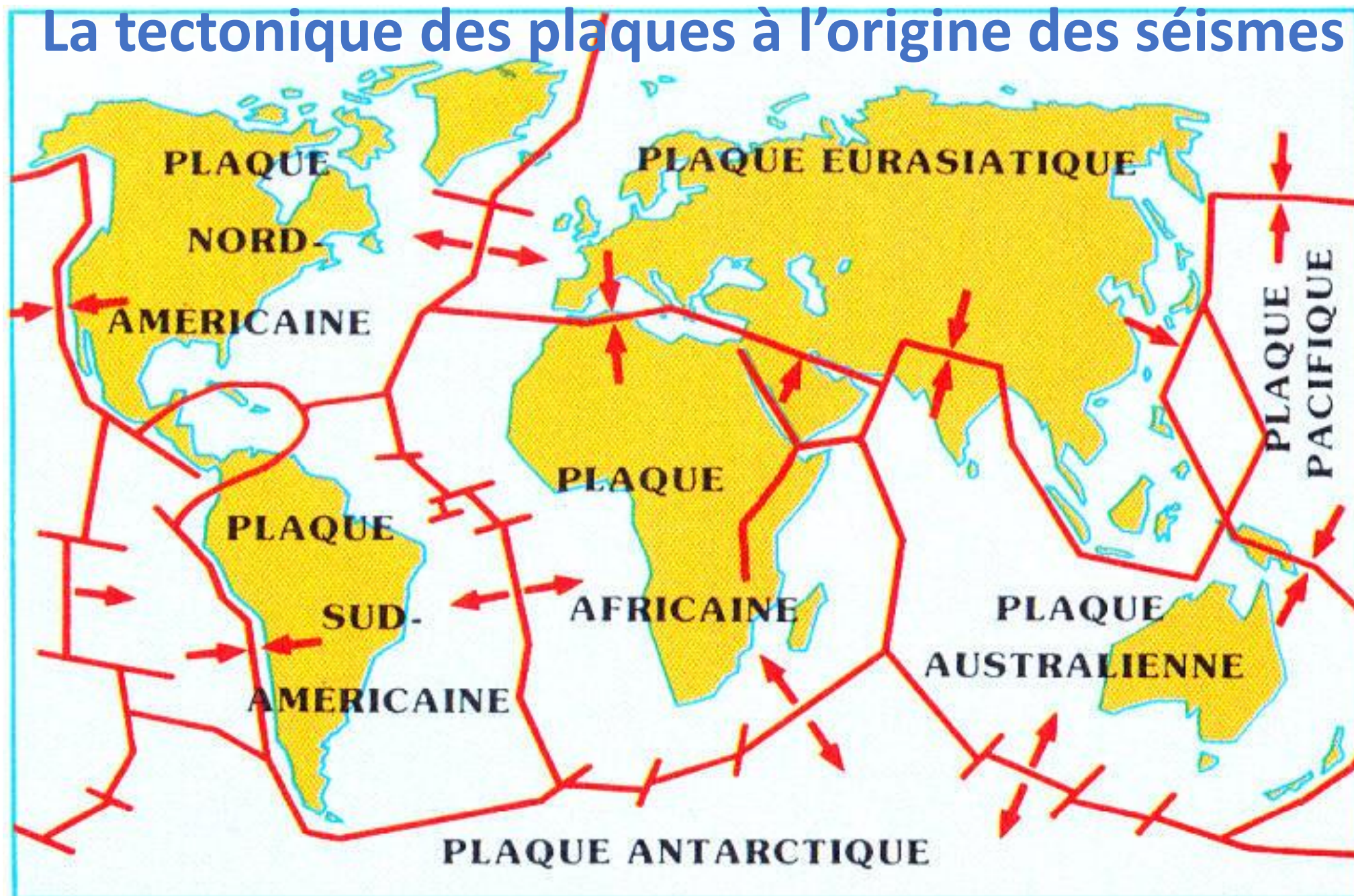
FORTE HOULE (tempête)

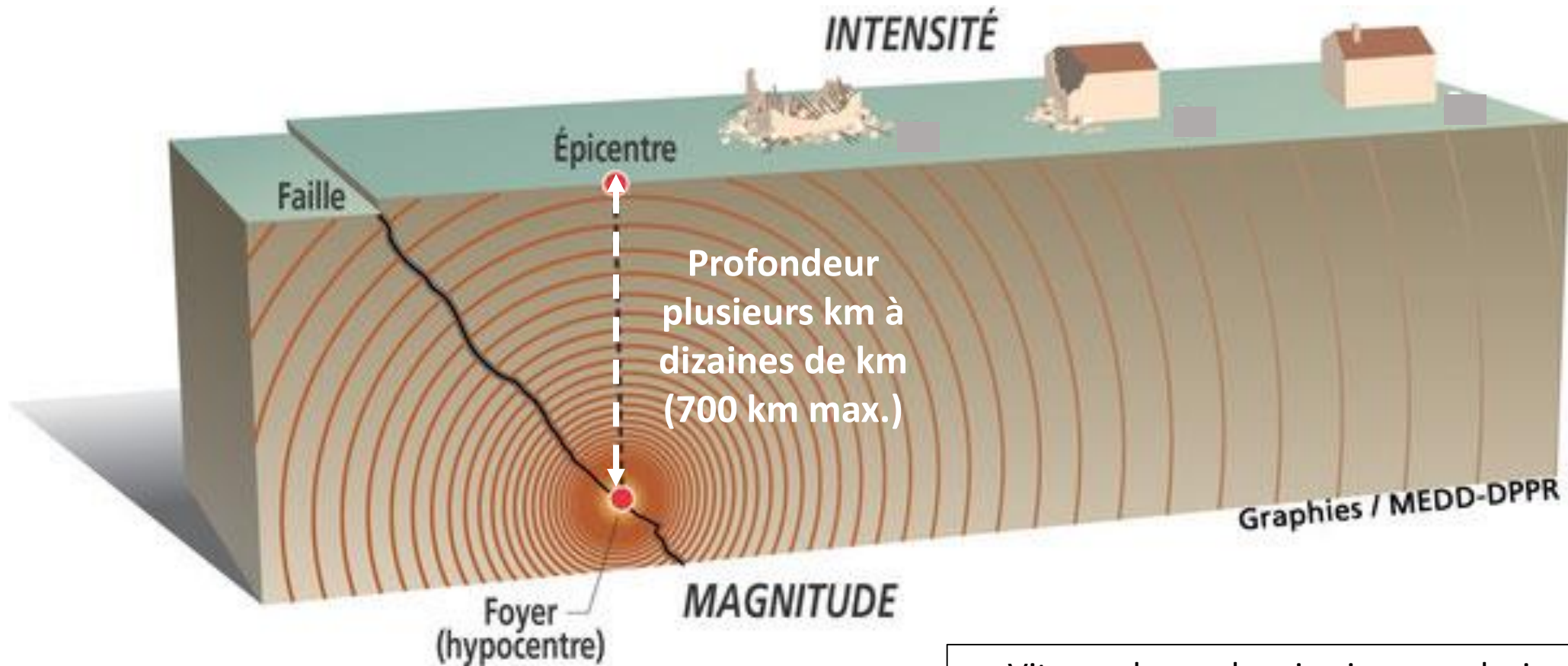


DIFFERENTES CAUSES DE TSUNAMIS / QUATRE CAS POSSIBLES

SELECTION DE QUELQUES TSUNAMIS HISTORIQUES (tiré de .wikipedia.org/wiki/Liste_de_tsunamis_notables)				
Date	Lieu	victimes	hauteur max.	origine
- 66 MA	Golfe du Mexique YUCATAN	0	150 m	Météorite
-6100	Mer de Norvège STORREGA		20 m	Éboulement
- 1600	Méditerranée Or. Grèce SANTORIN		20 m	Volcan
563	Lac Léman TAUREDUNUM		13 m	Éboulement
1755	Atlantique Nord LISBONNE	90 000	18,3 m	Séisme 8,7
1883	Détroit de la Sonde Indonésie KRAKATOA	36 000	40 m	Volcan
22 mai 1960	Océan Pacifique CHILI	5 700	25 m	Séisme 9,5
21 mai 2003	Méditerranée Occ.Algérie BOUMERDES	0	3 m	Séisme 6,9
26 décembre 2004	Océan Indien INDONESIE	225 000	30 m	Séisme 8,9
11 mars 2011	Pacifique Japon FUKUSHIMA	18 457	30 m	Séisme 9
22 décembre <u>2018</u>	Indonésie ANAK KRAKATOA	429	1,5 m	Volcan/Éboulement

La tectonique des plaques à l'origine des séismes





La magnitude est liée à la taille et à l'énergie libérée par un séisme à son foyer (échelle de Richter de 1 à 9)

L'intensité est liée aux dégâts (échelle de Mercalli de I à XII).

- Vitesse des ondes sismiques : plusieurs km par seconde
- Durée d'un séisme : Sumatra 2004, 200 sec. pour une faille de 600 km de long
- Energie d'un séisme : fonction de la rigidité du milieu, du déplacement moyen sur la faille et de la surface de la faille

Magnitude	Effets engendrés
9	Destruction totale à l'épicentre, et possible sur plusieurs milliers de km
8	Dégâts majeurs à l'épicentre, et sur plusieurs centaines de km
7	Importants dégâts à l'épicentre, secousse ressentie à plusieurs centaines de km
6	Dégâts à l'épicentre dont l'ampleur dépend de la qualité des constructions
5	Tremblement fortement ressenti, dommages mineurs près de l'épicentre
4	Secousse sensible, mais pas de dégâts
3	Seuil à partir duquel la secousse devient sensible pour la plupart des gens
2	Secousse ressentie uniquement par des gens au repos
1	Secousse imperceptible

Un accroissement de magnitude de 1 correspond à une multiplication par 30 de l'énergie et par 10 de l'amplitude du mouvement

M= 9,5 Le plus gros séisme connu /Chili 1960

M= 9 Japon / Fukushima 2011

M= 6,9 Algérie / Boumerdes 2003

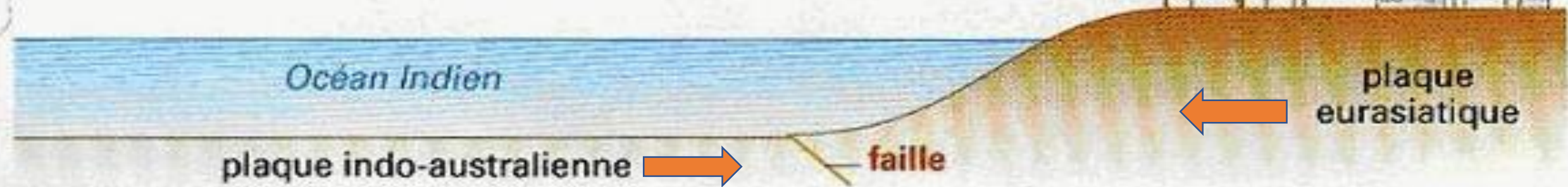
M= 5 Annecy 1995

LE TSUNAMI du 26/12/2004 à SUMATRA (celui qui a tout changé)



Vague de 30 m, *Séisme* de magnitude 8.9 à 250 km de la côte indonésienne
provoque un tsunami qui traverse l'océan Indien. 225 000 victimes,
TRES FORT IMPACT PLANETAIRE

Situation de départ



Mouvement de convergence et séisme



Propagation de la déformation

Variation de la vitesse de la vague avec la profondeur :



DIFFERENTES CAUSES DE TSUNAMIS / LES VOLCANS / CAS DU SANTORIN



Tsunami et volcanisme

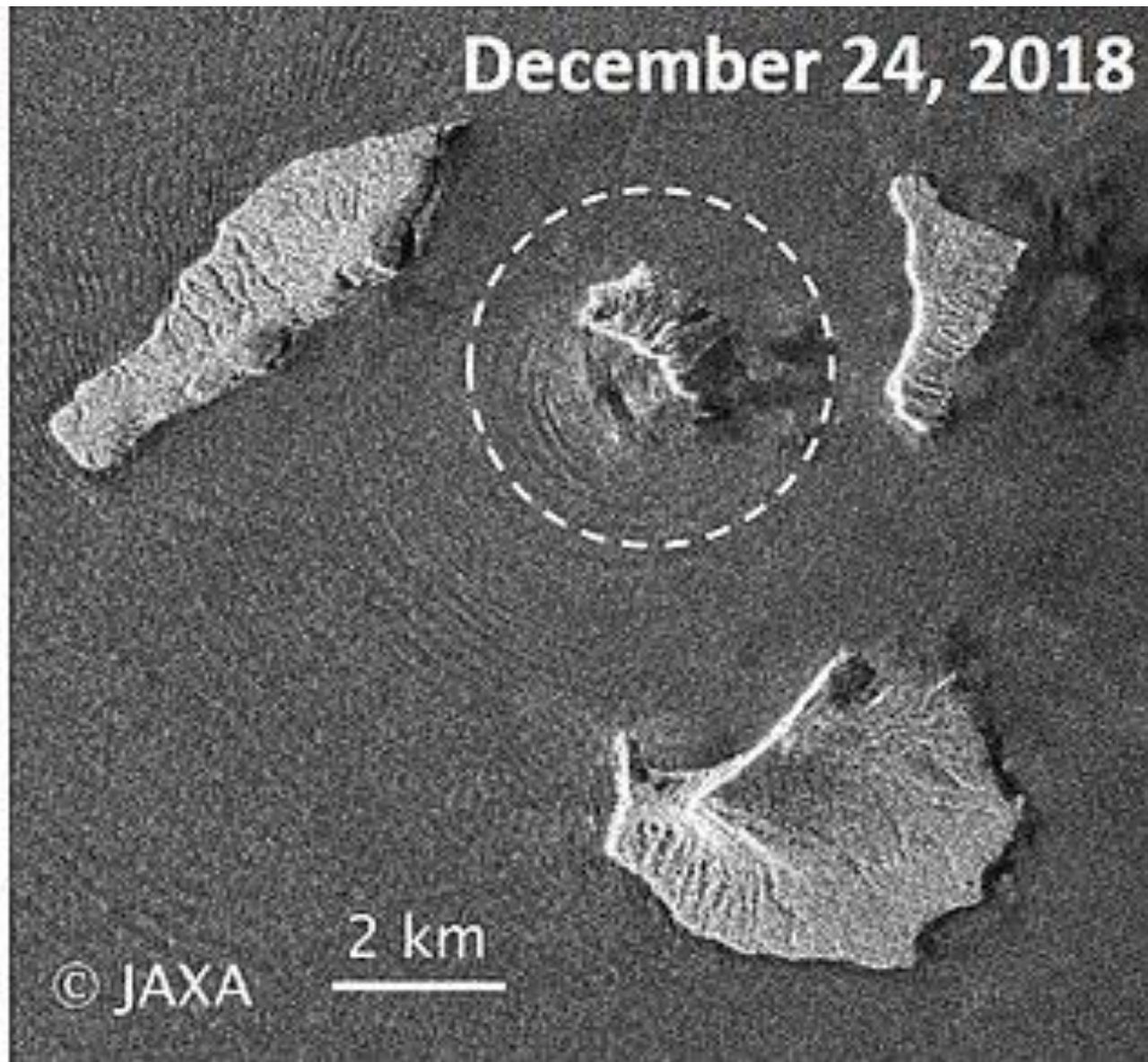
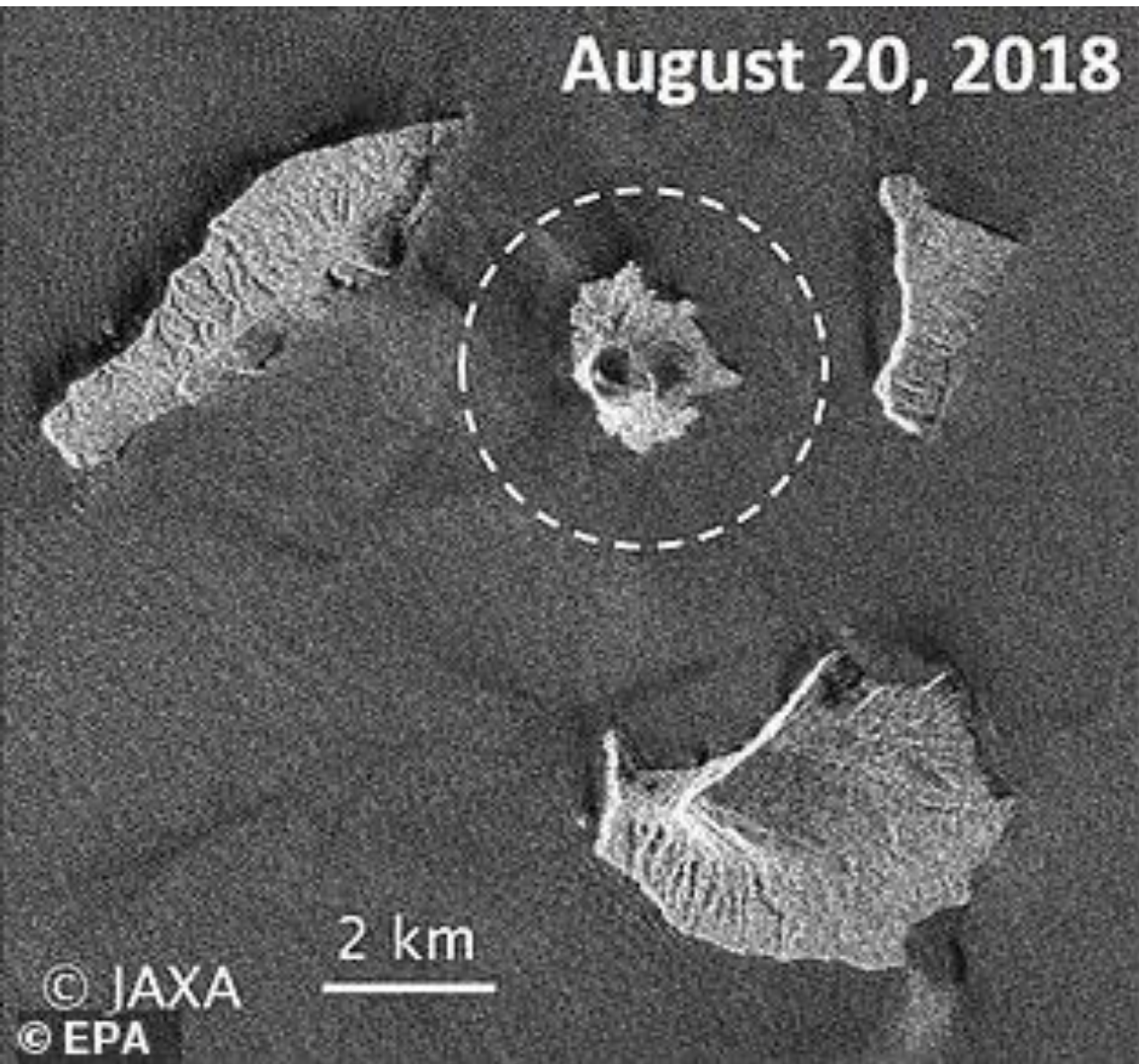


L'éruption du volcan de l'île grecque de Santorin (-1600) provoque une énorme explosion (caldera) et un tsunami d'une vingtaine de mètres en Crète qui contribue à la disparition de la civilisation minoenne

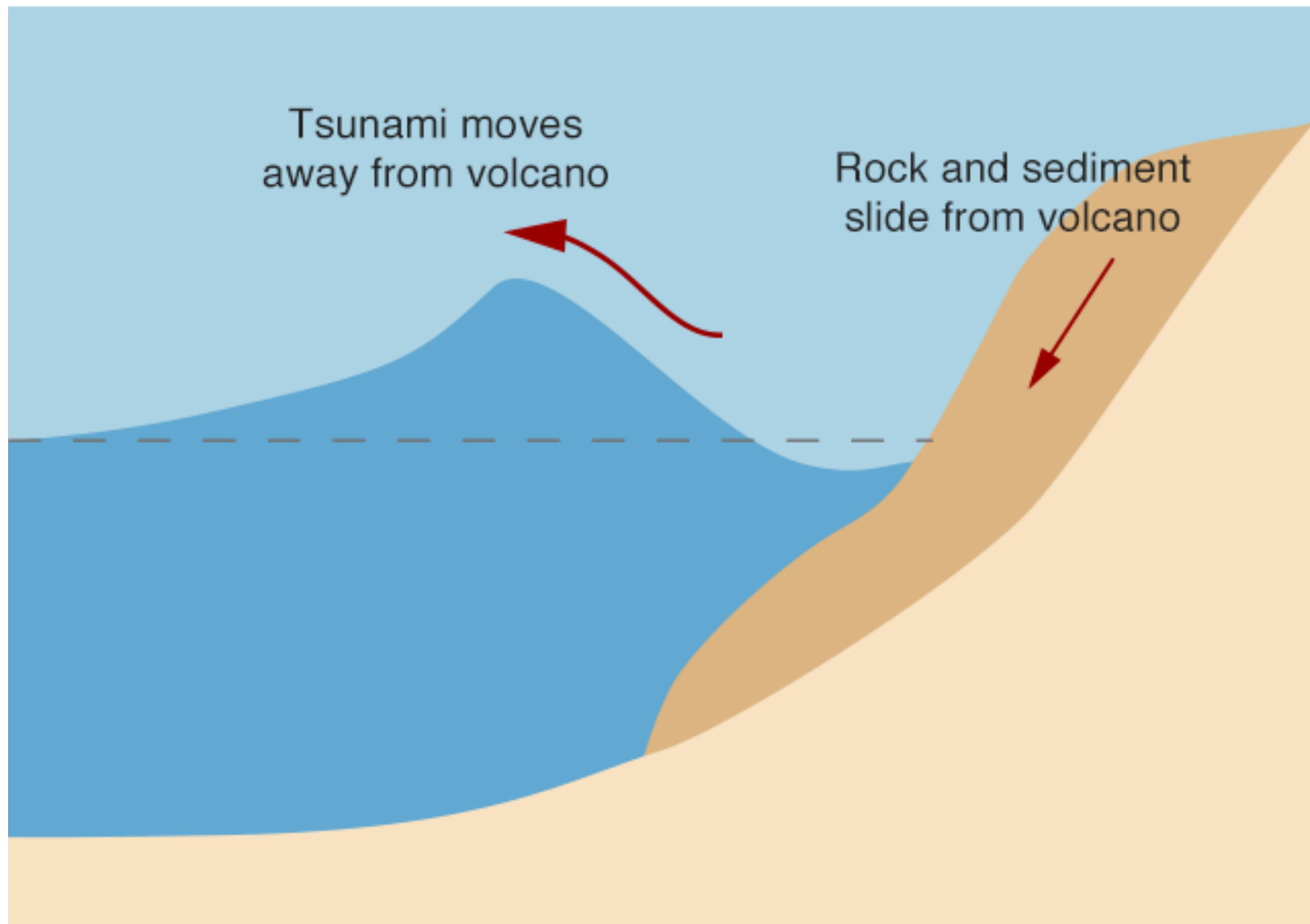
27/08/1883 Un tsunami provoqué par l'éruption du Krakatoa est détecté sur la plupart des côtes du globe, avec une élévation du niveau de la mer de 40 mètres près de la zone d'origine

22/12/2018 Une éruption de l'Anak Krakatoa provoque un tsunami qui déferle sur la côte sur une longueur de 15 à 20 mètres à l'intérieur des terres



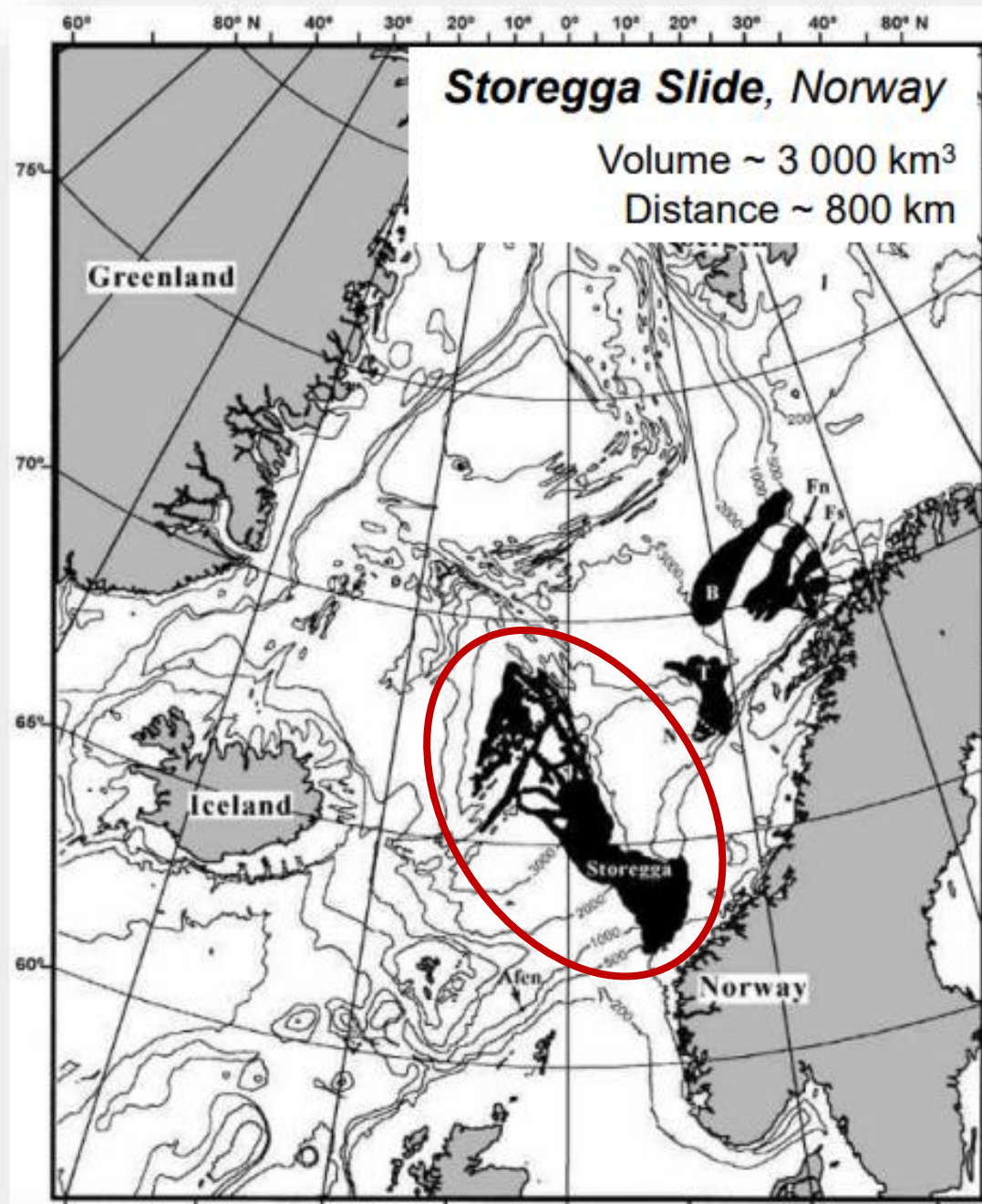


Anak Krakatau



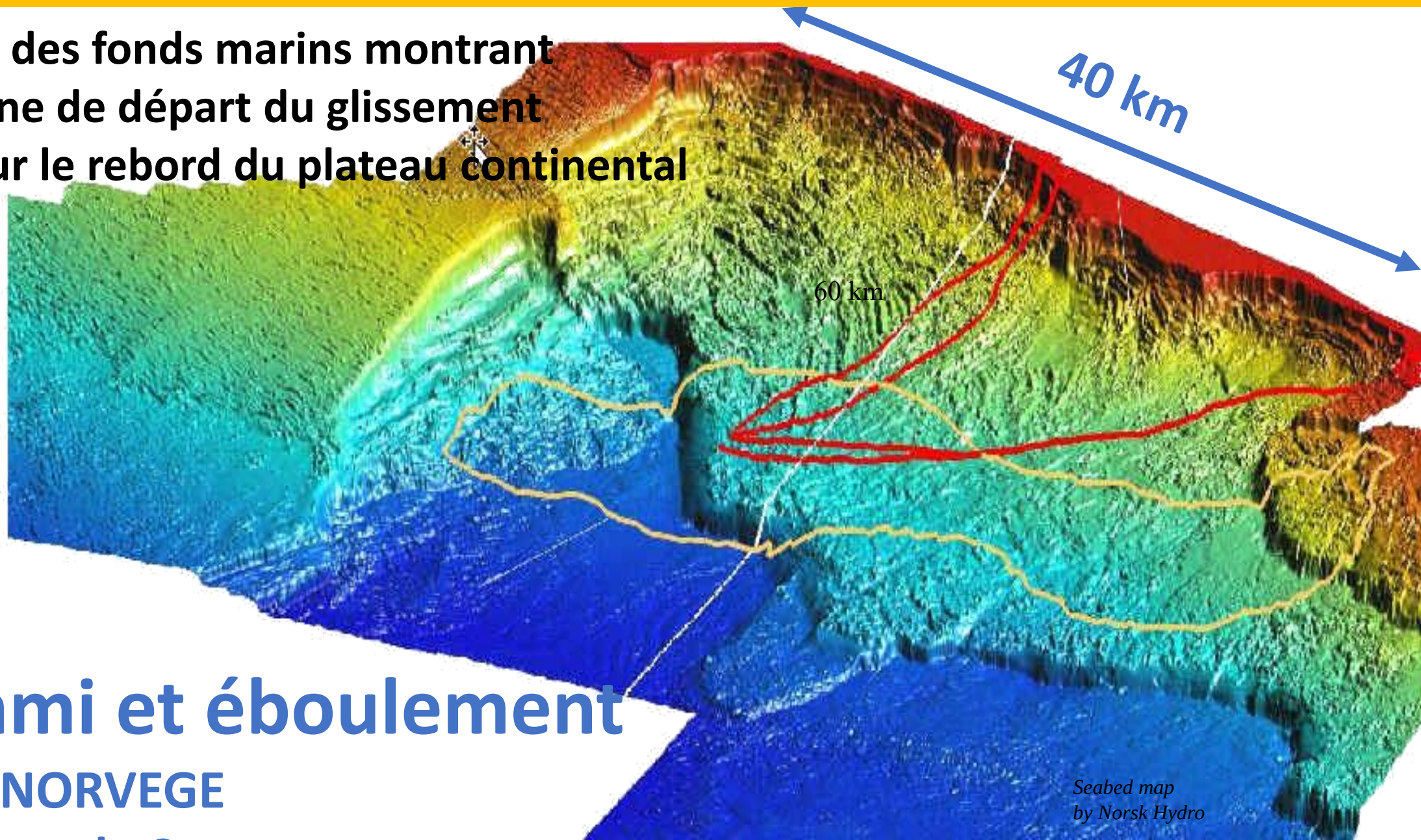
Source: BBC and University of California, Santa Cruz

Hafliðason et al., 2005



-6100, vague de 20 m suite à un énorme glissement de terrain sous-marin en mer de Norvège ayant provoqué un tsunami jusqu'en Écosse.

Carte des fonds marins montrant
la zone de départ du glissement
de terrain sur le rebord du plateau continental



Tsunami et éboulement

MER de NORVEGE

Glissement de Storegga

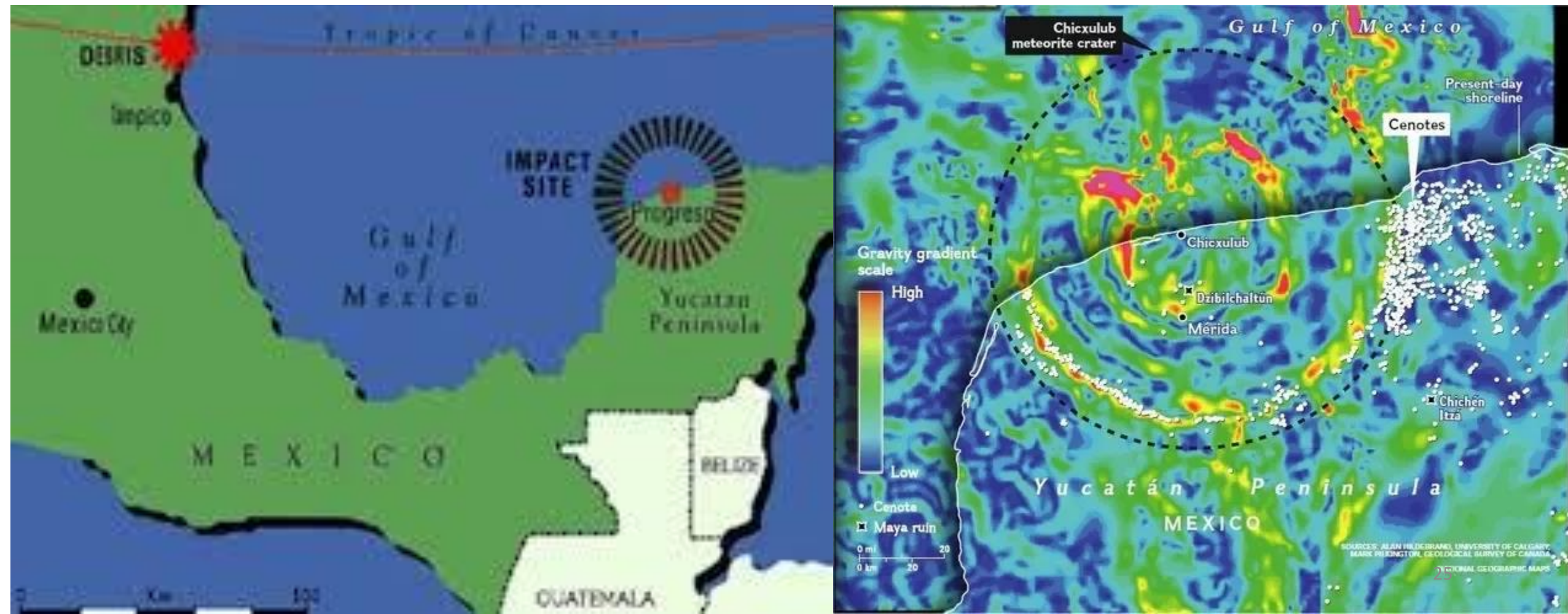
*Seabed map
by Norsk Hydro*

Tsunami et météorite

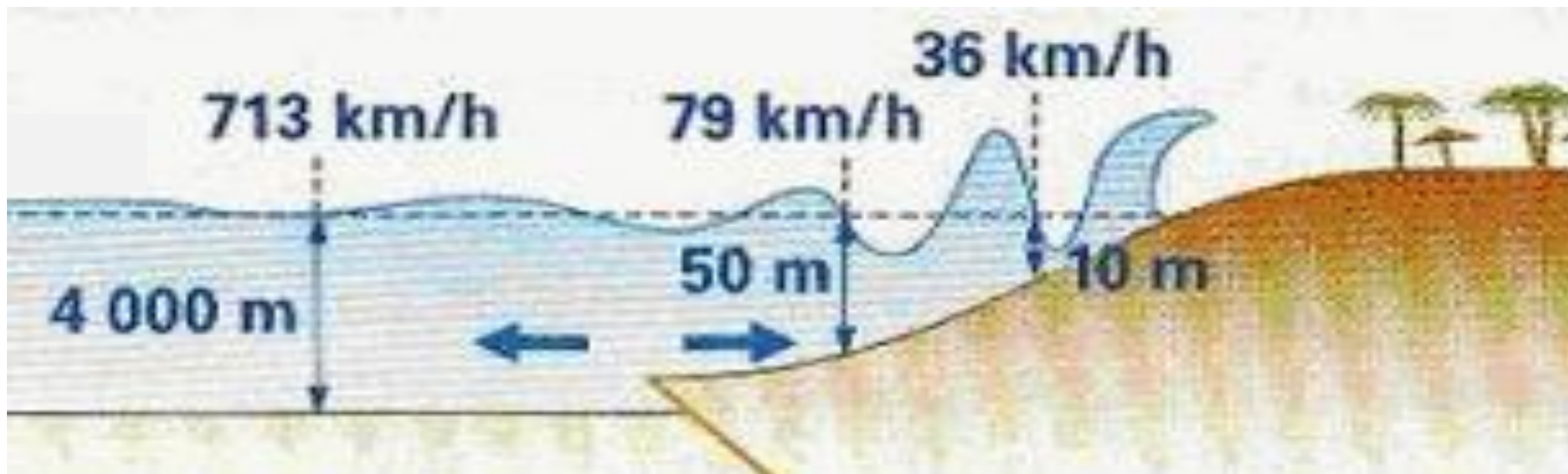


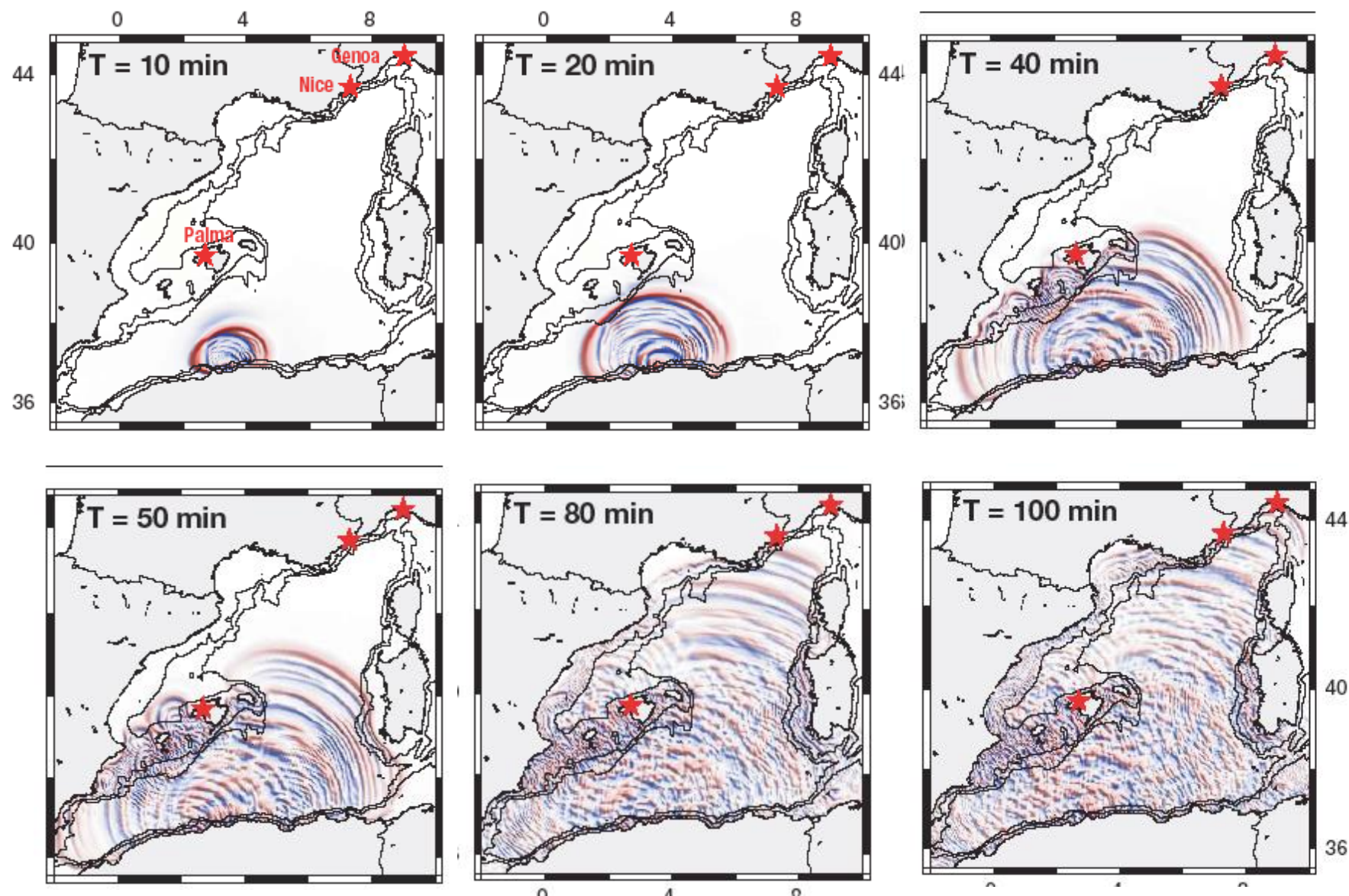
DIFFERENTES CAUSES DE TSUNAMIS / METEORITES

-66 MA. Séparation Crétacé-Tertiaire. Une météorite de 10 km de diamètre s'écrase au large de la péninsule de YUCATAN (actuel MEXIQUE) provoquant probablement la fin des dinosaures, mais aussi un tsunami (**vague de 150 m**), 2600 fois plus puissant que celui de décembre 2004



Vitesse très élevée au large
diminue vers la côte





Modélisation du tsunami de Boumerdes (2003) réalisée par le CEA

Tsunami Travel Times

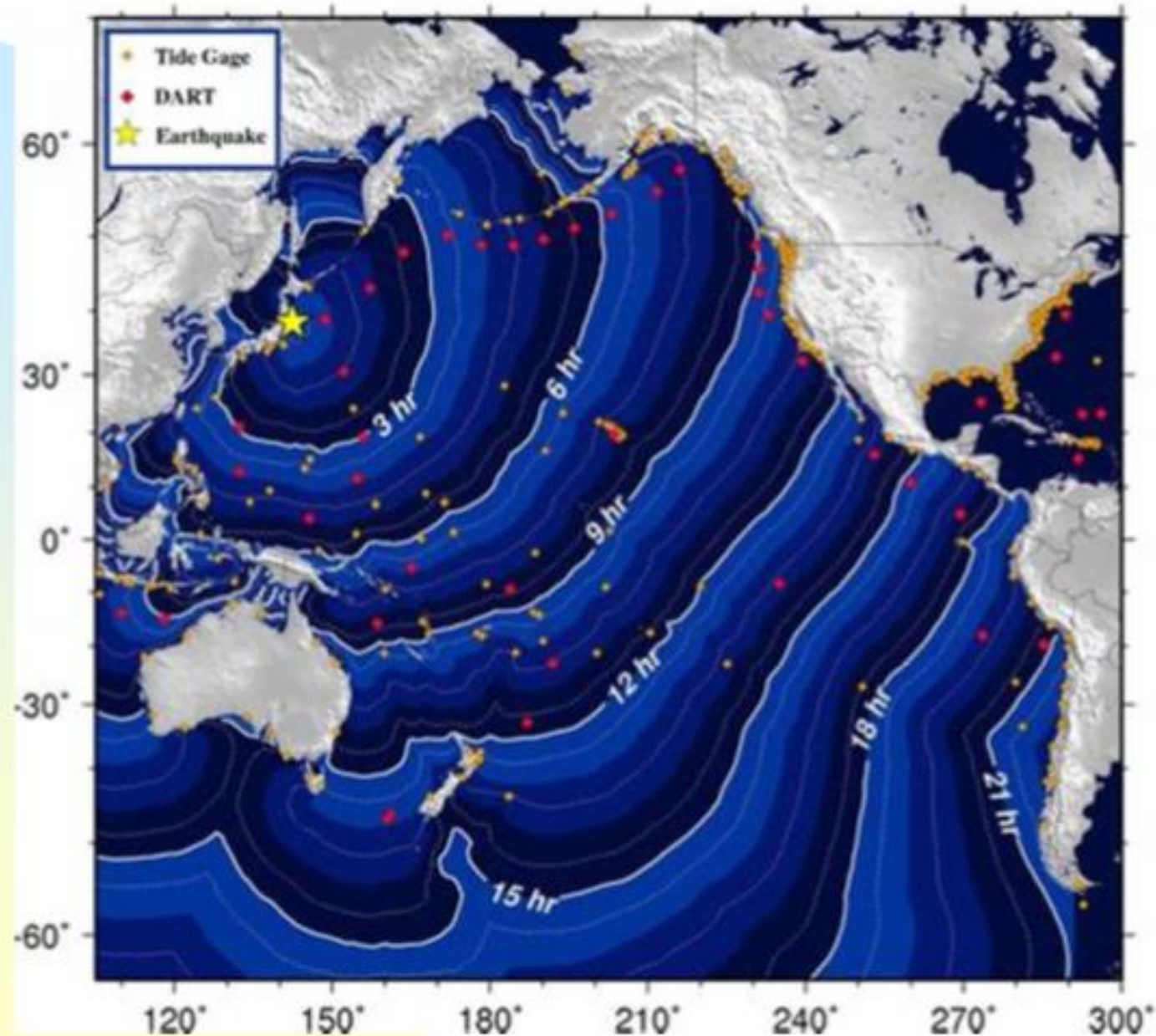
Séisme au Japon

Le tsunami arrive

9 h après en Australie,

10 h en Californie,

21 h en Amérique du Sud



Prévention des tsunamis : système d'alerte : sismomètres + Bouées D.A.R.T (Deep-Ocean Assessment and Reporting of Tsunamis) + marégraphes

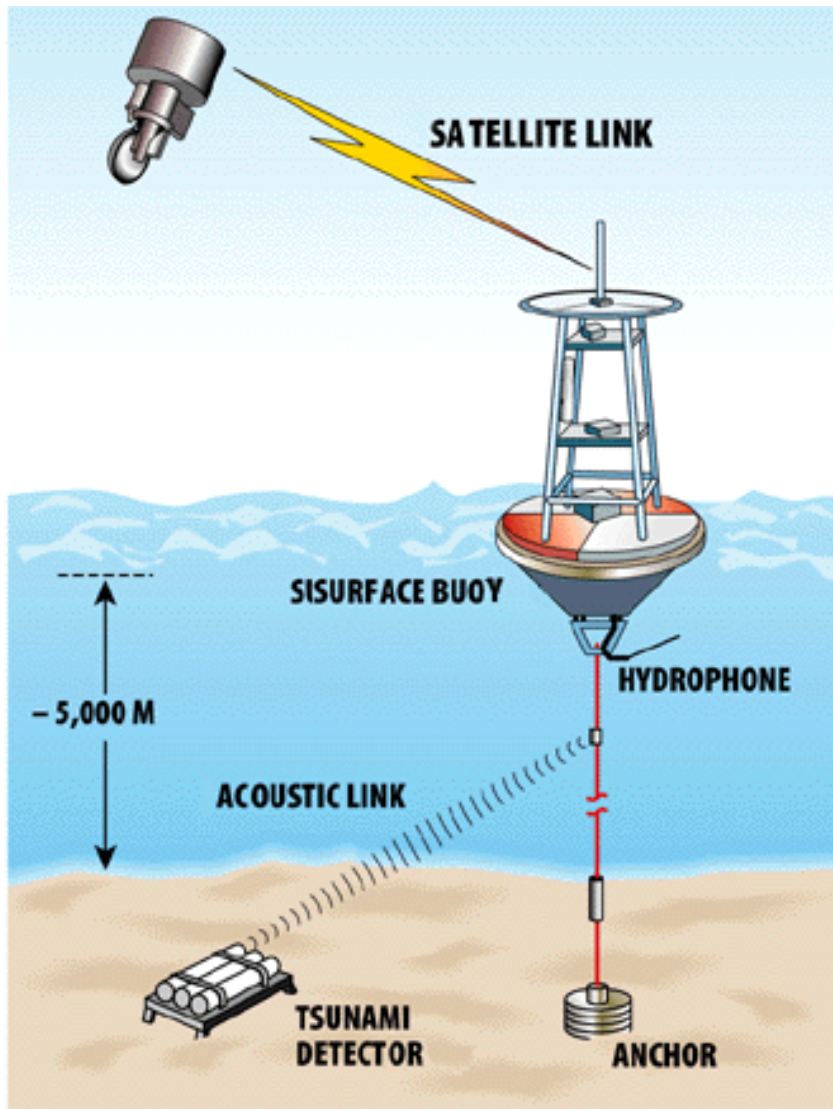
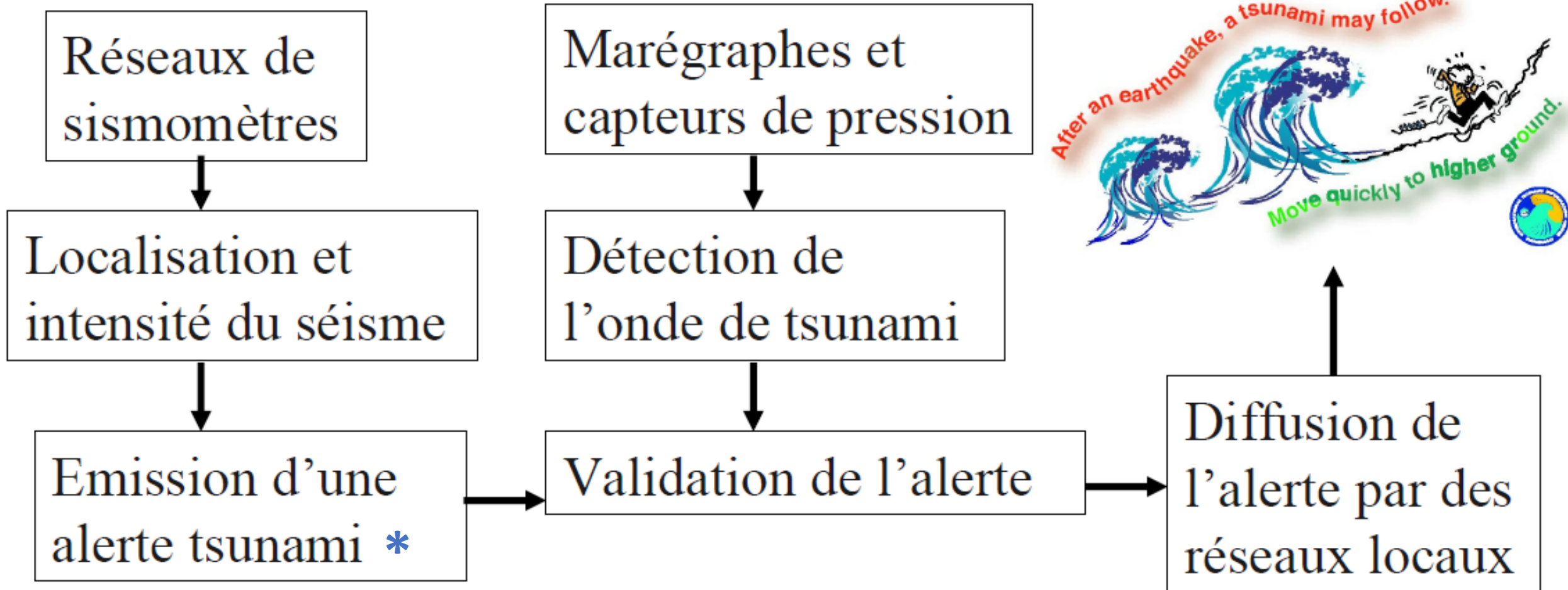


Schéma de principe du dispositif d'alerte:



*** Pour un séisme $M > 7$**

https://mesuretsunamis.files.wordpress.com/2015/02*/image-62.png

Le CENALT (CENTre d'Alerte aux Tsunamis)

Pilotage par le CEA, 5 partenaires du projet : 2 ministères, le Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (MEDDE), le Ministère de l'intérieur (MI), et 3 établissements : le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), le Centre national de la recherche scientifique (CNRS-INSU) et le Service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM).

De l'Atlantique nord-est à l'ouest Méditerranée, surveillance et capacité diffusion de l'alerte dans les 15 minutes d'un message d'alerte aux autorités françaises et un message d'information aux autres centres d'alerte nationaux et régionaux étrangers de la Méditerranée

RECHERCHE SCIENTIFIQUE : Surveillance de pente de l'aéroport (projet de recherche / EMSO)

- 3 piézomètres,
- 2 inclinomètres,
- 1 sismomètre

RETOUR à NICE

**Les causes de l'accident de
l'aéroport de Nice à l'origine
du tsunami du 16 octobre 1979**

Expertise officielle lors du procès. 2 hypothèses (1981) :

1. (Mission d'Inspection Pluridisciplinaire 1981) : le tsunami a été causé par un glissement de terrain dans le voisinage du chantier. Le glissement n'était pas d'origine sismique. la M.I.P. considère que la présence des remblais du port n'a en aucune manière contribué au déclenchement de l'accident
2. Pour la Direction Départementale de l'Environnement (DDE, 1981) et Seed (1983) : le tsunami généré par un glissement important qui s'est produit au large, à environ 15 km. l'abaissement du niveau marin d'environ 2,50 m est à l'origine de la liquéfaction statique des couches de sables lâches existantes et de la rupture.

Est-ce la poule qui a fait l'œuf ou l'œuf qui a fait la poule ? (Habib 1994)

Si la thèse du glissement initié directement au niveau de l'aéroport n'a pas été mieux prise en compte, c'est en grande partie parce que les modèles de simulation de tsunami, de l'époque, n'arrivaient pas à reproduire le tsunami observé (Dan. 2007)

Les deux hypothèses avancées lors de l'analyse des faits plaçaient l'aéroport dans le rôle de "victime" d'une catastrophe naturelle et non dans le rôle du responsable de la catastrophe (Dan. 2007), mais même dans cette hypothèse peut-on prendre le risque de poursuivre l'extension d'un remblai sur ce site ?

... Les archives de la catastrophe de Nice ont été déclarées confidentielles pour 100 années.....

Ifremer



THESE

Présentée à

UNIVERSITE DE BRETAGNE OCCIDENTALE

Ecole Doctorale des Sciences de la Mer

Par

GABRIELA DAN

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR

Spécialité : **GEOSCIENCES MARINES**

Processus Gravitaires et Evaluation de la Stabilité des Pentes :

Approches Géologique et Géotechnique.

Application à la marge algérienne et à l'effondrement de l'aéroport de

Nice en 1979.

Geo AZUR
TERRE - Océan - Espace

UNIVERSITÉ
CÔTE D'AZUR

Analyse des processus de glissements gravitaires sous-marins

Géophysique Géotechnique Expérimentale

Cas de la pente continentale de Nice

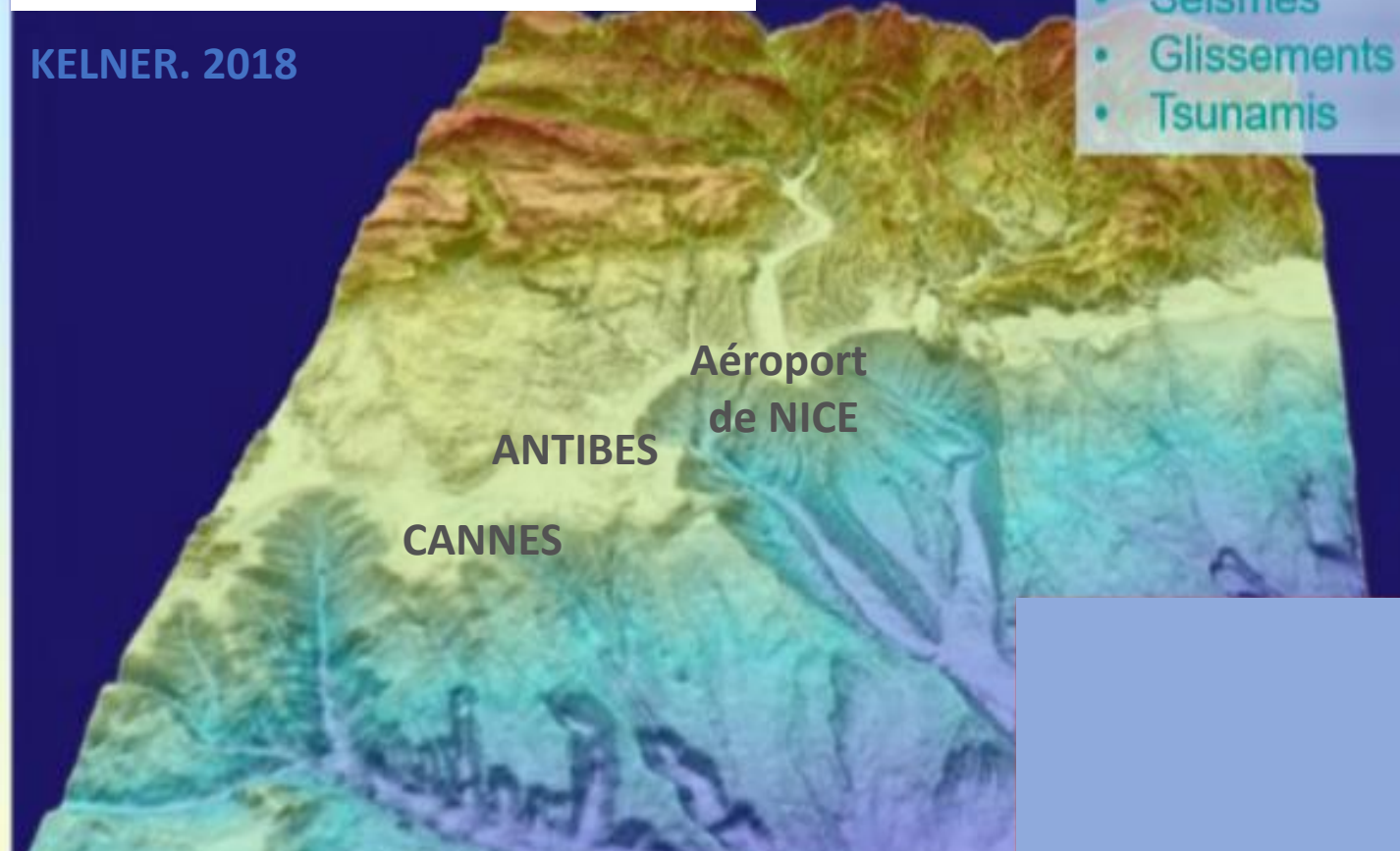
KELNER Maëlle
Soutenance de thèse de doctorat
21 décembre 2018

Cas d'étude pour les chercheurs (IFREMER, CNRS, UNIVERSITE, projets européens ...)

- **Nouvelles données sédimentologiques, géotechniques et géophysiques, mesures *in situ***
- **Capacité de modélisation numérique qui n'existait pas à l'époque de l'accident**

La région niçoise

KELNER. 2018

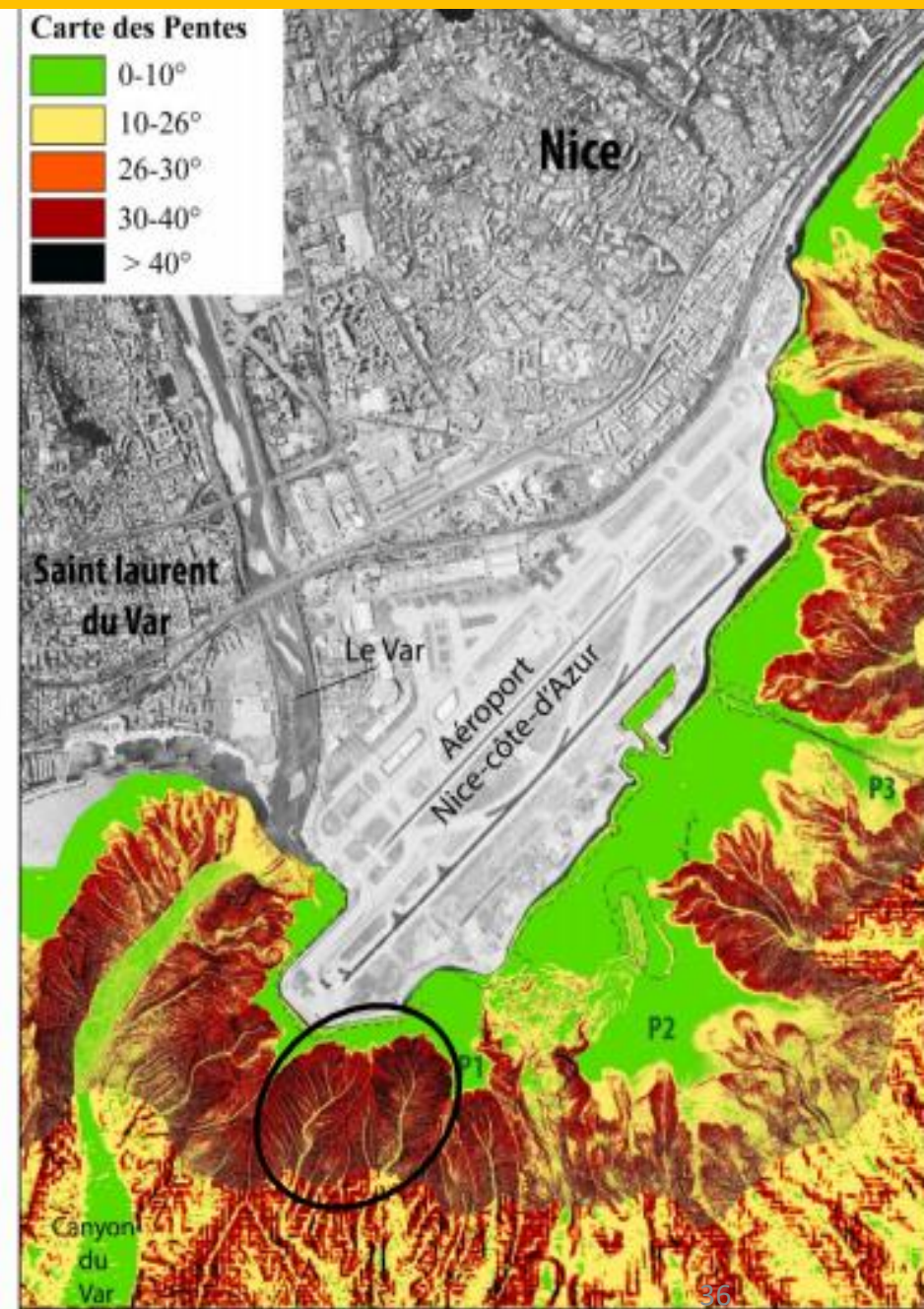


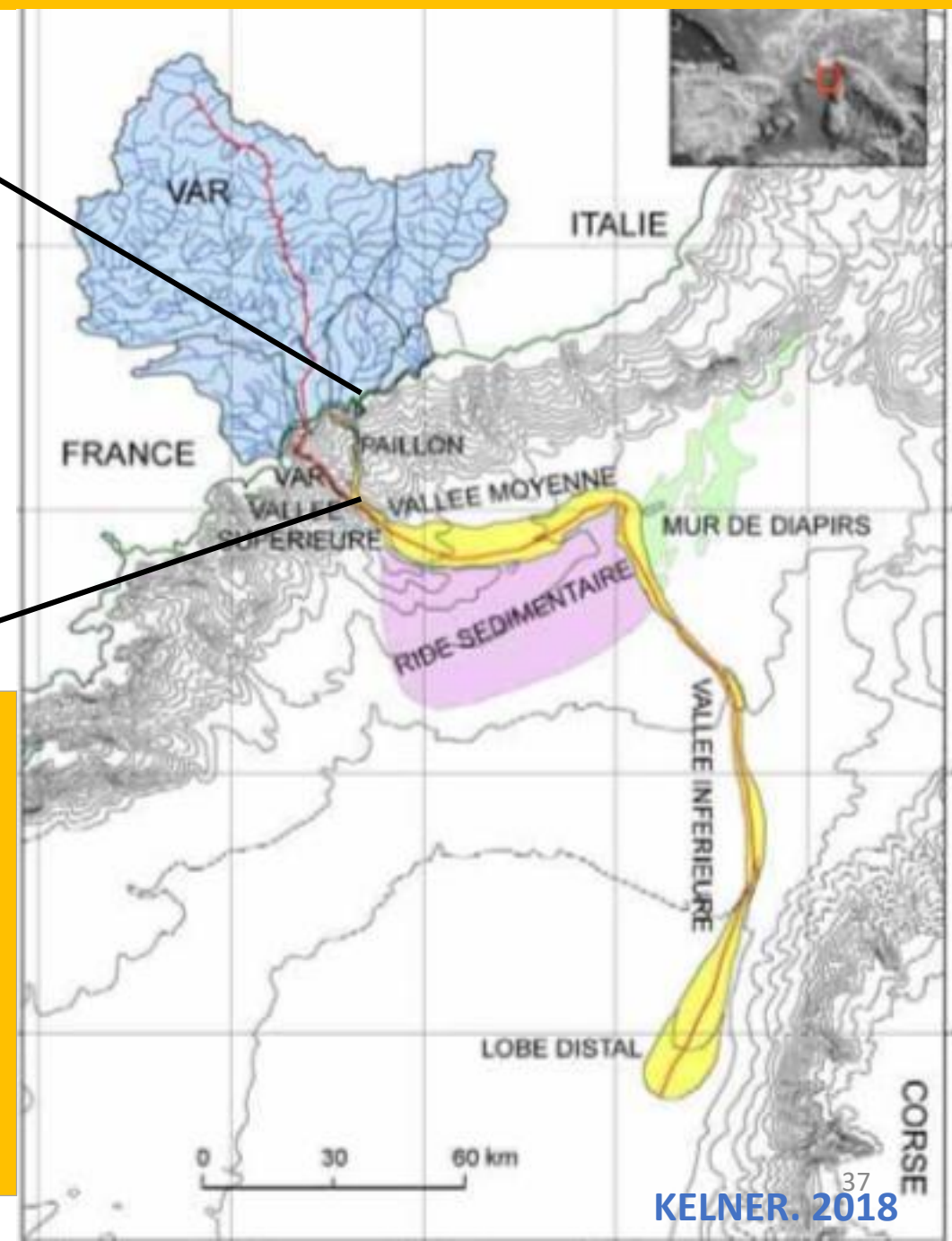
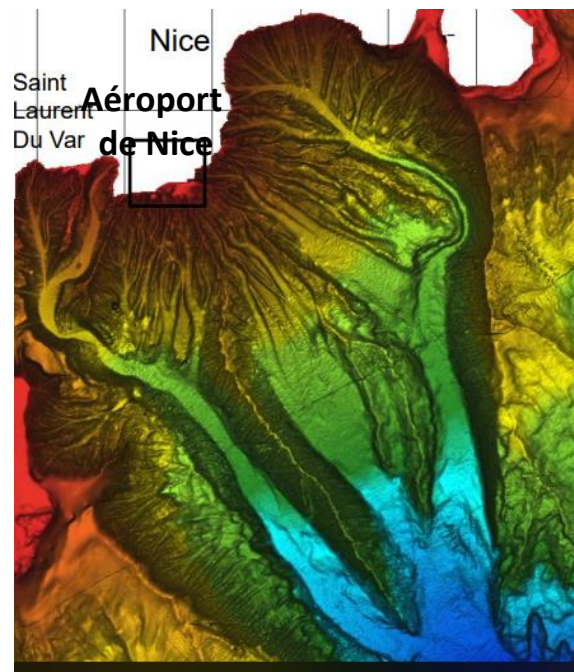
Niche
d'arrachement
de 1979

- Relief élevé en arrière pays
- Quasi absence de plateau continental
- Fortes pentes sous-marines
- Nombreuses traces d'érosion régressive sous-marine



- Surcreusement messinien (5,5 MA / 1200m)
- Remplissage deltaïque plio-quaternaire (600m d'épaisseur)
- Front de delta du Var très abrupt (glissement / érosion régressive), pente forte
- Un évènement d'érosion régressive suivi d'une avalanche sous-marine tous les 7-8 ans (Kelner et al. 2016)
- Zone sismique active (pas en 1979)





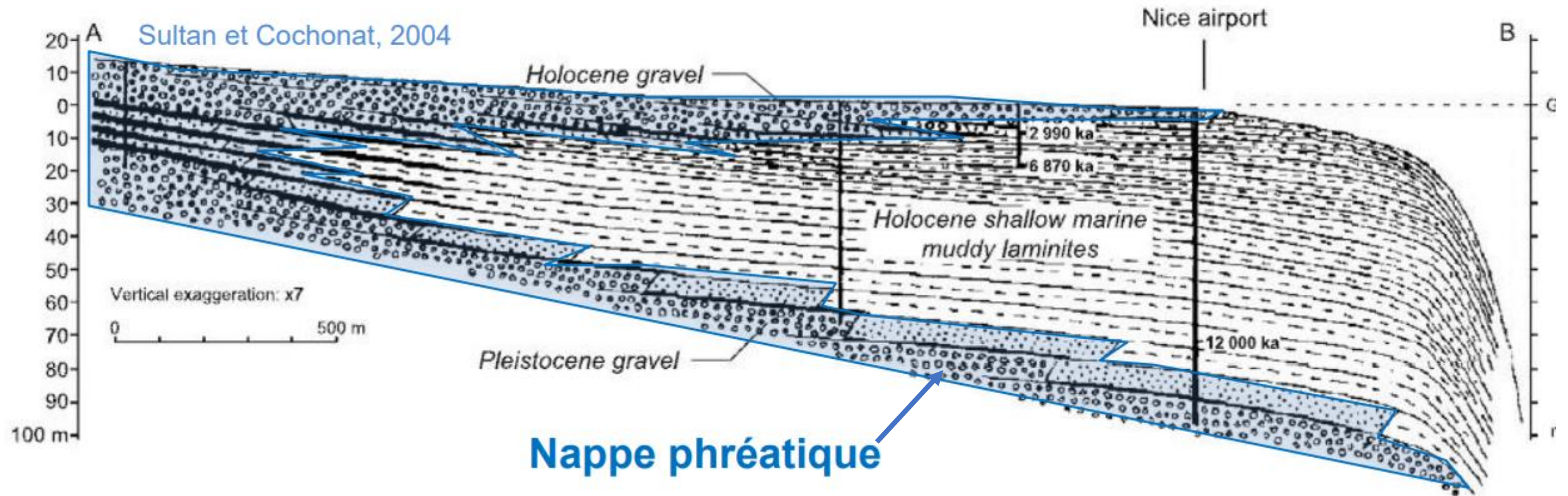
- Important bassin versant du Var et du Paillon en amont
- Episodes pluvieux et crues intenses
- Vallée sous marine connectée aux fleuves VAR et PAILLON
- Erosion intense et transport sédimentaire
- Avalanches sous-marines fréquentes



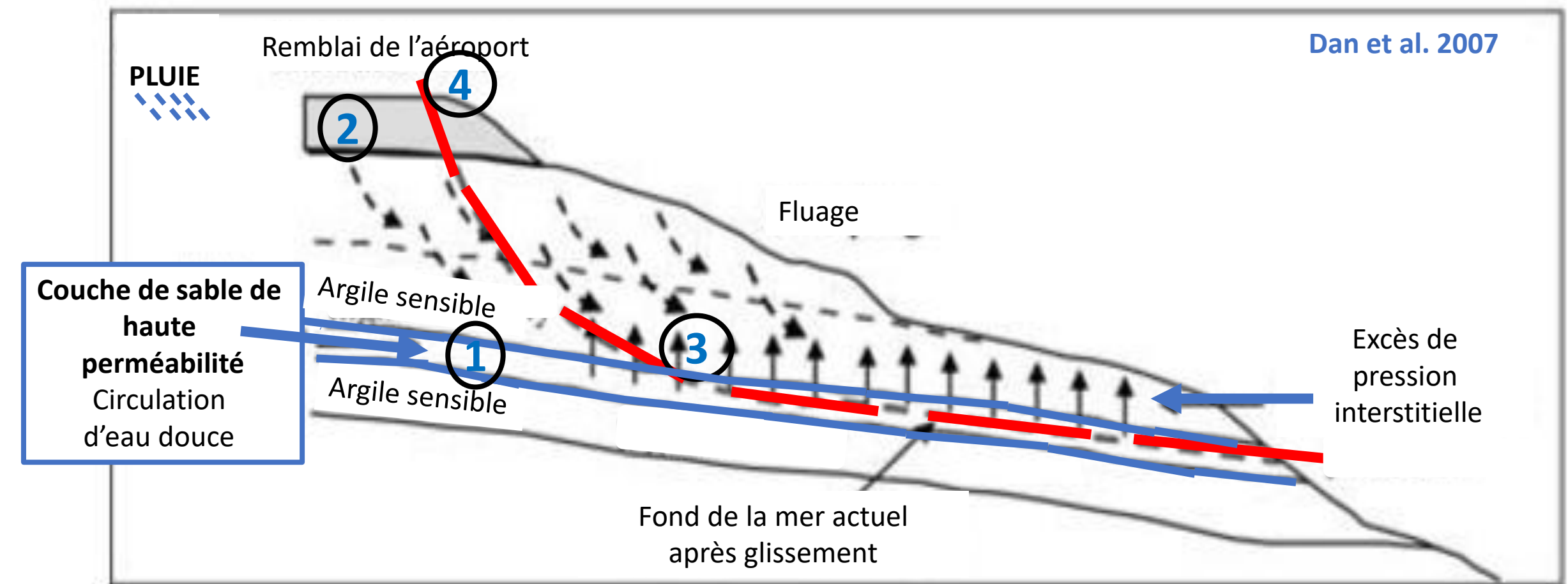
Source B. Savoye

- Evolution du trait de côte
- Remblai de l'aéroport gagné sur la mer

Le Delta du Var

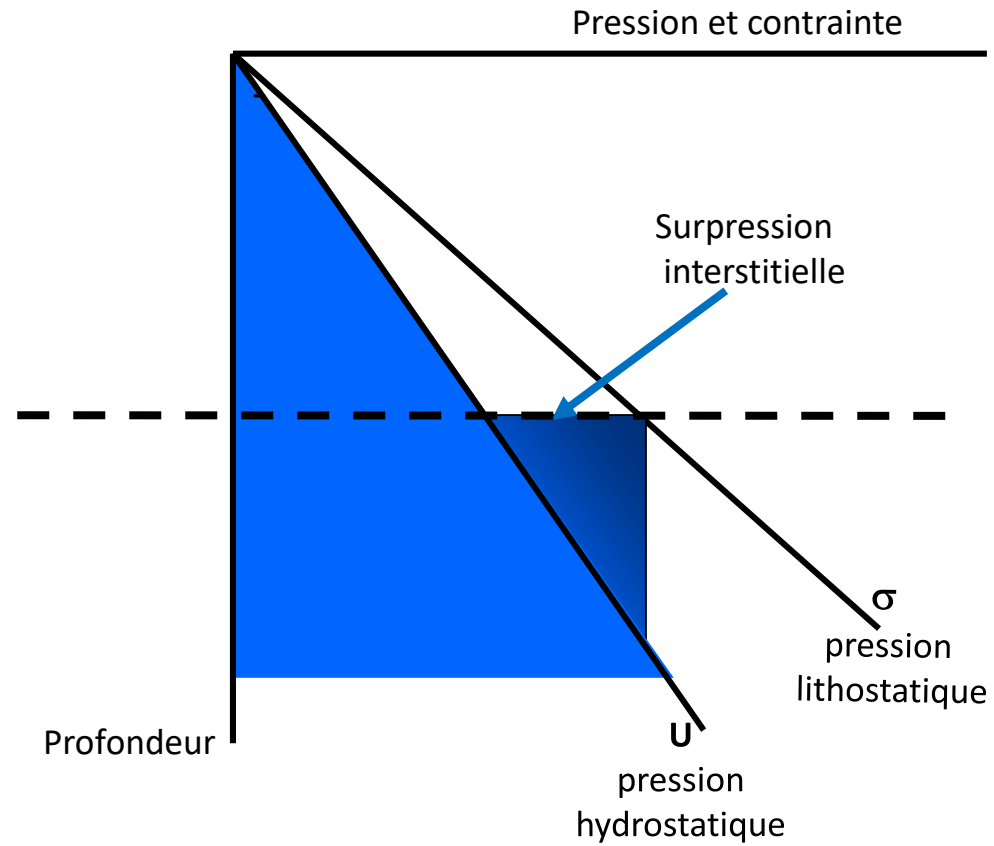


- Dépôts deltaïques : alternances sables et graviers / argiles marines
- Forte alimentation en eau douce par l'amont : nappes phréatiques dans les sables
- Circulation de l'eau douce en surpression : sorties d'eau douce connues en mer



- 1 diminution de la résistance de l'argile sensible, les sables perméables favorisent le lessivage de l'argile
- 2 surcharge gravitaire le poids du remblai diminue la résistance au cisaillement de l'argile
- 3 augmentation de la pression de l'eau interstitielle (pluie) entraîne une baisse de la contrainte verticale effective
- 4 rupture → glissement

ROLE DE LA SURPRESSION INTERSTITIELLE

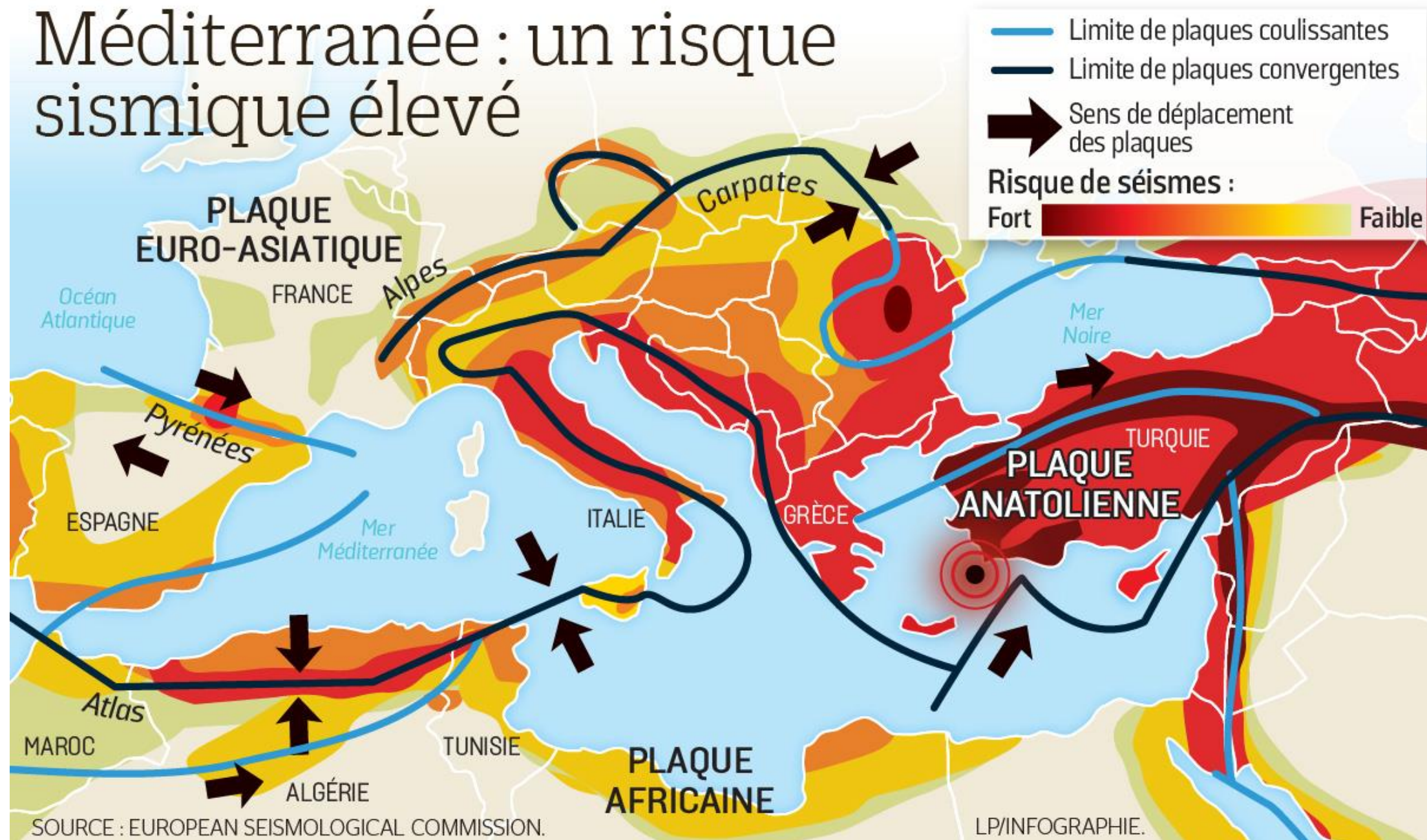


$$\sigma' = \sigma - U$$

LES RISQUES SUR LES CÔTES EUROPENNES ET SURTOUT MEDITERRANEENNE

Quelques cas de séismes en Méditerranée et plus largement en Europe du Sud					
- 1600	Grèce Santorin		20 m	Volcan	L'éruption du volcan de l'île grecque de Santorin provoque un tsunami d'une vingtaine de mètres en Crète qui contribue à la disparition de la civilisation minoenne.
563	Suisse Lac Léman		13 m	Éboulement	Éboulement du Tauredunum à plusieurs kilomètres du Léman ; l'onde atteint le lac, ébranle les sédiments lacustres et provoque un tsunami de 8 m sur les villes d' Évian-les-Bains et Genève , et 13 m sur Lausanne
1755	Portugal et tout l'océan Atlantique Nord	90 000	18,3 m	Séisme 8,7	Un séisme violent au large de Lisbonne , d'une magnitude estimée à 8,7 ravage 85 % de la ville et provoque un tsunami qui déferle sur les côtes de l'Atlantique Nord, de l'Angleterre au Maroc, jusqu'aux Amériques12,3.
1783	Italie Messine	ESSINE	16 m	Séisme 5,9	Séisme de magnitude 5.9, dans le détroit de Messine
1908	Italie Messine	95 000	13 m	Séisme	80 000 victimes à Messine sur une population de 140 000 habitants
16 octobre 1979	Nice France	11	3,5 m	Eboulement	Un glissement de terrain sous-marin consécutifs aux travaux d'une digue de l' aéroport de Nice , provoque un tsunami d'une hauteur de 3,5 m sur la Côte-d'Azur (11 personnes ont péri)
6 août 1985	France / Camargue	1	2,5 m	Séisme / Glissement	Un glissement de terrain sous-marin consécutifs à un séisme sur les abords de la Camargue , provoque un tsunami d'une hauteur de 2,5 m sur l'ensemble du littoral du Golfe du Lion, en particulier aux Saintes-Marie-de-la-Mer et à Port-Saint-Louis du Rhône, causant des dommages à plus de 800 m dans les terres, tuant une personne et faisant une dizaine de blessés, tous surpris en pleine nuit.
17 août 1999	Turquie	17 480	3 m	Séisme 7.2 à 7.6	faille nord-anatolienne Mer de Marmara Izmit - glissements de terrain
21 mai 2003	Algérie Espagne France	0	3 m	Séisme 6,9	Un séisme de magnitude 6.9 dans le nord de l' Algérie (Boumerdes) , causant la mort d'environ 2 300 personnes, déclenche un tsunami frappant les Baléares, l'Espagne, et la France. La hauteur maximale de la vague est de 3 m

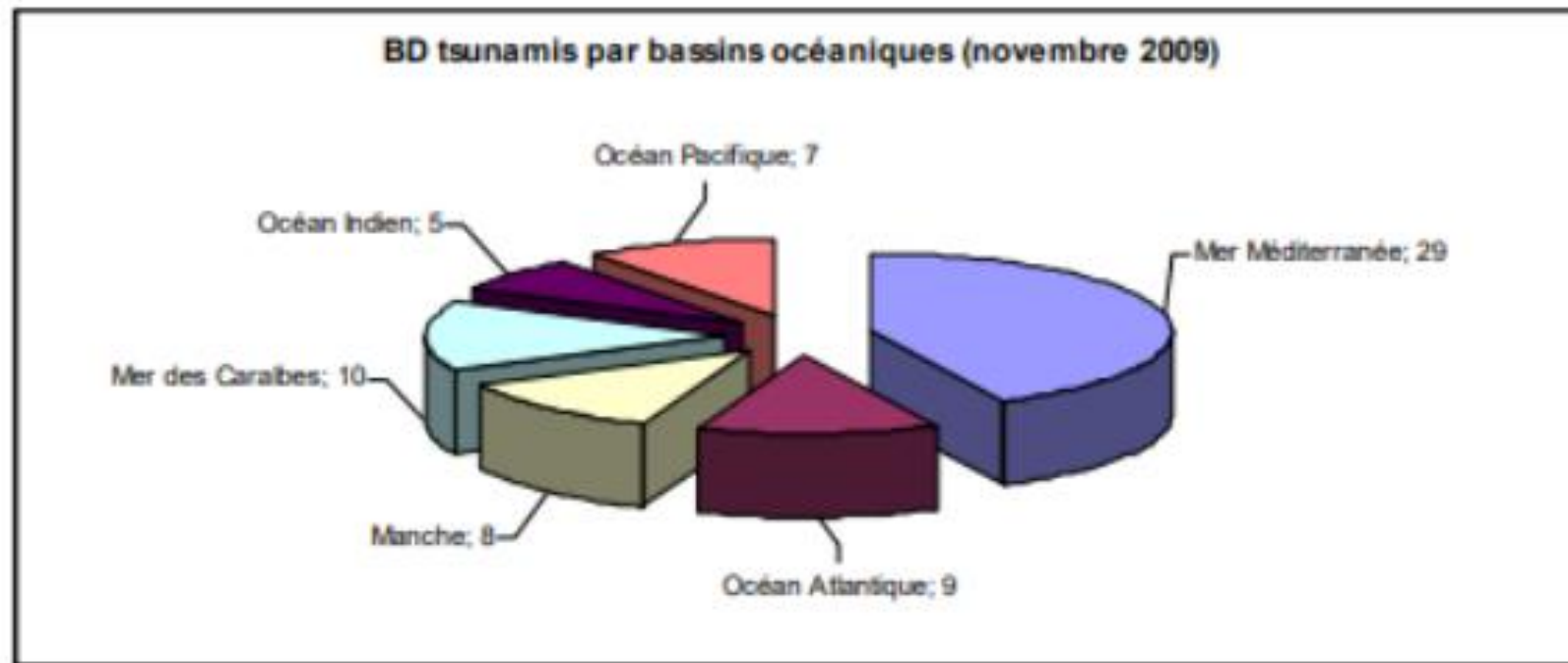
Méditerranée : un risque sismique élevé



Rapport BRGM 2009. BD Tsunamis. Inventaire historique des tsunamis en France. Rapport final BRGM/RP-57781-FR novembre 2009 (doc. public)

NOMBRE :

Mer Méditerranée	Océan Atlantique	Manche	Mer des Caraïbes	Océan Indien	Océan Pacifique
29	9	8	10	5	7



68 cas de tsunamis répertoriés sur les côtes françaises (y compris outre-mer)

**Côte méditerranéenne française :
~ 29 tsunamis en 400 ans
(1 tous les 14 ans)**

ORIGINE :

Sismique	Volcanique	Gravitaire	Inconnue
28	7	5	28

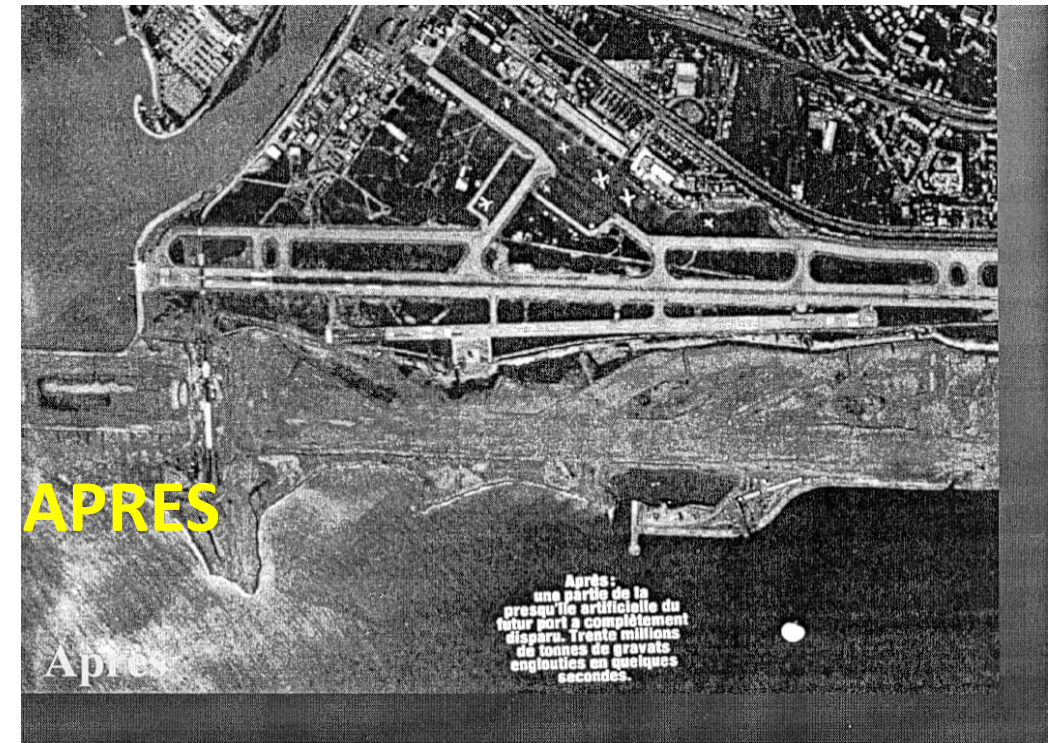
Risque = aléa X vulnérabilité

Aléa :

- risque sismique élevé en Italie, Algérie, sud de la France (confrontation de plaque africaine / plaque eurasiatique)
- instabilité de pente à proximité des côtes , nombreux glissements (delta du Rhône, du Var, du Pô ...)
- édifices volcaniques instables (Stromboli Etna)

Vulnérabilité :

- population sur les côtes méditerranéennes !!!



MERCI pour votre attention