



Le risque tsunamis sur le littoral français

Monique TERRIER
Direction Risques et Prévention (DRP)



Sommaire

1 - Définition, classification

2 - Connaissance des tsunamis historiques et actuels

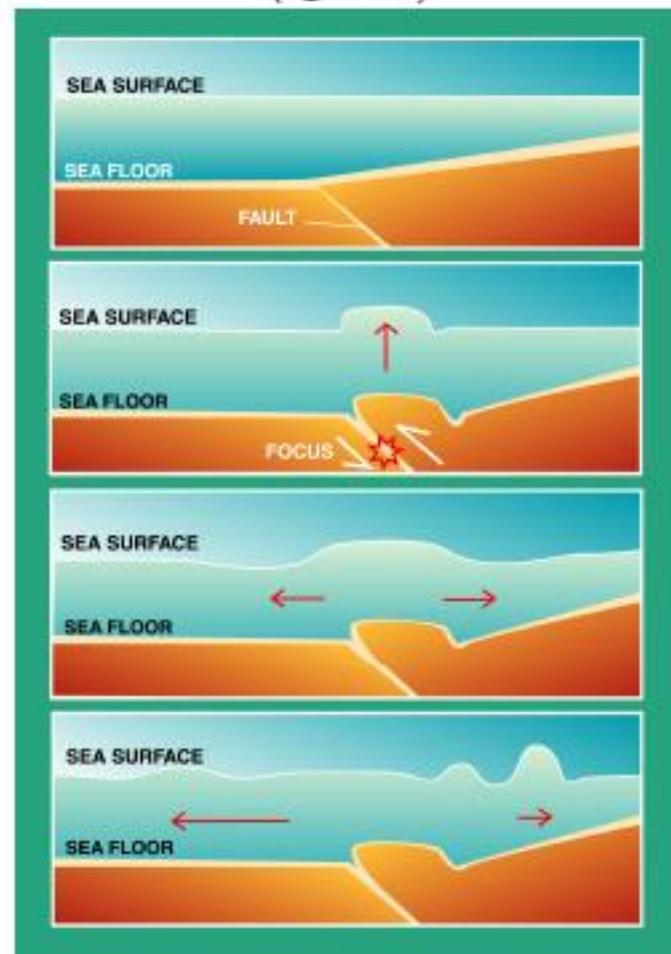
3 - De l'aléa au risque

4 - Systèmes d'Alerte

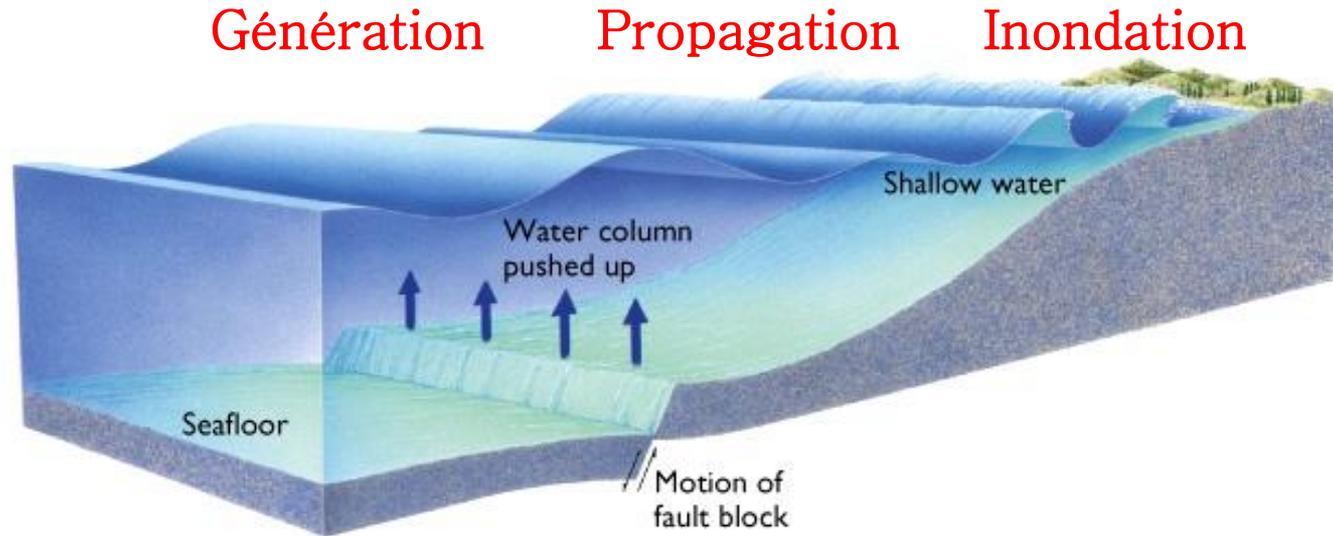
1 - Définition, classification

Schéma de la génération d'un tsunami par un séisme
(©ITIC)

- Du japonais tsu = port et nami = vague
- Onde* provoquée par une **action brutale** donnant lieu à un mouvement de flux et de reflux d'un **grand volume d'eau** (lac, mer, océan).
**Une vague est appelée 'onde' lorsque le quotient de la hauteur de la vague par sa longueur devient très petit.*
- Associé à la naissance et au déploiement d'une ou de plusieurs vagues parfois destructrices au contact des rivages.



On distingue 3 phases:



Origine :

- > Sismique : Sumatra 2004, Chili 1960-2010, Japon 2011
- > Mouvement de Terrain (sous-marin ou côtier)
- > Volcanique : Montagne Pelée 1902 ; Santorin -1500 ; Krakatoa, 1883
- > *Chute Astéroïde*
- > *Explosion atomique (Polynésie Française ?)*

EFFET CASCADE!!!!!!!

En fonction de l'origine, le tsunami peut être de :

- **Champ lointain, Transocéanique (origine sismique) :**
propagation sur quelques milliers de km
- **Champ proche (mvt terrain, érupt. Volcanique) :** propagation
dizaines à centaine de km

Propagation

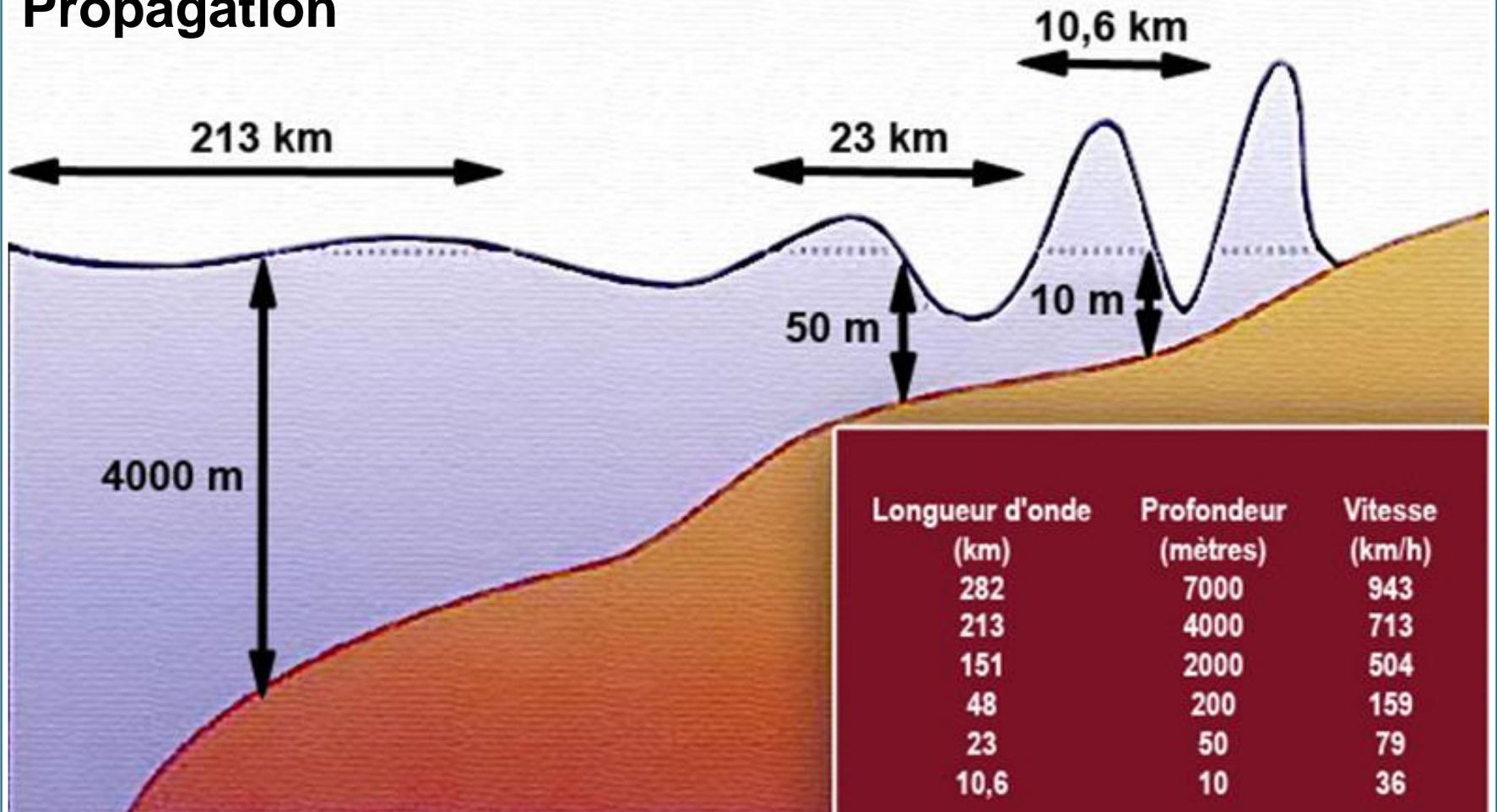


Schéma de propagation d'un tsunami depuis le milieu profond vers la côte

Source :

http://www.prh.noaa.gov/itic/fr/library/pubs/great_waves/tsunami_great_waves.html

vitesse de l'onde de tsunami = $\sqrt{g * profondeur\ Eau}$

Exemple :

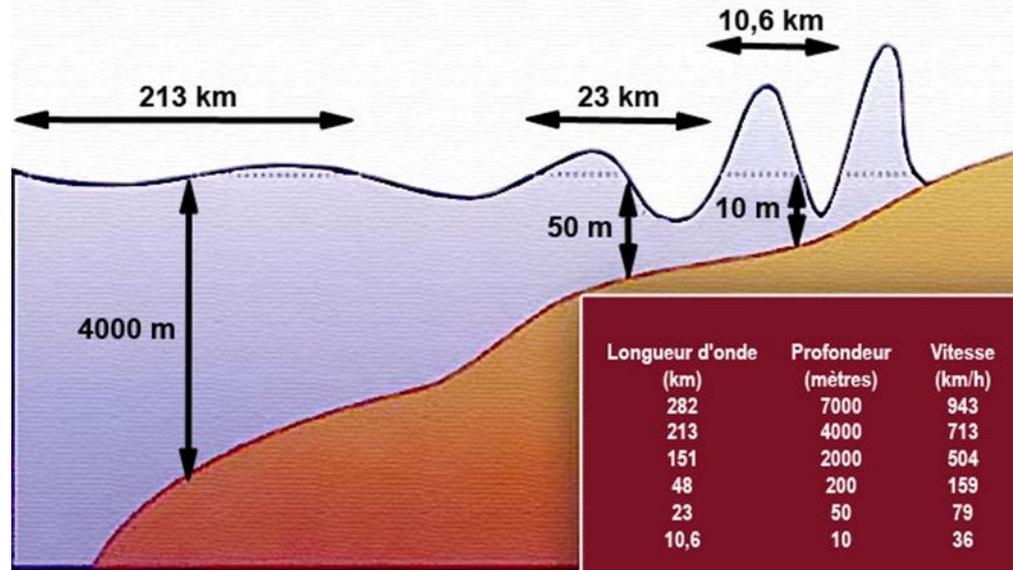
P = 4000m

V = $\sqrt{9,8 \times 4000} = 198 \text{ m/s} = 700 \text{ km/h}$



Géosciences pour une Terre durable

brgm



La vitesse de propagation diminue en eau peu profonde alors que la hauteur d'eau augmente rapidement →

- Hauteur initiale $< \sim 1$ m, amplification considérable près des côtes
- vitesse de 800 km/h quand le fond de l'océan est profond, 40 km/h pour une profondeur de 10 m environ

Longueur d'onde est d'ordre km à plusieurs 100km →

Période (temps entre deux ondes successives), plusieurs minutes à supérieure à 1 heure

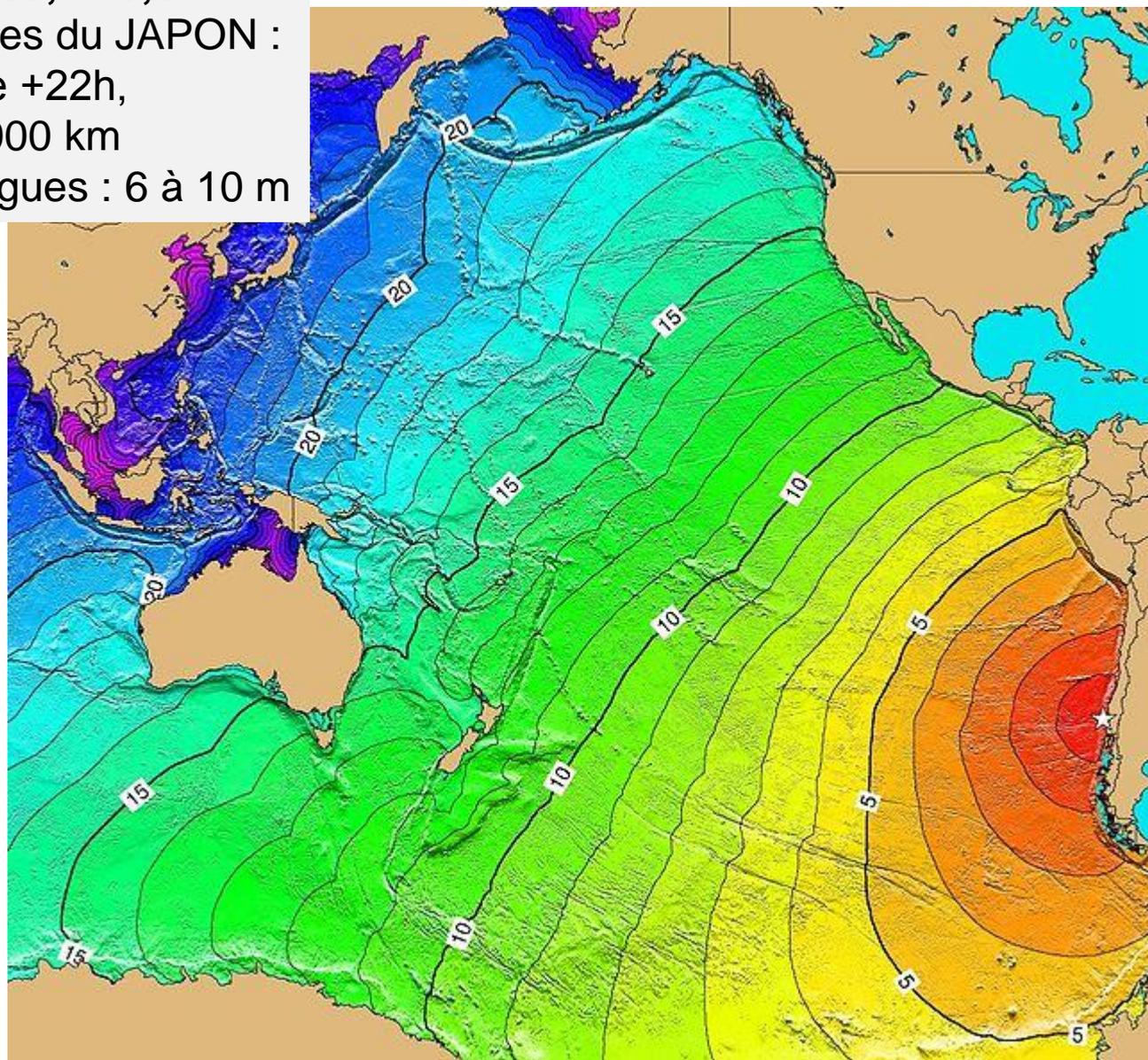
Séisme du Chili 1960, M 9,6

Tsunami sur les côtes du JAPON :

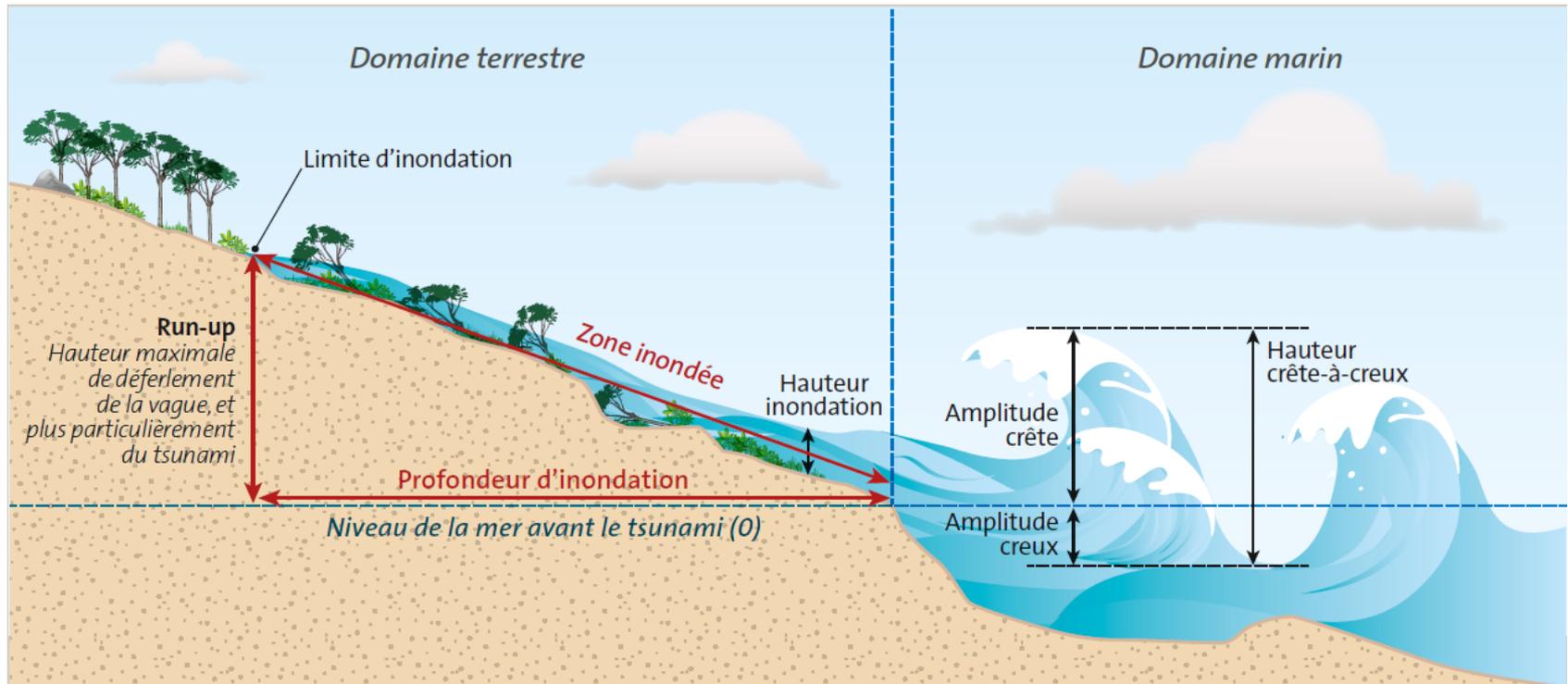
Temps d'arrivée +22h,

Distance > 10 000 km

Hauteur des vagues : 6 à 10 m



Inondation

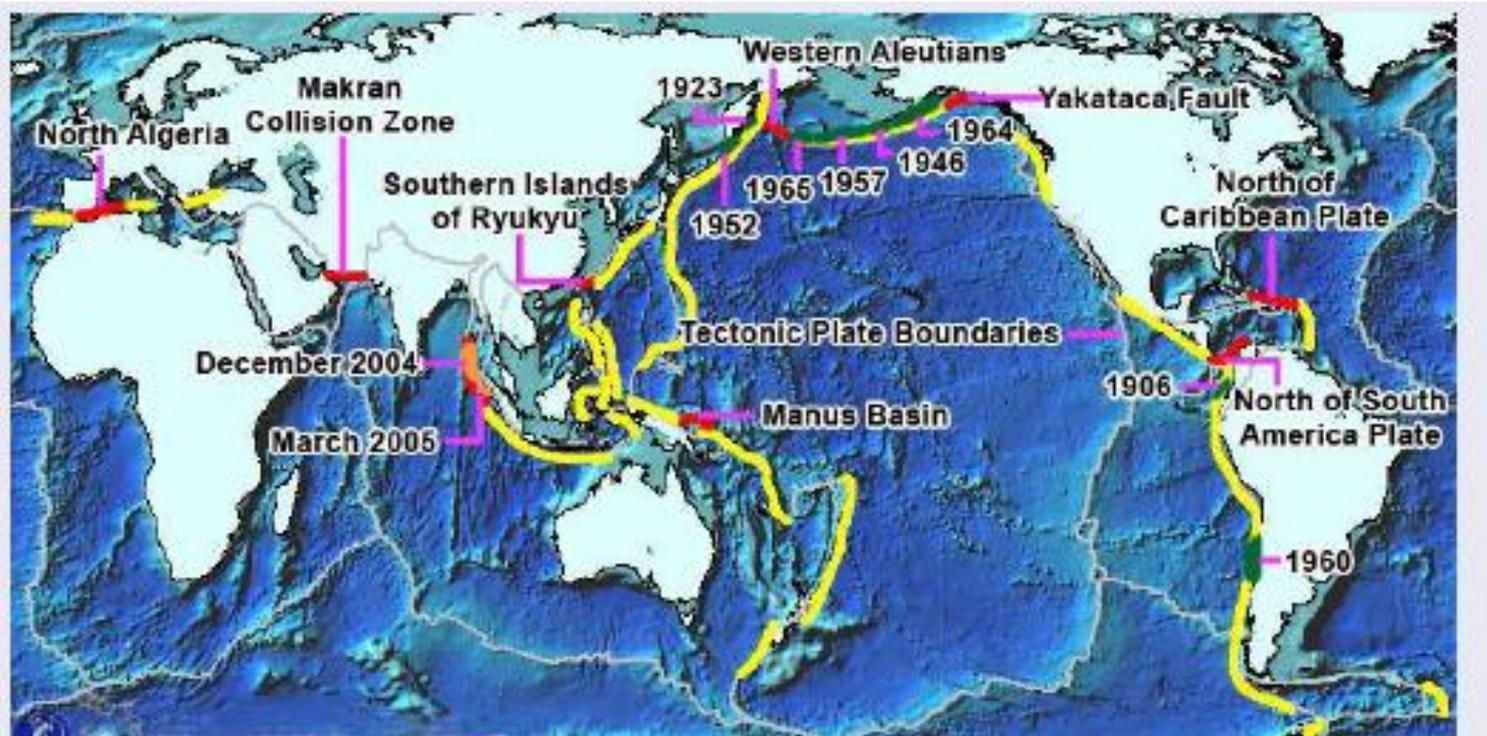


Caractéristiques des tsunamis au niveau du rivage :

- Amplitude
- Hauteur
- zone inondée
- limite d'inondation
- run-up

- il y a généralement **plusieurs** vagues
- **la plus importante** n'est pas forcément la première
- **plusieurs heures** peuvent s'écouler entre la première et dernière vague
- il n'y a **pas** forcément de **retrait** de la mer à l'arrivée du tsunami
- On estime à 7 ou 8 le nombre de grosses vagues qui font des dommages avant que l'énergie d'un tsunami ne soit dissipée

- 80% des tsunamis concernent l'océan Pacifique
- Sur une moyenne de 120 tsunamis par siècle, 3 à 4 peuvent être catastrophiques



Source de tsunamis

- █ Zone de subduction connue
- █ Zone de subduction lente ou collision présumée

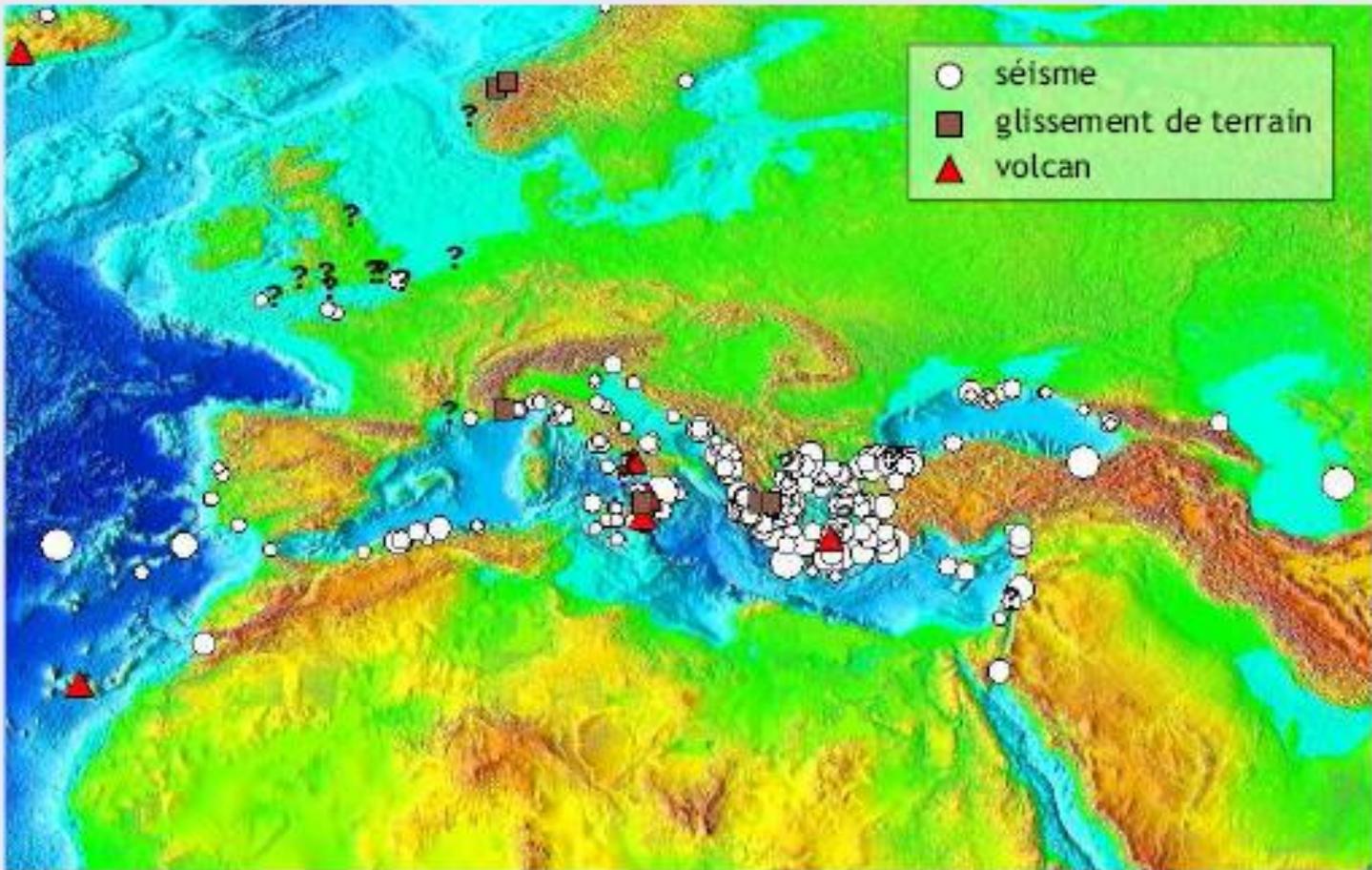
Séismes ayant généré des tsunamis

- █ Magnitude > 8.5
- █ Zone de Sumatra-Andaman (26/12/2004)

Répartition des sources de tsunami connues dans le monde (©ITIC)

pour une Terre durable





Répartition des sources de tsunami connues dans le bassin méditerranéen (©ITIC)

Principaux tsunamis historiques en Méditerranée

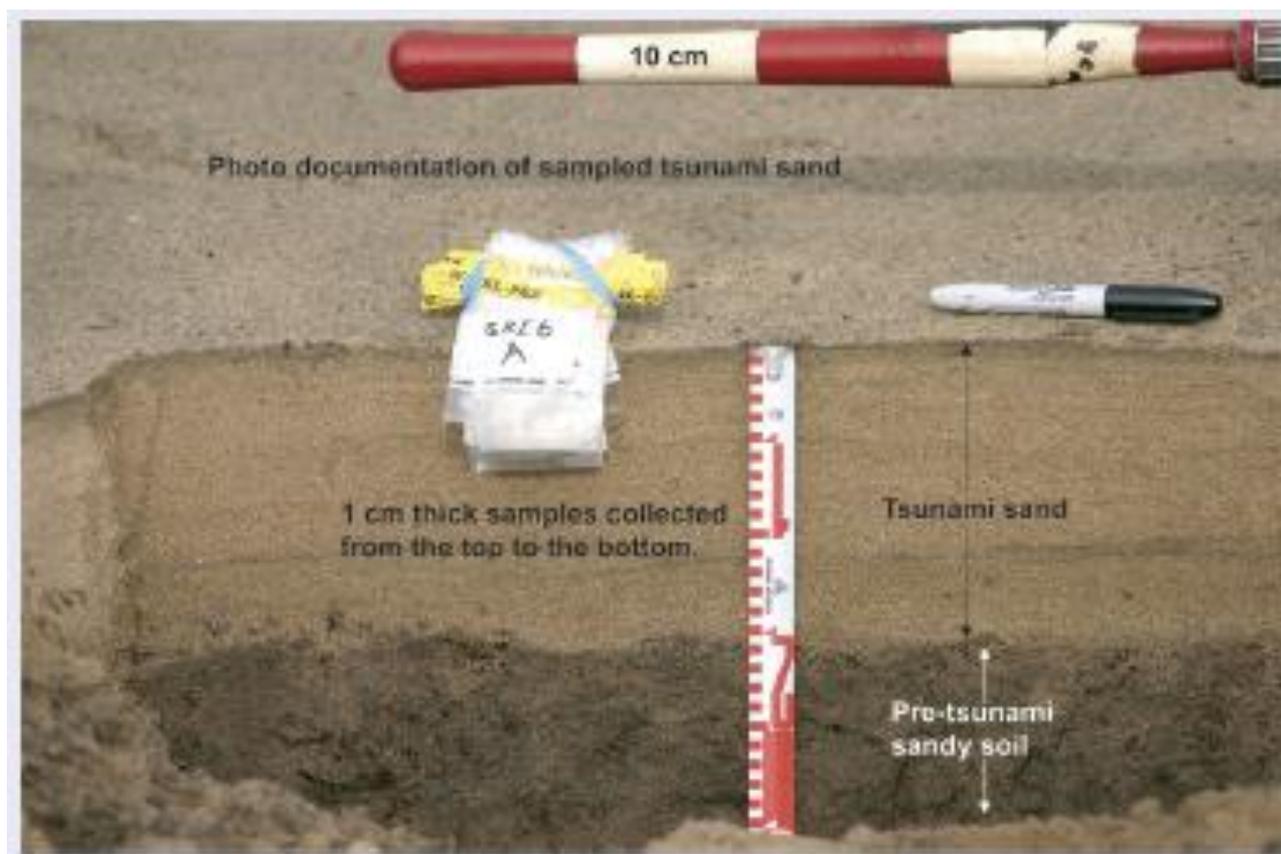


Lisbonne, 1755, M=8 ?, h=20m	Alger, 1365, M=7 ?	Messine, 1908, M=7 ?, h = 8 m	Heliké, - 373, M=6,5 à 7, h > 10 m	Crète, 365, M=8,5 ?, h >20m	Santorin, - 1650, effondrem ent de caldeira, h = 40 m ?	Rhodes, 1303, M=8 ?	Amorgos, 1956 M=6,5, h = 20 m
------------------------------	--------------------	-------------------------------	------------------------------------	-----------------------------	---	---------------------	-------------------------------

2 - Connaissance des tsunamis passés et actuels

paléo-tsunamis :

Enregistrements sédimentaires (tsunamites) : traces d'évènements majeurs, occurrence plusieurs milliers à dizaines voire centaines de milliers d'années



Exemple de dépôt de sable lié au tsunami du 26 décembre 2004 (Sri Lanka, © USGS)

- National Geophysical Data Center (NGDC, globe)
- Russia science academy
- Genesis and Impact of Tsunamis on the European Coasts (GITEC , 2001)
- Italian Catalogue
- Caraïbes : O`Loughlin et Lander (2003), Lander et al. (2002), Zahibo et Pelinovsky (2001)

Italian Catalogue, 67 events

Bases de données des évènements historiques ou actuels

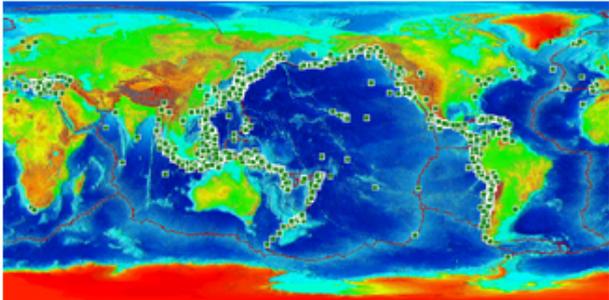
Adresse http://www.ngdc.noaa.gov/seg/hazard/tsevsrch_idb.shtml

Google database tsunamis Search 12 blocked Check AutoLink AutoFill Options database tsunamis

 **National Geophysical Data Center (NGDC)**
NOAA Satellite and Information Service

NOAA > NESDIS > NGDC > Natural Hazards [comments](#) | [privacy policy](#)

The **NGDC Tsunami Event Database** (this search page) contains information on the source of the tsunami.
It is related to the [Tsunami Runup](#) database which contains information on locations where tsunami effects occurred.



- To display a subset of the Event Database **enter** the information for one or more of the following search options and then click the **Search Database button**.
 - Click the **Clear Form button** for each additional search.
 - To retrieve the entire database, click the **Clear Form button** and the **Search Database button** at the bottom of this page.
 - The file contains over **2400 events** and is **approximately 3.1 MB**.
 - **NOTE: Do not use commas when entering numbers into the form.**
- To **Import** the resulting search into an MS Excel spreadsheet:
 - In the Browser, select **Edit--Select All** then **Edit--Copy**
 - In Excel, select **Edit--Paste Special--as HTML**

Select Tsunami Source Parameters:

Enter **Source Date** as a Year (-2000 to 2005): Beginning Ending

Select **Source Region Name:**

Select **Source Country:**

Select **Source State:**

Italian Catalogue, 67 events

Internet

Bases de données des évènements historiques ou actuels

ITALIAN TSUNAMI CATALOGUE version 1.0

Id code:

Reliability:

Date Information

Year: **Month:** **Day:** **Time (hh: mm:ss):**

Date: **Reliability:**

Region Information

Subregion:

Short Description:

Tsunami Information

Max Runup:

Intensity:

Magnitude:

Source Information

Cause: **Latitude:**

Intensity: **Focal Depth:** **Longitude:**

Magnitude: **VEI:** **Reliability:**

Remarks:

Epicenter coordinates, origin time, earthquake intensity (MCS scale) and equivalent moment magnitude from CPT12 (r247). Maximum run-up from Eva (r202). Tsunami reliability and intensity from Tinti (r9)

TSUNAMIGENIC ITALIAN SUBREGIONS

Id_code	Year	Month	Day	Hour	Minute	Second	Date_rel	Source_sub	Descr
1	79	8	24				2	Campania	Sea r
2	1112	6	20					Campania	Sea w
3	1169	2	4	07				Eastern Sicily	Flood
4	1329	6	28					Eastern Sicily	Boats
5	1511	3	26	14	40			North Adriatic	Large
6	1564	7	20					Liguria-Côte d'Azur	Sea ir
7	1613	8	25					Northern Sicily	Sea fl
8	1627	7	30	10	50			Gargano	Large
9	1631	12	17	9				Campania	Sea w
10	1638	3	27	15	05			Tyrrhenian Calabria	Sea r
11	1646	4	5					Tuscany	Sea ri
12	1649	1						Messina Straits	Shipw

NUM

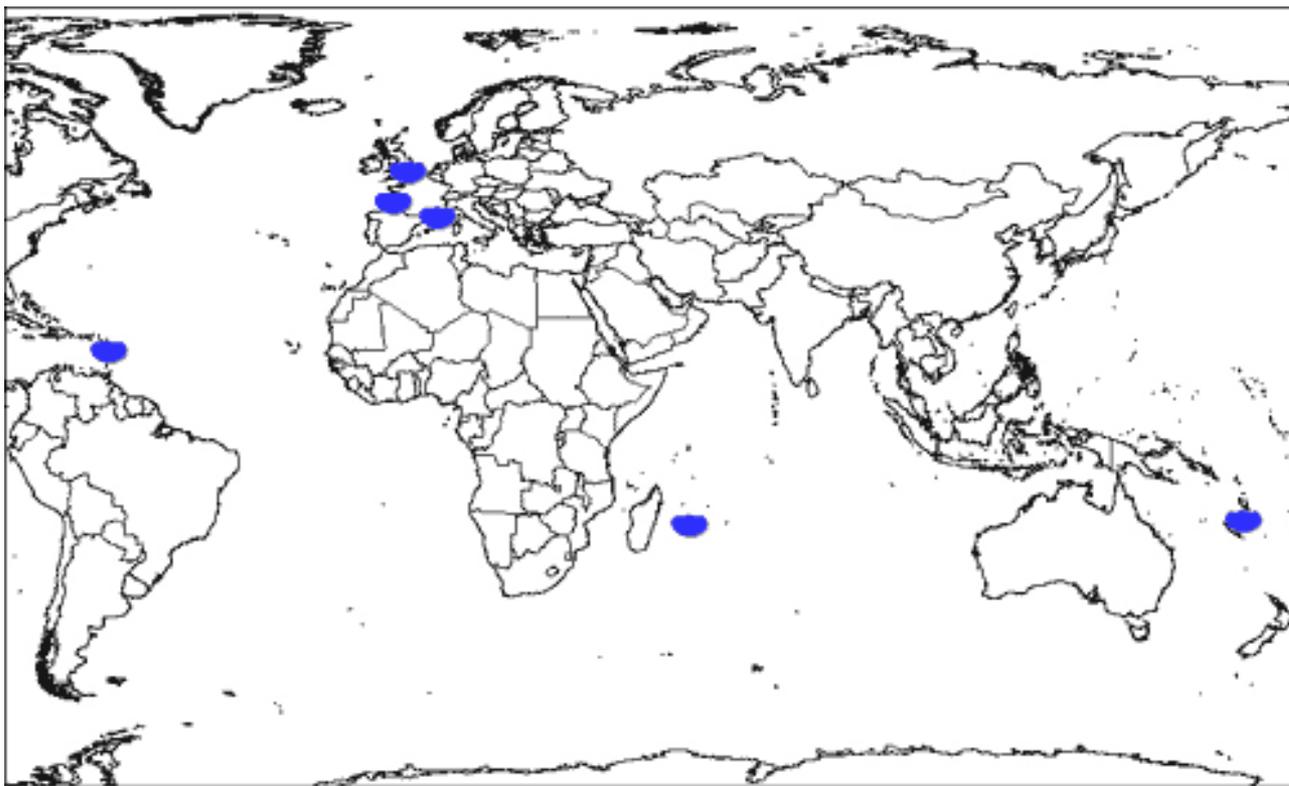
La base nationale française des tsunamis observés en France : www.tsunamis.fr

The screenshot shows the homepage of the French national database for observed tsunamis. At the top, there are logos for BRGM (Geosciences pour une Terre durable) and the French Ministry of Ecology, Urban Planning and Sustainable Development. The main title is 'Tsunamis observés en France'. Below the title is a navigation menu with options: Présentation, Définitions, Contexte, Catalogue des tsunamis, Droits d'usage, Accueil (highlighted), Liens, Aide, and Contact / FAQ. The central part of the page features a map of France with several orange markers indicating the locations of observed tsunamis. A legend indicates 'Tsunamis constatés'. To the right of the map is a section titled 'Histoire et caractéristiques des tsunamis observés en France'. At the bottom left, there is a date stamp '26 Novembre 2007' and the URL 'http://www.tsunamis.fr'.

La méthode :

- rechercher les sources bibliographiques les plus contemporaines des évènements,
- Distinguer : « vrai » tsunami (origine démontrée), tsunami incertain (preuves documentaires insuffisantes), faux tsunami (phénomène relevant d'un facteur à caractère météorologique).
- Structurer et « valider » les informations

BD Tsunamis.fr : Les zones de recherche (en bleu)





Catalogue général des tsunamis par ordre chronologique

Sélection par bassins

Tous

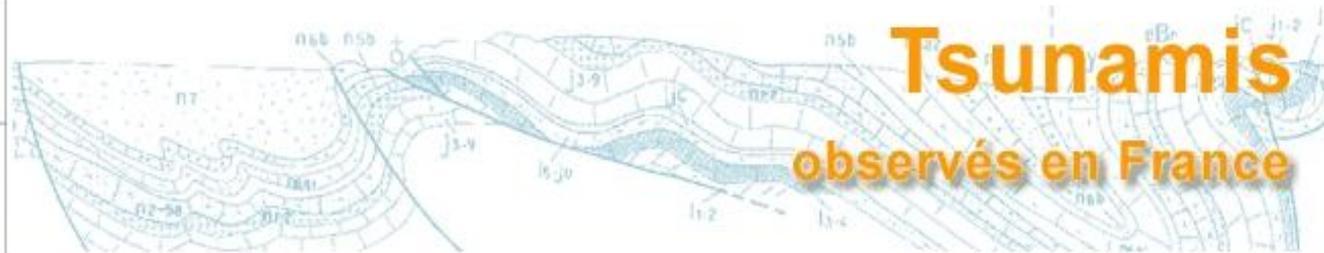
Cliquez dans la colonne "Appellation" pour connaître les caractéristiques du tsunami

1

Date	Appellation	Région	Océan - Mer	Intensité
1 avril 2007	Séisme de Guadalcanal	Archipel des îles Salomon	Océan Pacifique	5
25 mars 1998	Séisme du nord Antarctique	Pacifique Sud	Océan Pacifique	Inconnue
16 octobre 1979	Glissement sous-marin (Nice, Baie des Anges)	Côte d'Azur	Mer Méditerranée	3
22 juin 1977	Séisme du sud de l'Archipel des Tonga	Pacifique Ouest	Océan Pacifique	Inconnue
7 septembre 1972	Séisme d'Oléron	Charente-Maritime	Océan Atlantique	2
23 février de 1887	Séisme de la Riviera italienne	Ligurie	Mer Méditerranée	3
22 avril 1882	Port de La Rochelle	Charente-Maritime	Océan Atlantique	3
9 juin 1875	Port de La Rochelle	Charente-Maritime	Océan Atlantique	3
28 mars 1875	Séisme des Nouvelles-Hébrides	Nouvelle-Calédonie, Vanuatu	Océan Pacifique	6
18 novembre 1867	Séisme des Iles Vierges (St-Thomas)	Antilles	Mer des Caraïbes	4
5 juin 1858	Normandie, Kent, Déroit de Calais	Manche	Manche	3
27 février de 1843	Port de Marseille	Provence	Mer Méditerranée	3
17 juillet 1841	Port de Sete	Languedoc	Mer Méditerranée	3
14 juillet 1841	Port de Marseille	Provence	Mer Méditerranée	2
8 juillet 1829	Port de Marseille	Provence	Mer Méditerranée	3
5 juillet 1817	Port de Marseille	Provence	Mer Méditerranée	Inconnue
27 juin 1812	Côte et port de Marseille	Provence	Mer Méditerranée	4
19 septembre 1810	Port de Boulogne-sur-Mer	Picardie	Manche	3
24 avril 1767	Atlantique, séisme du sud-ouest de la Barbade	Antilles (Martinique, Barbade)	Océan Atlantique	4
18 novembre 1755	Seisme de la Nouvelle Angleterre (Cape Ann)	Antilles	Océan Atlantique	4
1 novembre 1755	Séisme dit de "Lisbonne"	Antilles	Océan Atlantique	3
13 juillet 1725	Baie de Flamanville	Cotentin	Manche	2
29 juin 1725	Port de Marseille	Provence	Mer Méditerranée	2
20 juillet 1564	Glissement sous-marin	Côte d'Azur	Mer Méditerranée	2

- Présentation
- Définitions
- Contexte
- Catalogue des tsunamis
 - Tsunamis régionaux
 - Faux tsunamis

- Droits d'usage
- Accueil
- Liens
- Aide
- Contact / FAQ



Tsunamis observés en France



Votre sélection: département des Alpes-Maritimes (06)

Cliquez dans la colonne "appellation" pour connaître les caractéristiques du tsunami

1

Date	Heure	Dommages	Appellation	Région	Intensité
21 mai 2003	18 h 44 min	Dommages légers	Séisme de Boumerdès	Algérie	3.0
16 octobre 1979	13 h 45 min	Dommages modérés	Glissement sous-marin (Nice, Baie des Anques)	Côte d'Azur	3.0
23 février 1887	5 h 59 min	Dommages modérés	Séisme de la Riviera italienne	Ligurie	3.0
20 juillet 1564		Dommages légers	Glissement sous-marin (baie de Nice)	Côte d'Azur	2.0

1

Présentation

Définitions

Contexte

Catalogue des tsunamis

→ Tsunamis régionaux

Faux tsunamis

Droits d'usage

Accueil

Liens

Aide

Contact / FAQ



Liste des observations

[Caractéristiques du tsunami](#)

[Carte du tsunami](#)

[Bibliographie](#)

[Page d'accueil](#)

Identité : **9710001**
Date du tsunami : **18 novembre 1867**
Appellation : **Séisme des Iles Vierges (St-Thomas) – Antilles**
Région de l'évènement : **Mer des Caraïbes**

1

Localité	Dept Pays	Vague			Retrait				Inondation				Runup		Intensité de l'onde		Longitude deg.dec	Latitude deg.dec	Date	Heure	
		Nb	Haut.	Fiab.	Haut.	Fiab.	Dist.	Fiab.	Haut.	Fiab.	Prof.	Fiab.	Haut.	Fiab.	Int.	Fiab.					
ARROYO	Porto-Rico									40 m	C					3	B	-66,058	17,938		
BAIE DE YABUCOA (PORTO RICO)	Porto-Rico						136,5 m	C			136,5 m	C				4	B	-65,883	18,04		
BASSETERRE	Saint-Kitts															3	C	-62,717	17,3		
BASSE-TERRE	Guadeloupe	2			1 m	B	9 m	B	1 m	B			2 m	C	3	C	-61,73	16			
CHARLOTTE AMALIE (ST-THOMAS)	Saint-Thomas	3	7,36 m	B			96 m	C	2,56 m	B	80 m	B				4	B	-64,93	18,34		à 15 h 20 min
CHRISTIANSTED (ST-CROIX)	Saint-Croix															4	B	-64,7	17,74		
DESHAIES	Guadeloupe				4 m	C										3	B	-61,78	16,32		
FOND-CURE (TERRE-DE-HAUT)	Guadeloupe															3	B	-61,58	15,86		
FREDERIKSTED (ST-CROIX)	Saint-Croix	3	8,8 m	B												4	B	-64,88	17,71		
GOUYAVE	Grenada												6,4 m	C	4	C	-61,733	12,167			
ILE DE BEQUIA (PORT ELIZABETH)	Grenadines	3							1,92 m	C						3	C	-61,233	13,017		
ILE DE SAINT-MARTIN	Guadeloupe															3	C	-63,08	18,07		
ILE DE SAINT-VINCENT (KINGSTOWN)	Saint-Vincent															2	C	-61,217	13,133		
PETER ISLAND (TORTOLA)	Tortola															4	C	-64,58	18,35		
POINTE-A-PITRE	Guadeloupe				0,4 m	C										2	C	-61,53	16,25		
ROAD TOWN (TORTOLA)	Tortola								1,44 m	B						4	B	-64,62	18,42		
BARTHELEMY	Guadeloupe															3	C	-62,85	17,9		

La bibliographie est élaborée à partir des sources documentaires vérifiées et contrôlées



Bibliographie

[Caractéristiques du tsunami](#)

[Carte du tsunami](#)

[Liste des observations](#)

[Page d'accueil](#)

Identité : 60003
 Date du tsunami : 23 février 1887
 Appellation : Séisme de la Riviera italienne – Ligurie
 Région de l'évènement : Mer Méditerranée

1 2 ▶

Auteur	Article	Référence	Tomaison, Série	Lieu d'édition	Date de publication
TINTI. S, MARAMBA A	CATALOGUE OF TSUNAMIS GENERATED IN ITALY AND IN CÔTE D'AZUR, FRANCE; A STEP TOWARDS A UNIFIED CATALOGUE OF TSUNAMIS IN EUROPE	ANNALI DI GEOFISICA	VOL 39, NO 6	ROMA	1996
	LES TREMBLEMENTS DE TERRE ET LEURS CAUSES	ASTRONOMIE (L')		PARIS	1887
CAPONI. G, EVA. C, MERLANTI. F	IL TERREMOTO DEL 23 FEBBRAIO 1887 IN LIGURIA OCCIDENTALE	ATTI DELL' ACCADEMIA LIGURE DI SCIENZE E LETTERE	VOL 37 (1980)	GENOVA	1981
BITEAU. M	LES TREMBLEMENTS DE TERRE DU PREMIER TRIMESTRE 1887	BULLETIN DE LA SOCIETE DE GEOGRAPHIE DE ROCHEFORT	T 9	ROCHEFORT	1887
CHARLON. E	NOTE SUR LE TREMBLEMENT DE TERRE DU 23 FEVRIER 1887	BULLETTINO DEL VULCANISMO ITALIANO	ANNEE 14	ROMA	1887
NAUDIN. CH	QUELQUES OBSERVATIONS ET REFLEXIONS AU SUJET DU TREMBLEMENT DE TERRE DU 23 FEVRIER A ANTIBES	C.R. ACADEMIE DES SCIENCES DE PARIS	T 104	PARIS	1887
ISSEL. A	SUR LE TREMBLEMENT DE TERRE DE LA LIGURIE	C.R. ACADEMIE DES SCIENCES DE PARIS	T 104	PARIS	1887
BOUQUET DE LA GRYE	NOTE SUR LE TREMBLEMENT DE TERRE DU 23 FEVRIER A NICE	C.R. ACADEMIE DES SCIENCES DE PARIS	T 105	PARIS	1887
LALLEMAND	OBSERVATIONS DU NIVEAU DE LA MEDITERRANEE, FAITES A MARSEILLE LE 23 FEVRIER 1887, A L'INSTANT DU TREMBLEMENT DE TERRE	C.R. ACADEMIE DES SCIENCES DE PARIS	T 104	PARIS	1887
TARNUZZER. CH		DIE SCHWEIZERISCHEN ERDBEBEN IM JAHRE 1887. BEARBEITET NACH DEN SCHWEIZ ERDBEBENKOMMISSION	INAUGUAL DISSERTATION	BERN	1888
MERCALLI. G		I TERREMOTI DELLA LIGURIA E DEL PIEMONTE		NAPOLI	1897
FRANCOIS. A		LES CATACLYSMES TERRESTRES (TREMBLEMENTS DE TERRE ET VOLCANIS)		PARIS	1910

Auteur	Article	Référence	Tomaison, Série	Lieu d'édition	Date de publication
NAUDIN. CH	QUELQUES OBSERVATIONS ET REFLEXIONS AU SUJET DU TREMBLEMENT DE TERRE DU 23 FEVRIER A ANTIBES	C.R. ACADEMIE DES SCIENCES DE PARIS	T 104	PARIS	1887

[Image suivante](#)

Tsunami:23 février 1887 à 5 h 59 min

Page 1 : Document original



PHYSIQUE DU GLOBE. — *Quelques observations et réflexions au sujet du tremblement de terre du 23 février, à Antibes.* Note de M. CH. NAUDIN.

« Je ne répéterai pas ce qui a déjà été dit surabondamment des trépidations et des oscillations du sol, qu'on a ressenties à Antibes comme ailleurs; mais ce que je n'ai encore vu relaté dans aucun des récits adressés à l'Académie, c'est qu'à Antibes, pendant les secousses du tremblement de terre, la mer a tout à coup baissé d'environ 1^m, laissant le fond à découvert sur une étendue plus ou moins grande, suivant la profondeur. Des navires qui étaient à flot dans le port ont touché terre pendant quelques instants, puis la mer est remontée avec une certaine impétuosité à son niveau habituel. Ce fait ne semble pas pouvoir s'expliquer autrement que par un soulèvement momentané du sol.

[Image suivante](#)



[Caractéristiques du séisme d'après SisFrance \(SisFrance\)](#)

Caractéristiques du tsunami

[Exporter la fiche](#)

[Carte du tsunami](#)

[Liste des observations](#)

[Bibliographie](#)

Vous pouvez télécharger cette fiche synthétique au format ASCII

Identité : 60003

Date du tsunami : 23 février 1887

Appellation : Séisme de la Riviera italienne

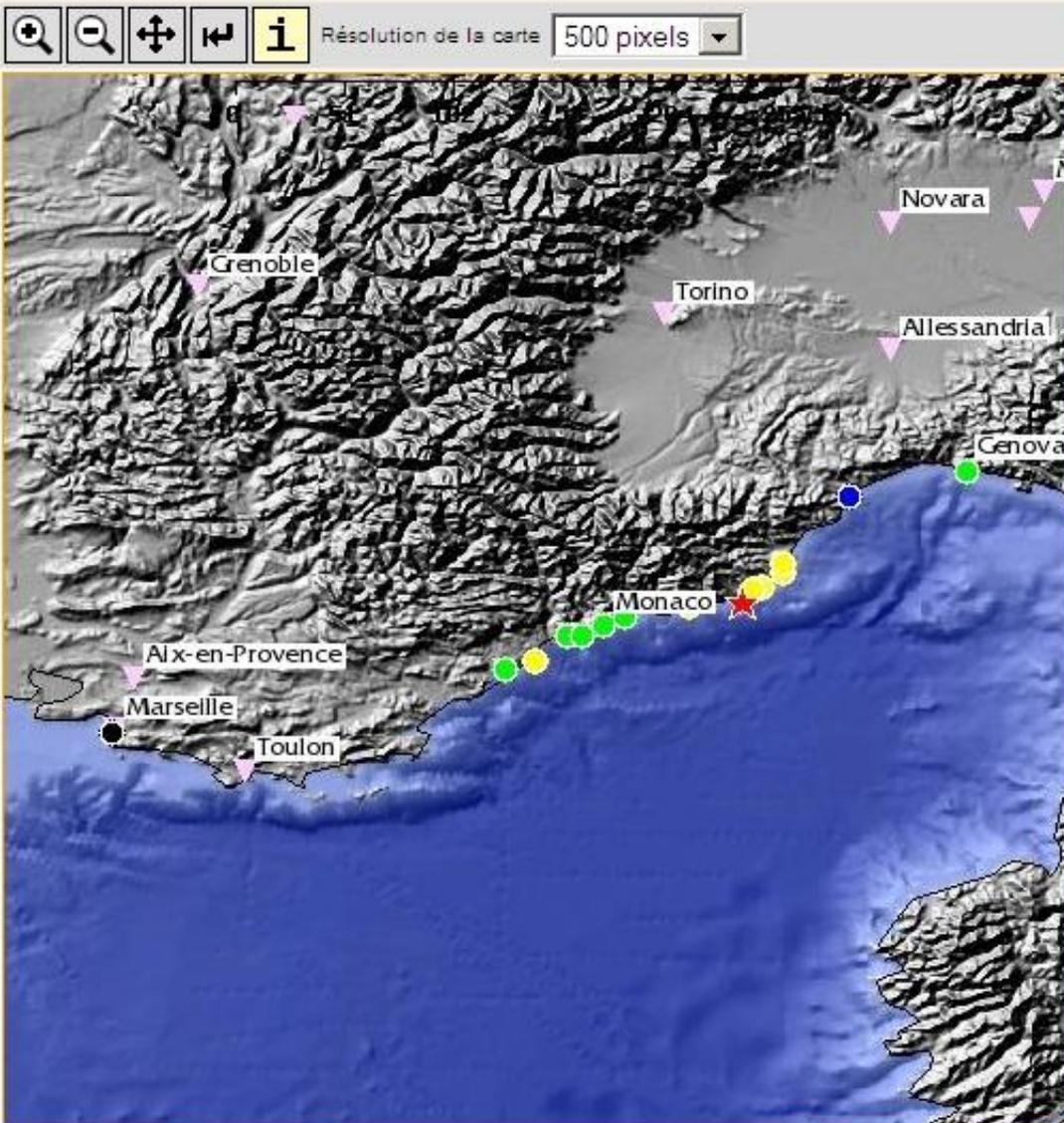
Lieu : Ligurie

Région de l'évènement : Mer Méditerranée

Intensité du tsunami : 3.0

Cause : Séisme

Intensité : selon l'échelle Sieberg-Ambraseys (6 degrés)



[Imprimer la carte](#)

Légende

- Préfectures
- Epicentre du séisme
- Intensité de l'onde**
 - Inconnue
 - Degré 0 : Onde non observée
 - Degré 1 : Onde très légère
 - Degré 2 : Onde légère
 - Degré 3 : Onde assez forte
 - Degré 4 : Onde forte
 - Degré 5 : Onde très forte
 - Degré 6 : Onde désastreuse
- Villes
- Trait de côtes
- Bathymétrie
- M.N.T. (Relief indicatif)(*)
- Scans IGN(*)

(*) Couche invisible à cette échelle

[Couche interrogeable](#)

Echelle de la carte

1 : 3 830 014

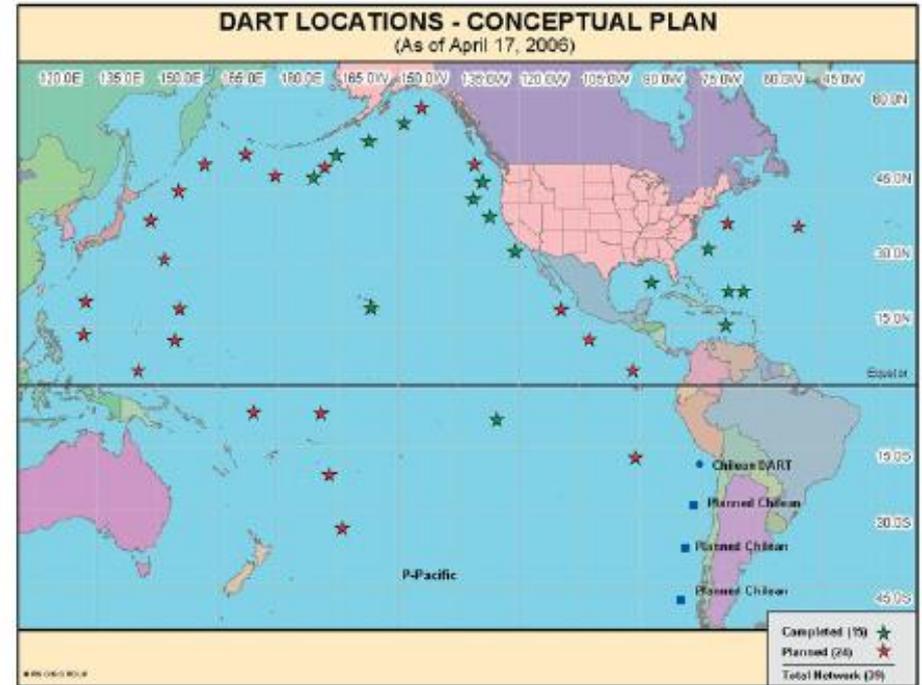
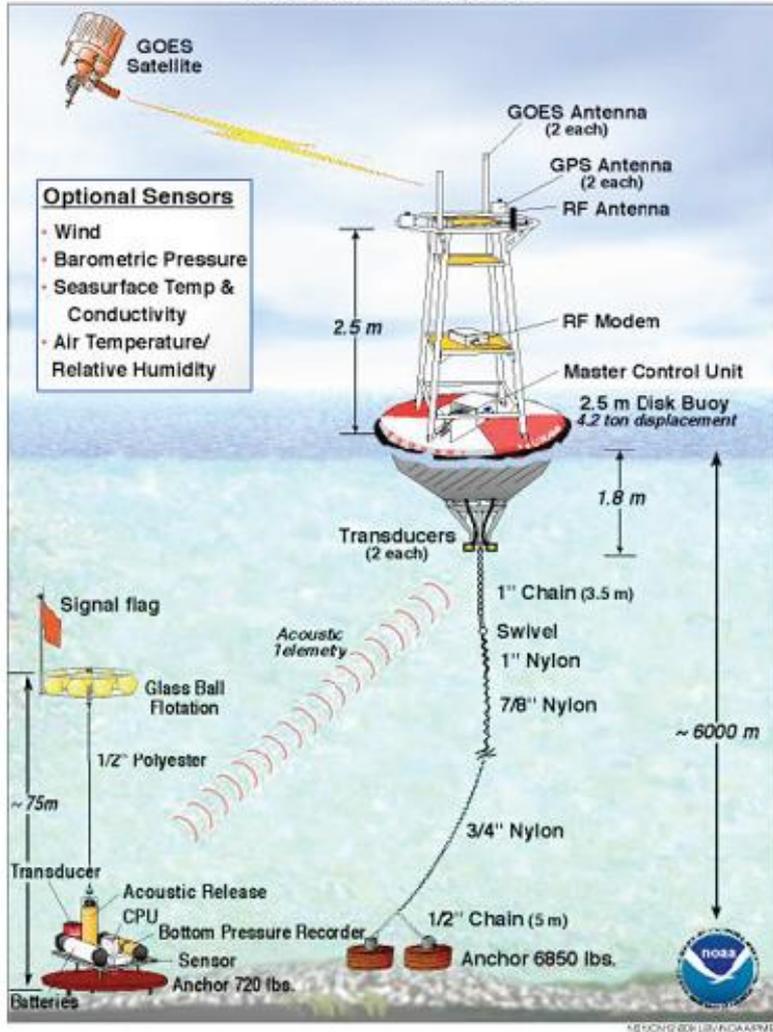
interrogation interactive : un point indique le nom et les coordonnées de la localité concernée, l'intensité et l'indice de fiabilité

- 80 « vrais » tsunamis ayant affecté les côtes françaises (métropole et outre-mer) recensés
- 35 d'origine sismique (dont 23 en Outre-mer),
- 5 gravitaire,
- 7 volcanique,
- 33 inconnue (pour l'essentiel en Manche et Méditerranée)

- 29 concernent la façade méditerranéenne,
- 13 les Caraïbes,
- 13 la Manche-mer du Nord,
- 14 l'océan Pacifique,
- 5 l'océan Indien
- 6 l'océan Atlantique.

Enregistrements actuels : tsunamimètres

DART Mooring System



- capteur de pression posé au fond, mesure indirecte de la hauteur d'eau
- transmission des données par câble puis satellite
- 5 au Japon, 6 en Caraïbes, 5 dans l'Océan Indien, plus d'une trentaine dans le Pacifique.

Enregistrements actuels : marégraphes

- Installés au niveau des ports
- Inefficace pour les tsunamis en champ proche

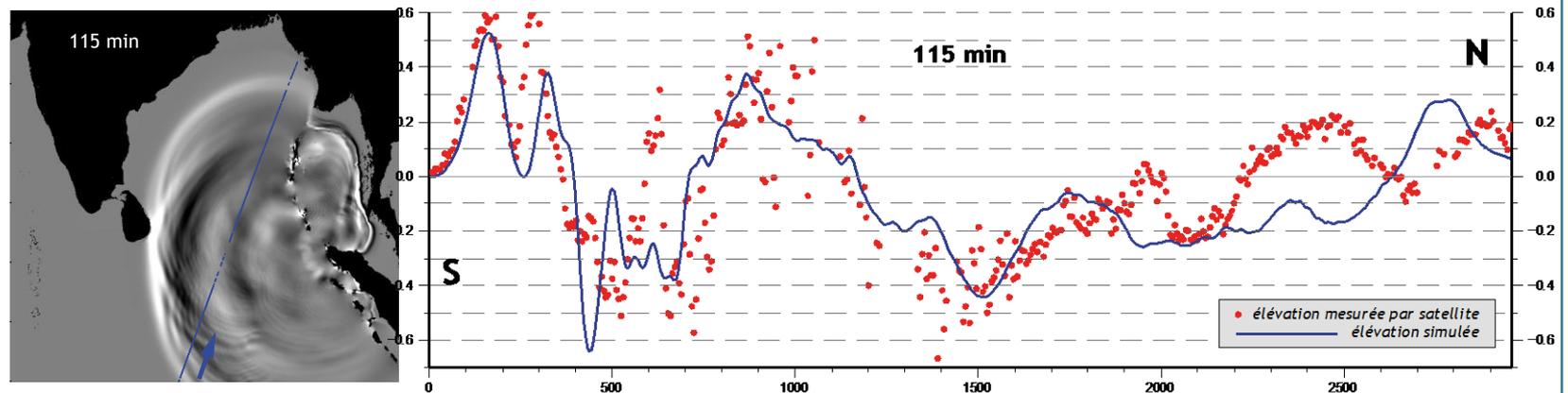


<http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/>

Géosciences pour une Terre durable
brgm

R& D : l'observation spatiale

les altimètres embarqués dans les satellites Jason et Topex-Poséidon permettent dans certaines configurations de **mesurer la hauteur et la longueur d'onde des tsunamis en haute mer**

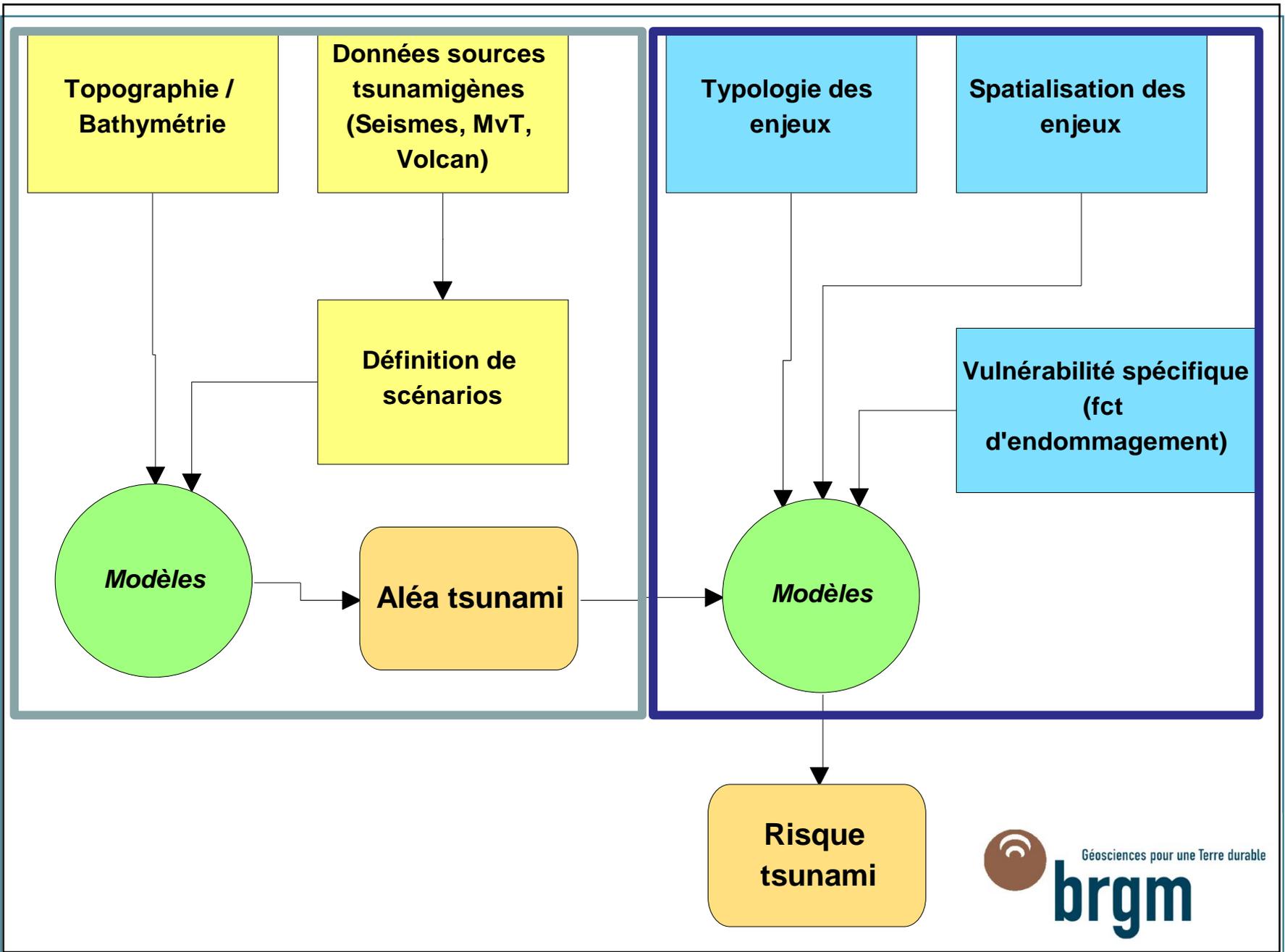


Tsunami de l'océan indien, 2004 :

- 2 heures après le séisme : les satellites altimétriques Jason-1 et Topex/Poséidon, passent au dessus de la zone,
- 3 heures 20 pour Envisat.

Cette coïncidence a permis d'observer l'élévation du niveau de la mer due au tsunami.

3 - De l'aléa au risque : Simulation des événements par modélisations numériques



De l'aléa au risque : Démarche

- 1) Analyse et caractérisation des sources tsunamigènes** (sismique, glissement de terrain...) a priori les plus impactantes pour la côte considérée
- 2) Simulation des événements** par modélisations numériques (génération, propagation, submersion).
- 3) Modélisation des impacts** du tsunami intensité forte à modérée (dommages au bâti + préjudices humains)

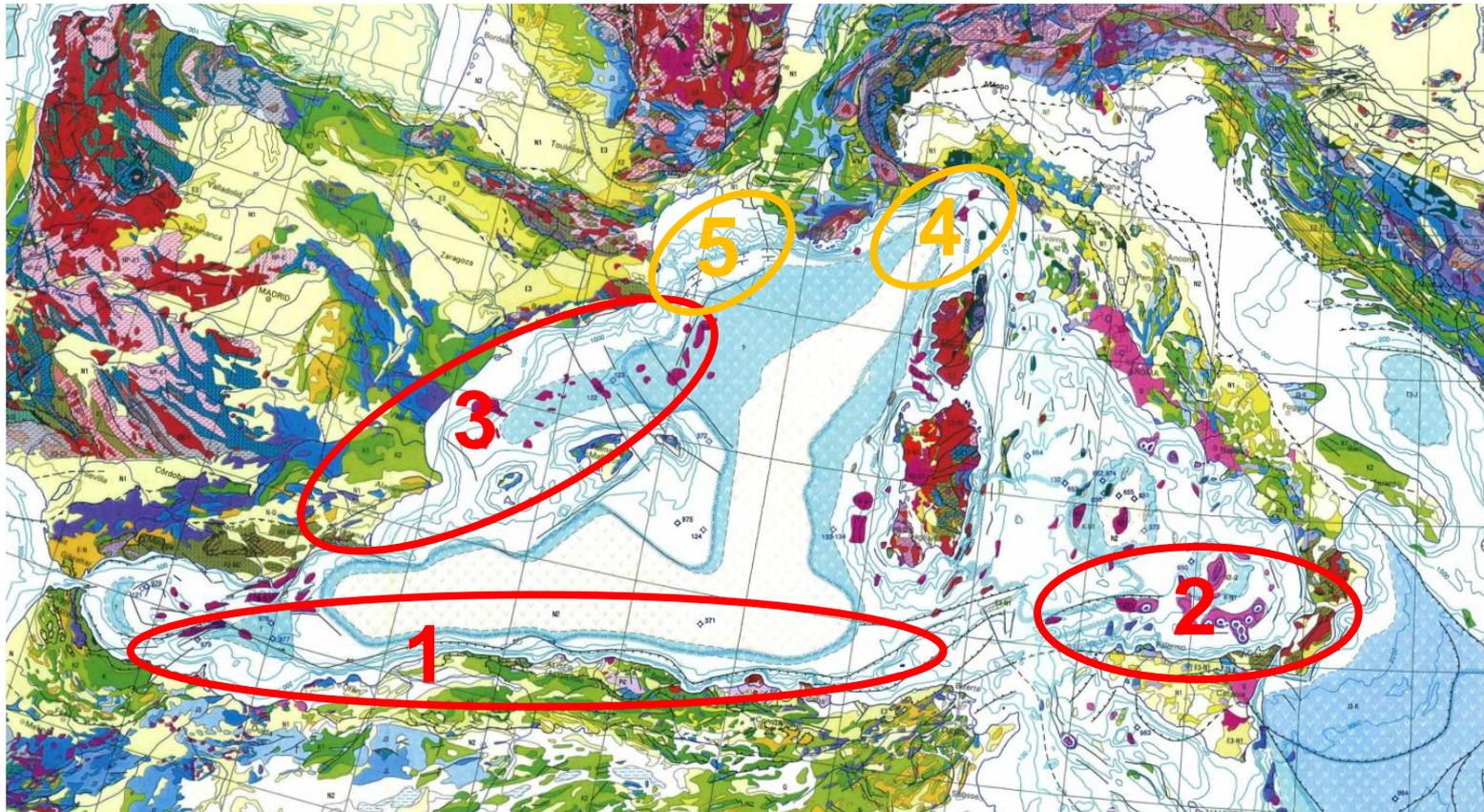
De l'aléa au risque : Démarche

1) **Analyse et caractérisation des sources tsunamigènes** (sismique, glissement de terrain...) a priori les plus impactantes pour la côte considérée

- recherche des événements historiques
- Caractérisation des zones sources

Exemple du sud de la France

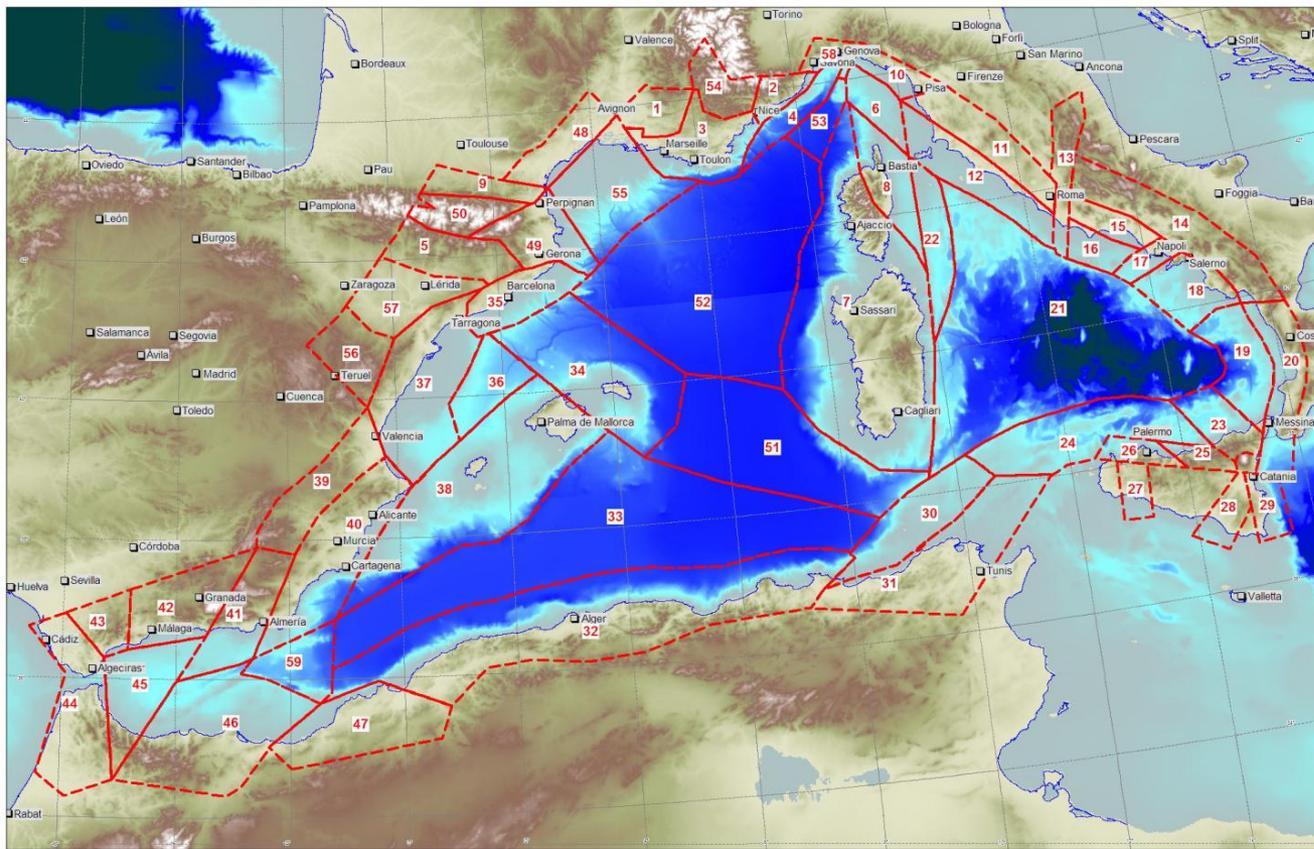
- > **Sources lointaines** : séismes du Nord du Maghreb (1), Sicile (2), NE, cordillère bétique (3)
- > **Sources proches** : séismes mer ligure, mouvements de terrain de la mer ligure (4), et du golfe de Lion (5)



zonage sismique à 1:2 000 000 de la Méditerranée occidentale

Pour chaque zone sismique :

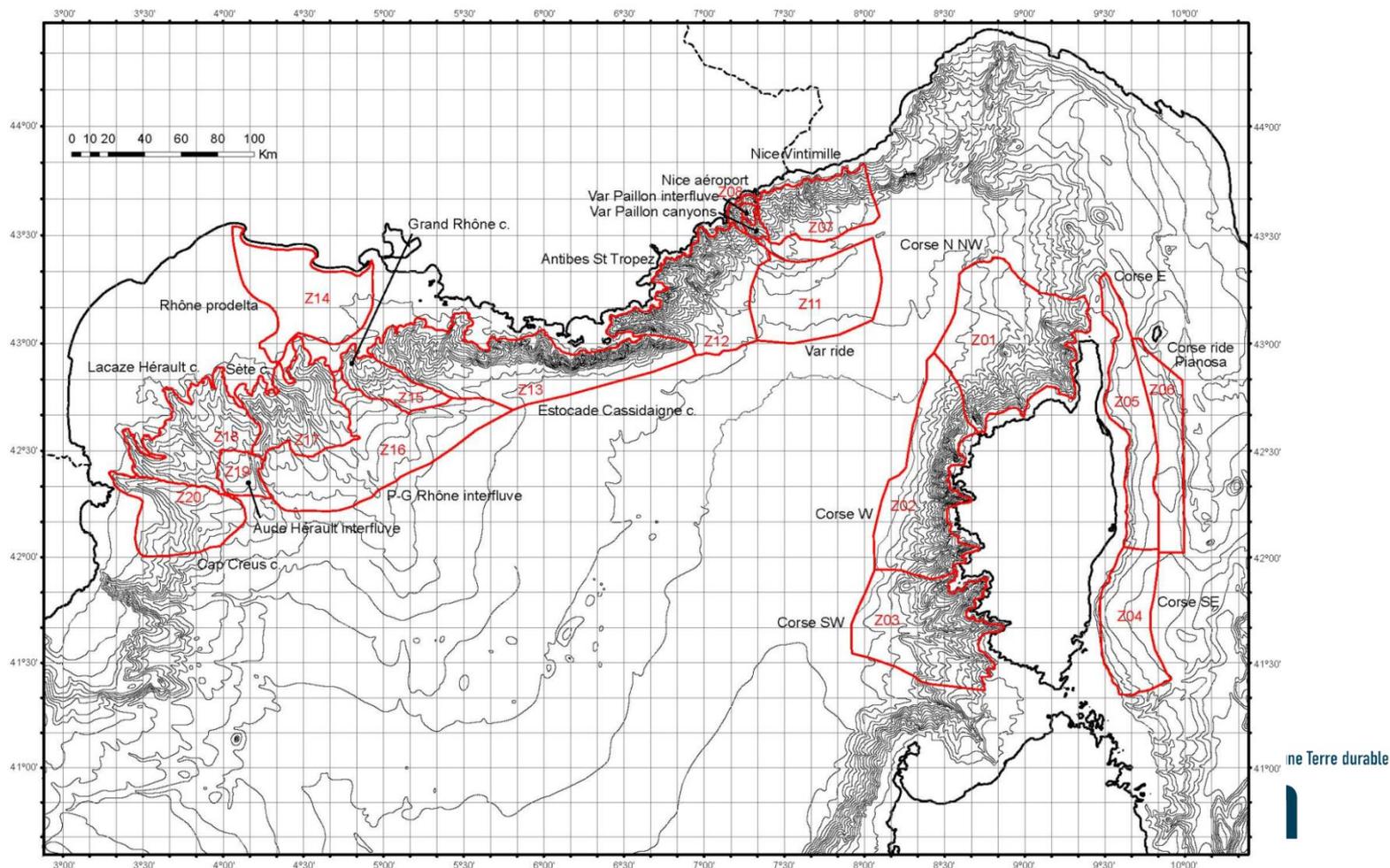
- 1) principales **caractéristiques tectoniques et sismiques**,
- 2) **valeurs du séisme maximal** retenues pour l'étude (magnitude, dimensions du plan de faille rompu, glissement).



n° zone	nom	mécanisme	Mmax	pm MAX_moyen			pm MAX_max		
				rejet (en m)	longueur (en km)	largeur (en km)	rejet (en m)	longueur (en km)	largeur (en km)
1	Provence nord occidentale	inverse, failles EW	6.5	0.6	22	11	1.2	31	15
2	Alpes maritimes	senestre NE-SW, dextre NW-SE	6.8	0.8	37	15	1.5	51	20
3	Provence sud-occidentale	décrochant senestre NE-SW, inverse EW	5.6	0.1	7	6	0.2	10	8

zonage instabilités gravitaires sous marines (prestation IFREMER)

Pour chaque zone, définition d'un glissement de référence (dynamique, volume maximal) de période de retour quelques centaines années à quelques milliers d'années.



De l'aléa au risque : Démarche

- 1) **Analyse et caractérisation des sources tsunamigènes** (sismique, glissement de terrain...) a priori les plus impactantes pour la côte considérée
- 2) **Simulation des événements** par modélisations numériques (génération, propagation, submersion).

Trois tsunamis historiquement survenus dans la zone étudiée ont été simulés :

- > séisme de Boumerdès, 2003,
- > séisme de mer Ligure, 1887
- > glissement de terrain (aéroport de Nice), 1979

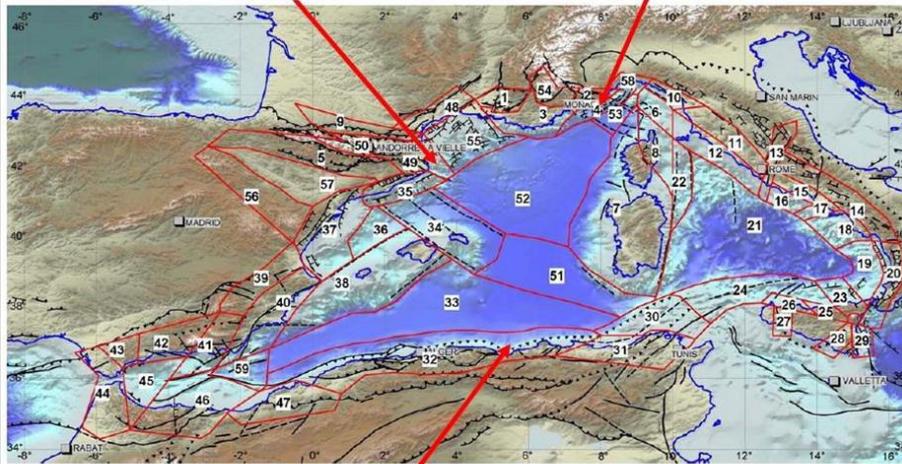
tsunamis majeurs plausibles, fictifs, simulés :

Propositions de scénarios

Zone 49 : bassin de l'Ampurdan, Mmax = 6,7, jeu normal

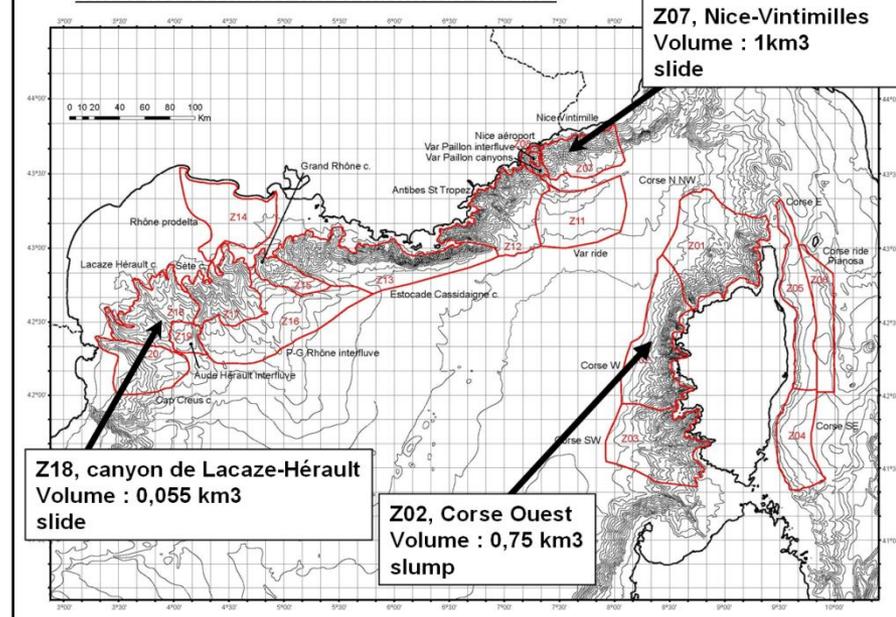
Sources sismiques

Zone 4, marée Nord ligure, Mmax = 6,8, jeu normal



Zone 32 : Tell et marge nord algérienne, Mmax = 7,8, jeu inverse

Choix des scénarios mouvements de terrain :



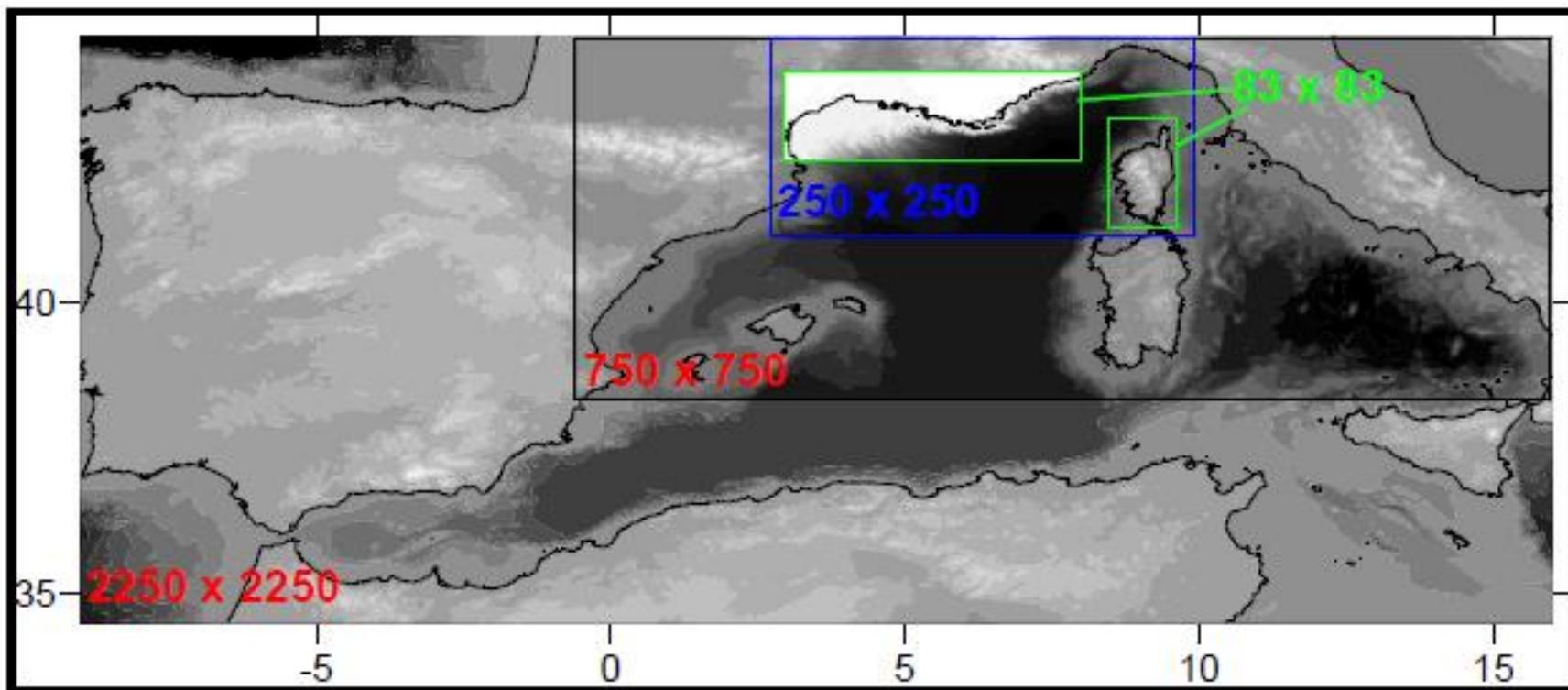
**Z07, Nice-Vintimilles
Volume : 1km3
slide**

**Z18, canyon de Lacaze-Hérault
Volume : 0,055 km3
slide**

**Z02, Corse Ouest
Volume : 0,75 km3
slump**

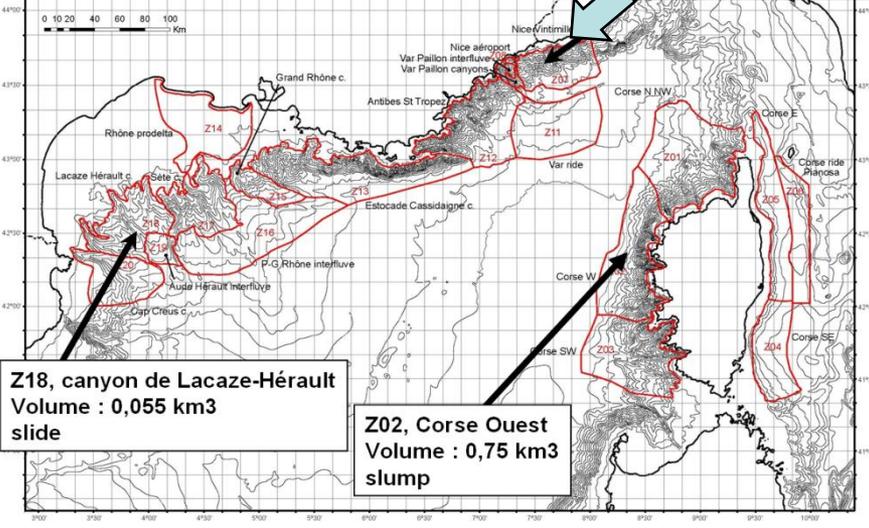
construction des grilles nécessaires aux simulations

Emboitement de 5 MNT allant des résolutions de 2250x2250 m à 83x83 m.



Choix des scénarios mouvements de terrain :

Z07, Nice-Vintimilles
Volume : 1km³
slide

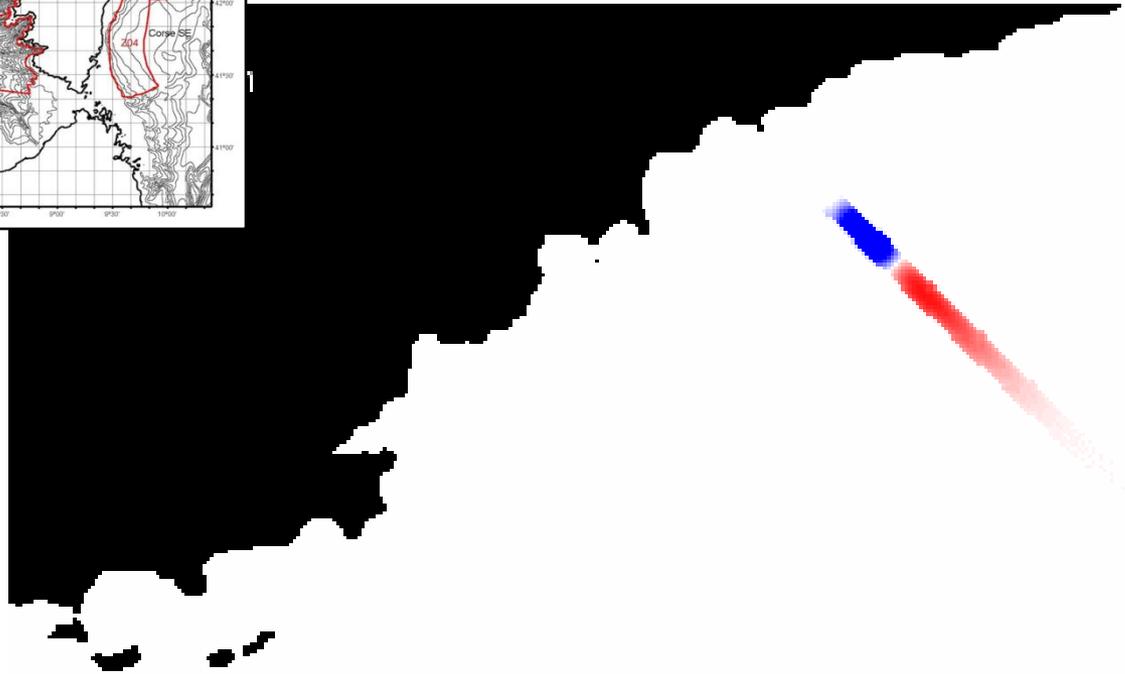


Z18, canyon de Lacaze-Héroult
Volume : 0,055 km³
slide

Z02, Corse Oest
Volume : 0,75 km³
slump

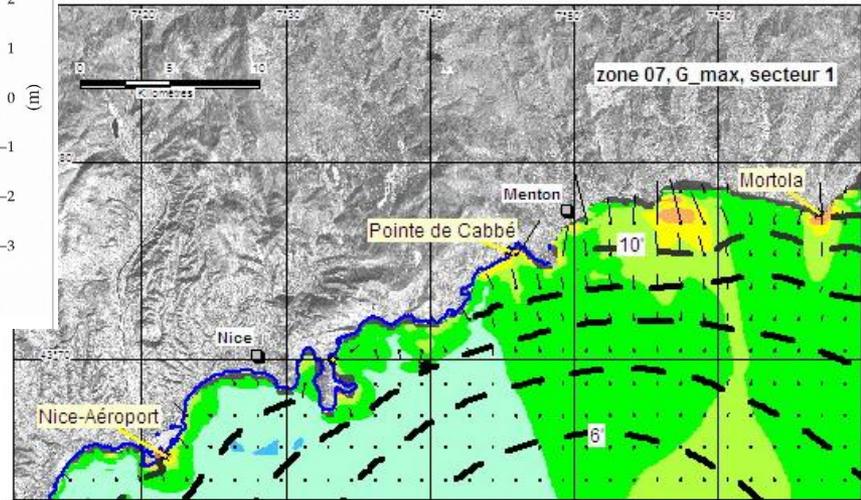
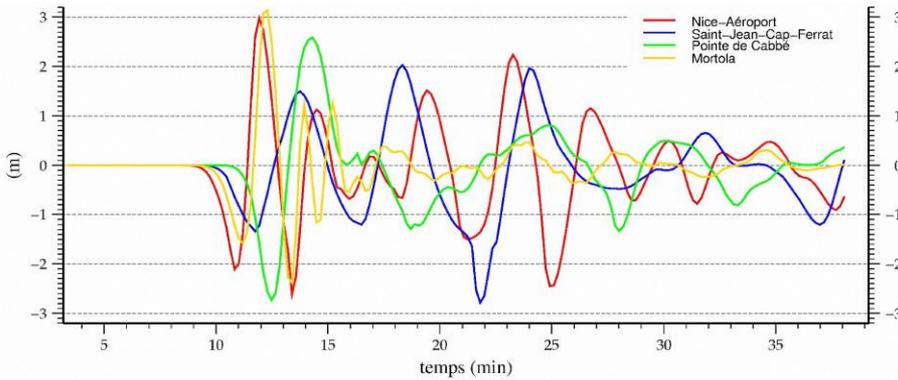
Exemple : zone « Nice-Vintimille »

simulation du scénario de glissement,
v= 1km³



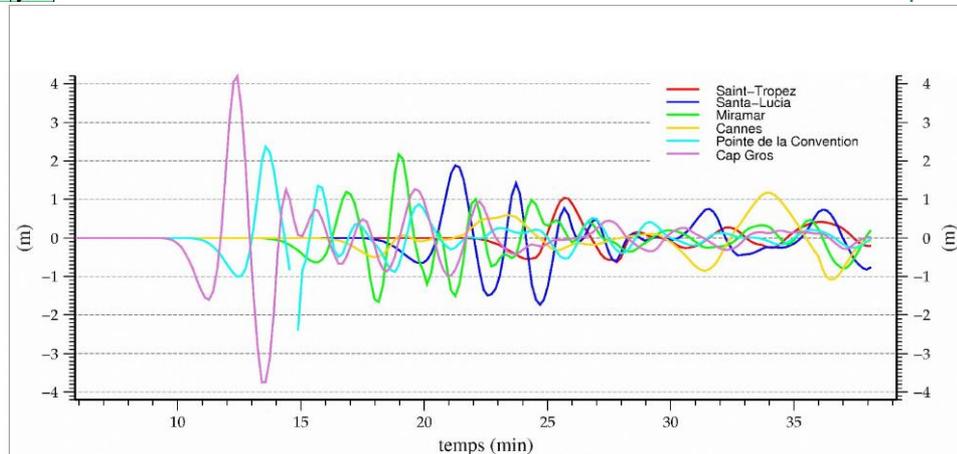
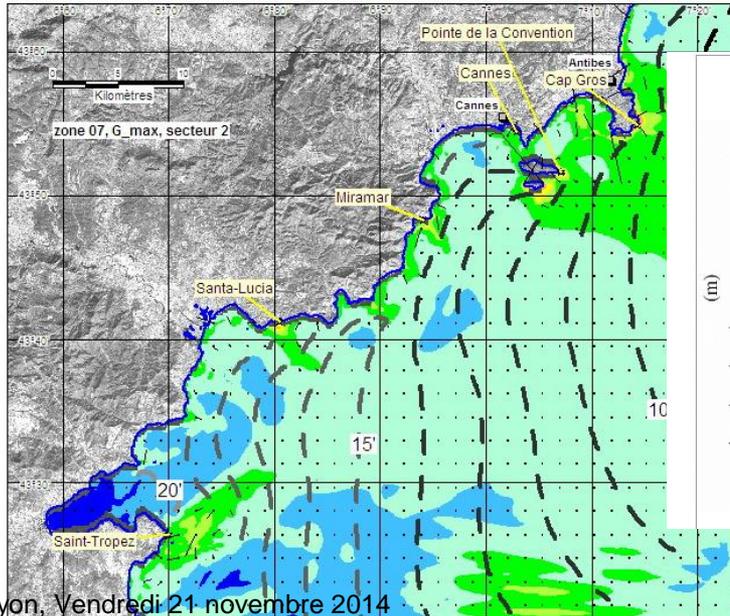
pour chaque simulation, indication de l'amplitude des vagues au rivage, du temps d'arrivée de la première onde, de la direction du tsunami

Z07, Nice-Vintimilles, Volume : 1km3, slide

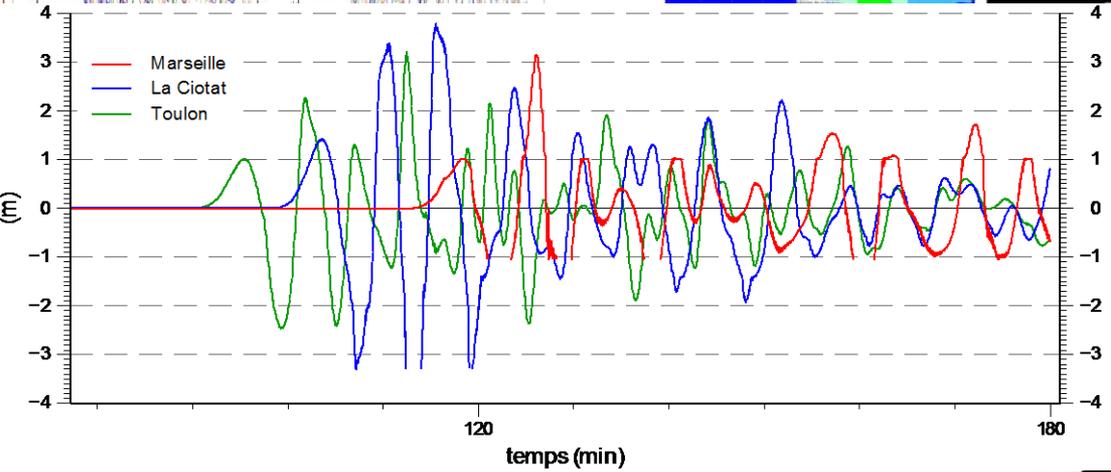
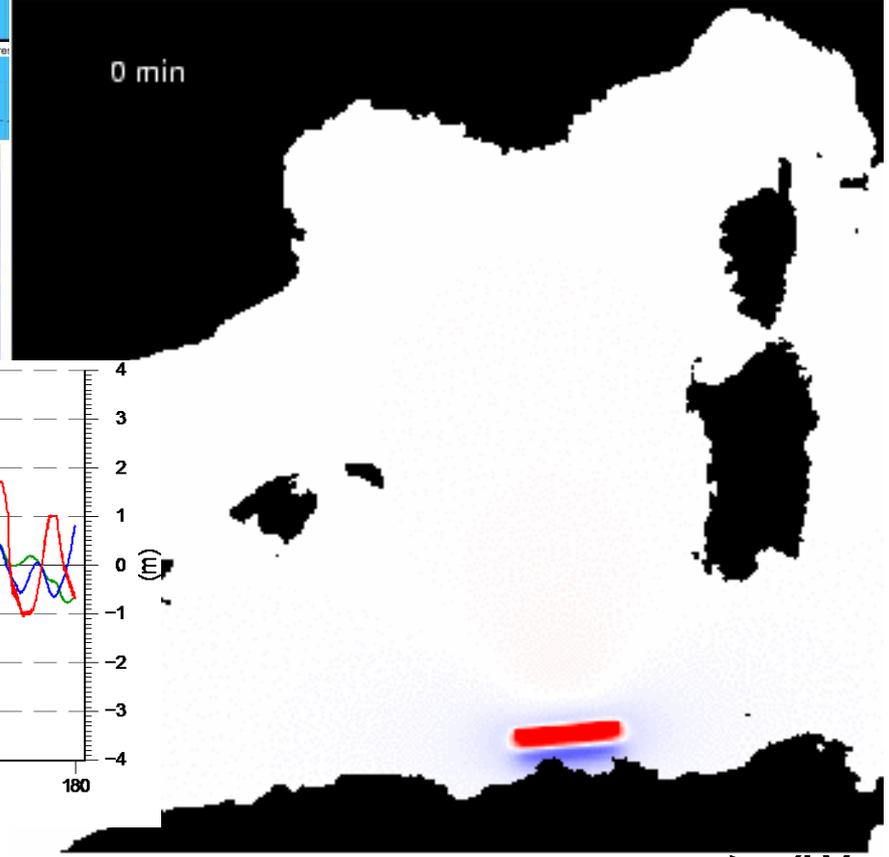
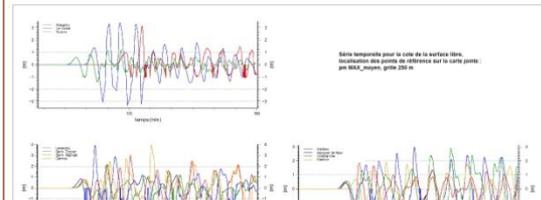
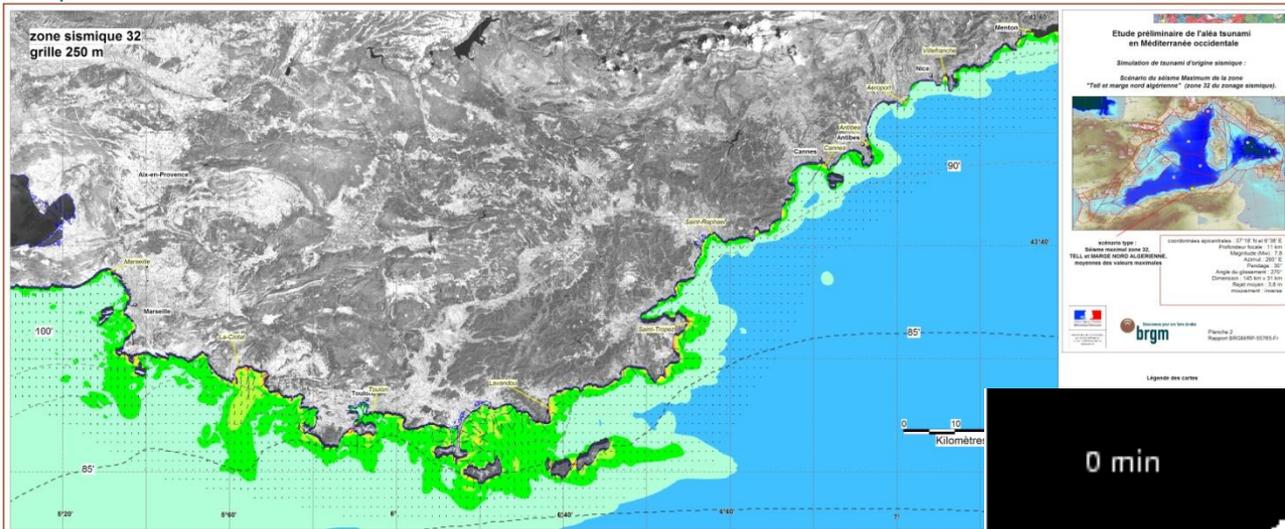


en mer (-0m à l'origine) : amplitude de la crête de la vague
à terre (+0 m à l'origine) : altitude terrestre + épaisseur de l'eau

- > 6 m
- entre 5 m et 6 m
- entre 4 m et 5 m
- entre 3 m et 4 m
- entre 2 m et 3 m
- entre 1,5 m et 2 m
- entre 50 cm et 1m
- entre 20 et 50 cm
- inférieure à 20 cm



Autre exemple : séisme maximal « Tell et marge Nord Algérienne », M 7,8



Etude de cas, sud de la France, évènements majeurs : résultats

- ➔ Pour des tsunamis d'origine sismique, **nord Maghreb** : des **amplitudes supérieures à 3 m** en plusieurs points proche du littoral Provence-Alpes-Côte d'Azur, avec un temps d'arrivée d'environ **1h30' après le séisme**.
- ➔ Pour un **séisme proche** localisé au large de la côte d'Azur : des **amplitudes de plus de 2 m** à proximité du littoral, et ce avec un temps d'arrivée de moins de **15' après le séisme**.
- ➔ Vingt cas de **mouvements gravitaires sous-marins** (dont 1 cas historique) ont été préalablement testés sur leur capacité à générer des tsunamis. Parmi ceux-ci, trois ont été retenus. Ils indiquent : la **possibilité de vagues de quelques mètres dans des secteurs ponctuels de la côte** (Côte d'Azur, mais aussi LRO).

De l'aléa au risque : Démarche

- 1) **Analyse et caractérisation des sources tsunamigènes** (sismique, glissement de terrain...) a priori les plus impactantes pour la côte considérée
- 2) **Simulation des événements** par modélisations numériques (génération, propagation, submersion).

3) Modélisation des impacts du tsunami :

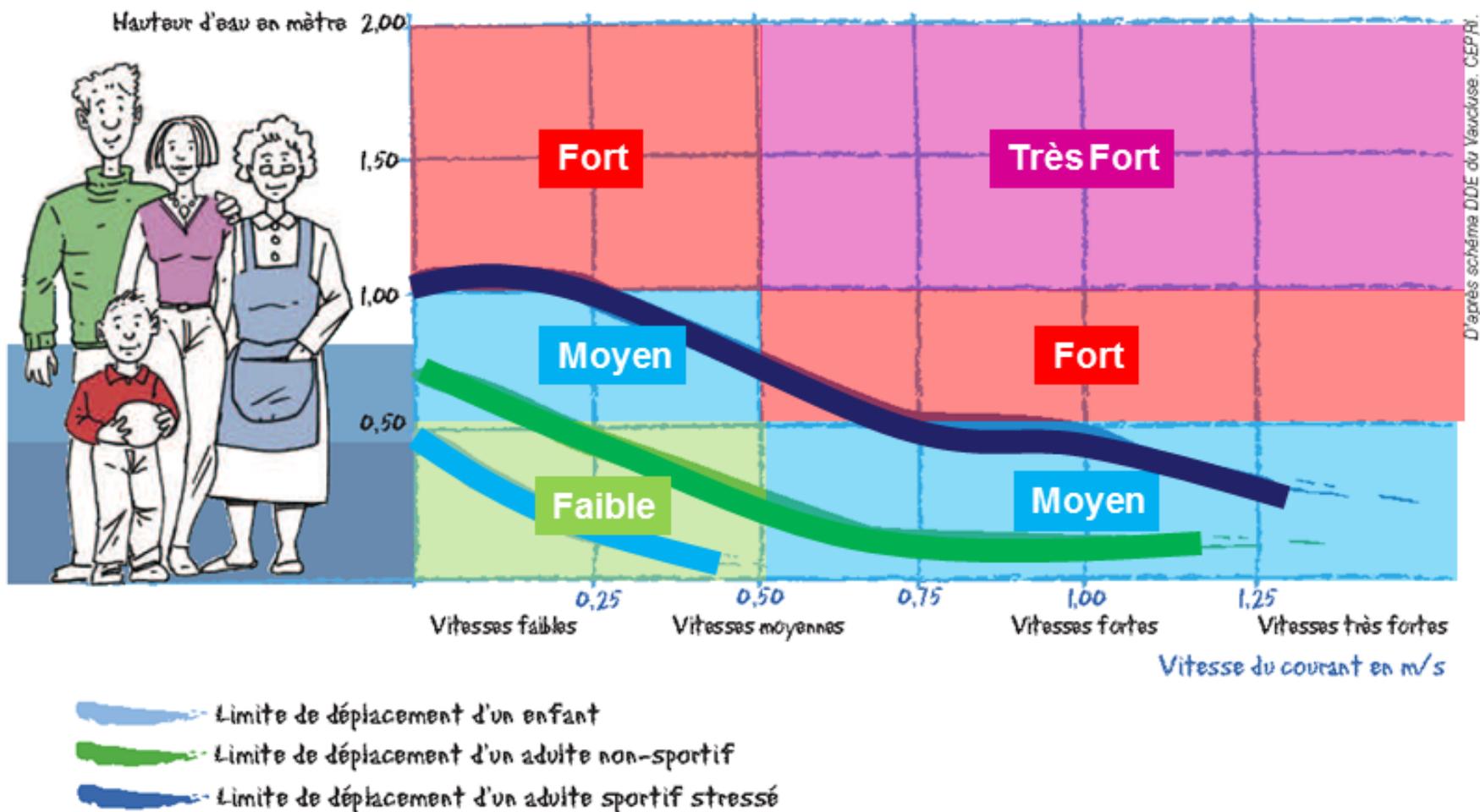
- Nécessité de caractériser l'inondation (hauteur, vitesse) : simulation à l'échelle locale
- Prise en compte des infrastructures
- Connaissance des enjeux et de leur vulnérabilité
- Etudes focalisées sur des secteurs d'extension limitées (fonction de l'aléa régional et des enjeux)

Vulnérabilité de la population

- L'évaluation de la vulnérabilité humaine dépend schématiquement de la **capacité des personnes à se défendre** (via notamment sa capacité à se déplacer) ou à résister à une inondation
- L'agression est exprimée par le couple de valeurs : **hauteur d'inondation et vitesse du courant**
- Selon la localisation des personnes au moment du tsunami, l'analyse distingue :
 - La population à l'**extérieur** des bâtiments (plages, corniches)
 - La population à l'**intérieur** des bâtiments

Population en dehors des bâtiments

Limite de capacité à se déplacer dans l'eau, inspirée des PPRI

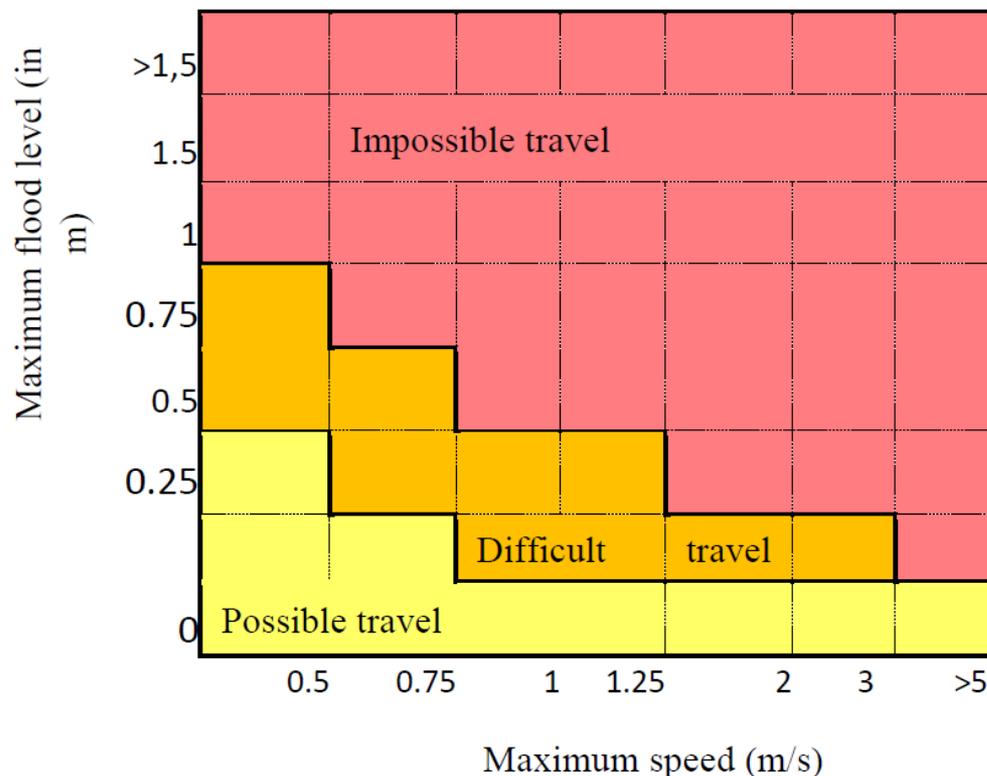


D'après schéma DDE du Vaucluse, CEPRI.

Population en dehors des bâtiments

Courbe simplifiée :

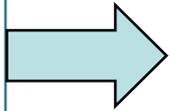
Grâce à cette limite, il est possible d'**identifier**, au cours du temps que va durer l'inondation, **les zones où les personnes peuvent résister au flux** par eux-mêmes ou non.



Sur la population incapable de se déplacer, un **taux de mortalité ou de graves préjudices de 10% est retenu**

Population à l'intérieur des bâtiments

En cas de tsunami, doit-on considérer le bâtiment comme un **piège** ou un **refuge** ? Vaut-il mieux être dedans ou dehors ?



L'analyse en retour des événements historiques et contemporains montrent que **hors tsunami généré par un séisme proche** (vibration fortement ressentie) dans tous les cas, il vaut mieux **être dedans (hors sous-sol)** que dehors.

Population à l'intérieur des bâtiments

Typologie du bâti, en fonction du nombre d'étages et de la transparence du RDC, **exemple du sud de la France** :

Type 1.

plusieurs niveaux + RDC transparent (magasins, baies vitrées) qui favorisent l'entrée de l'eau au RDC.



Type 2.

plusieurs niveaux + RDC fermé (les murs protègent de l'impact de la vague).



Type 3.

un seul niveau transparent.



Type 4.

un seul niveau fermé (les murs protègent de l'impact de la vague).



Urgit

Matrices d'exposition en fonction du type de bâti

- **Niveau 0**, bâtiment non inondé.
- **Niveau 1**, bâtiment inondé, mais les personnes peuvent **se déplacer**, abri au 1^{er} étage possible
- **Niveau 1.5**, bâtiment inondé, les personnes pourront **se déplacer, pas de 1^{er} étage**
- **Niveau 2**, bâtiment inondé, la population du RDC est **emportée/piégée**.
 - sous-sols (caves et parkings): niveau 2 dès que l'inondation les atteint.
 - Pour la population en niveau 2: ratio de mortalité de 4% (cf Guha-Sapir, 2006).

exemple du sud de la France



Maximum flood level (in m)	H >1,5	2	2	2	2	2	2	2	2
	1 to 1.5	2	2	2	2	2	2	2	2
	0.5 to 1	1	2	2	2	2	2	2	2
	H <0,5	1	1	1	1	2	2	2	2
Building of type 1 or 3		< 0.5	0.5 to 0.75	0.75 to 1	1 to 1.25	1.25 to 2	2 to 3	3 to 5	>5
Open ground floor		Maximum speed (m/s)							



Maximum flood level (in m)	H >1,5	2	2	2	2	2	2	2	2
	1 to 1.5	1	1	1	1	1	2	2	2
	0.5 to 1	1	1	1	1	1	2	2	2
	H <0,5	1	1	1	1	1	1	1	1
Building of type 2		< 0.5	0.5 to 0.75	0.75 to 1	1 to 1.25	1.25 to 2	2 to 3	3 to 5	>5
Close ground floor, and several storied building		Maximum speed (m/s)							



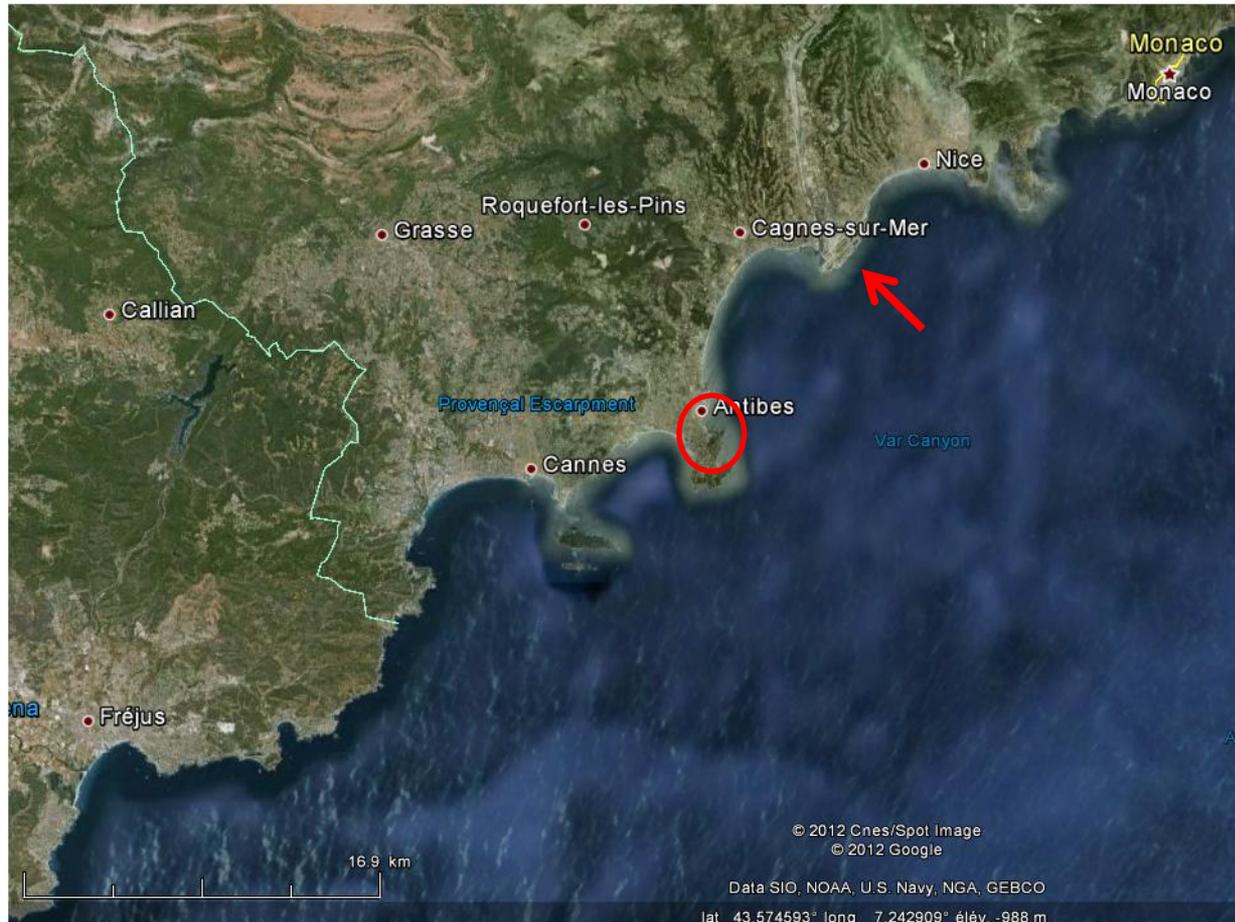
Maximum flood level (in m)	H >1,5	2	2	2	2	2	2	2	2
	1 to 1.5	2	2	2	2	2	2	2	2
	0.5 to 1	1	2	2	2	2	2	2	2
	H <0,5	1	1	1	1	2	2	2	2
Building of type 1 or 3		< 0.5	0.5 to 0.75	0.75 to 1	1 to 1.25	1.25 to 2	2 to 3	3 to 5	>5
Open ground floor		Maximum speed (m/s)							



Maximum flood level (in m)	H >1,5	2	2	2	2	2	2	2	2
	1 to 1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2	2	2
	0.5 to 1	1	1.5	1.5	1.5	1.5	2	2	2
	H <0,5	1	1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2
Building of type 4		< 0.5	0.5 to 0.75	0.75 to 1	1 to 1.25	1.25 to 2	2 to 3	3 to 5	>5
Closed ground floor, and single storey building		Maximum speed (m/s)							

Evaluation de dommages

Exemple : Évènement de référence : glissement de la plateforme de l'aéroport de Nice, 16 octobre 1979

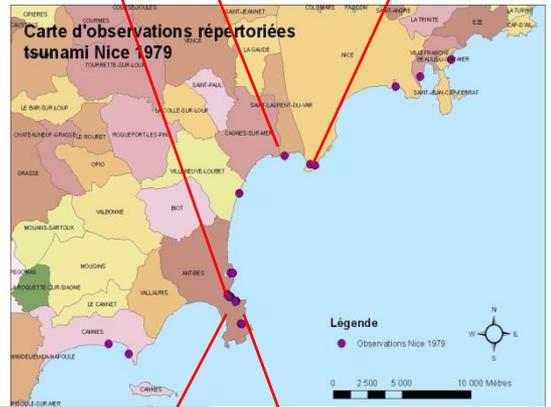


Site d'Antibes (Alpes maritimes) : tsunami type 1979



Nice airport. In yellow, missing platform

Observations historiques:
 Nbx dégâts à Antibes (port de la Salis, 1 mort, 30 blessés graves
 une douzaine de voitures emportées



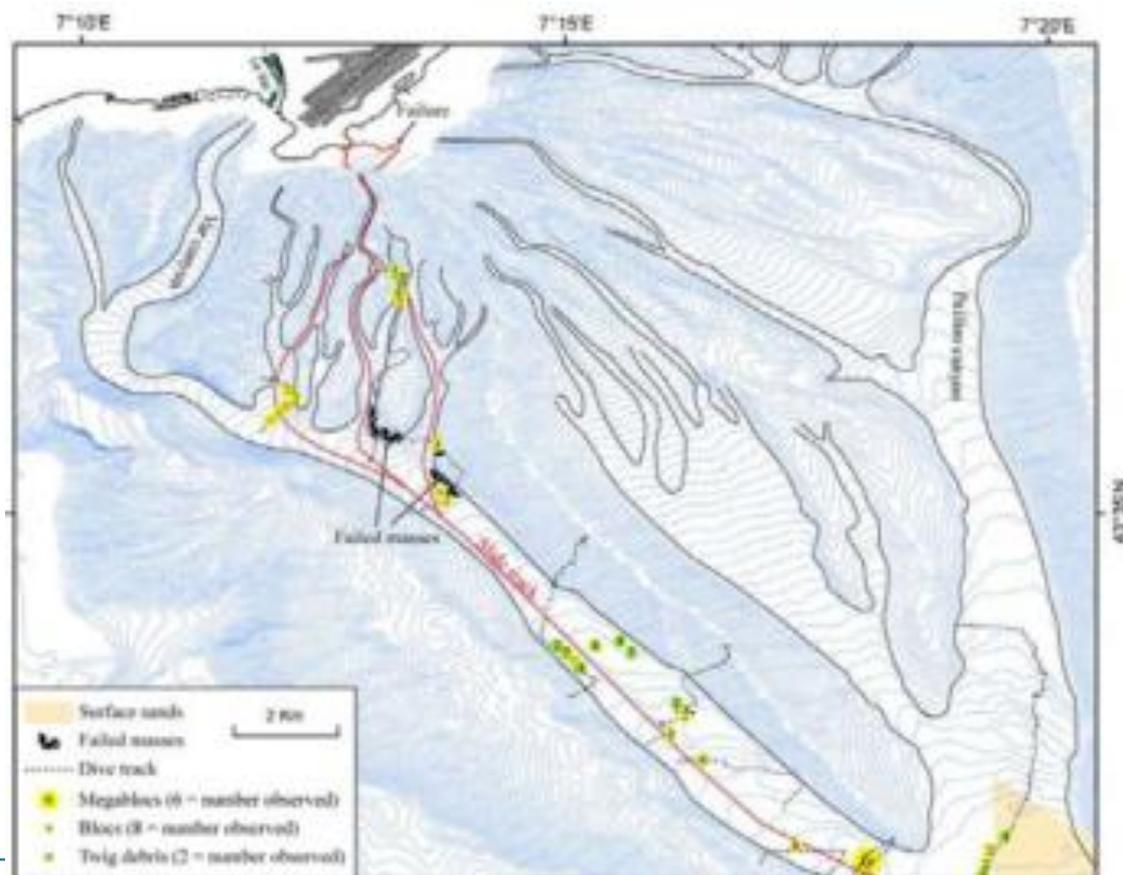
Site d'Antibes (Alpes maritimes) : tsunami type 1979

Caractérisation de la source : travaux Ifremer

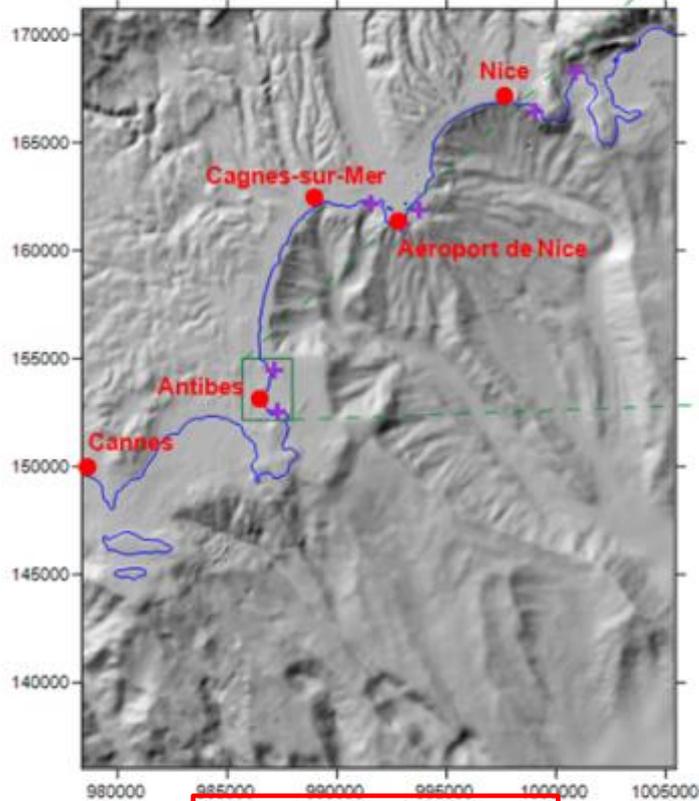
Volume : 10 millions de m³

Densité du matériau : 1,4

Flux de matériau maximal sur la 1^{ère} minute, puis courant de turbidité

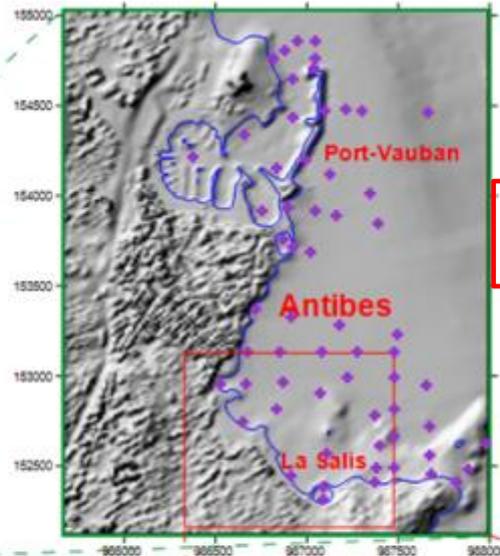


Rangs de calcul successifs



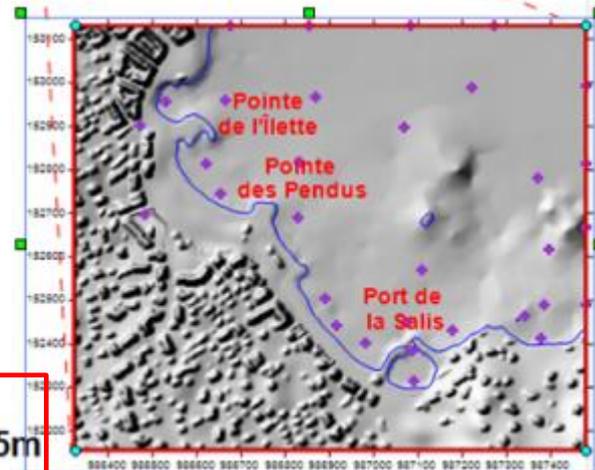
Rang 0 : 45m x 45m

**Génération et propagation du tsunami
GEOWAVE**



**Rang 1 :
15m x 15m**

**Propagation du tsunami
GEOWAVE**



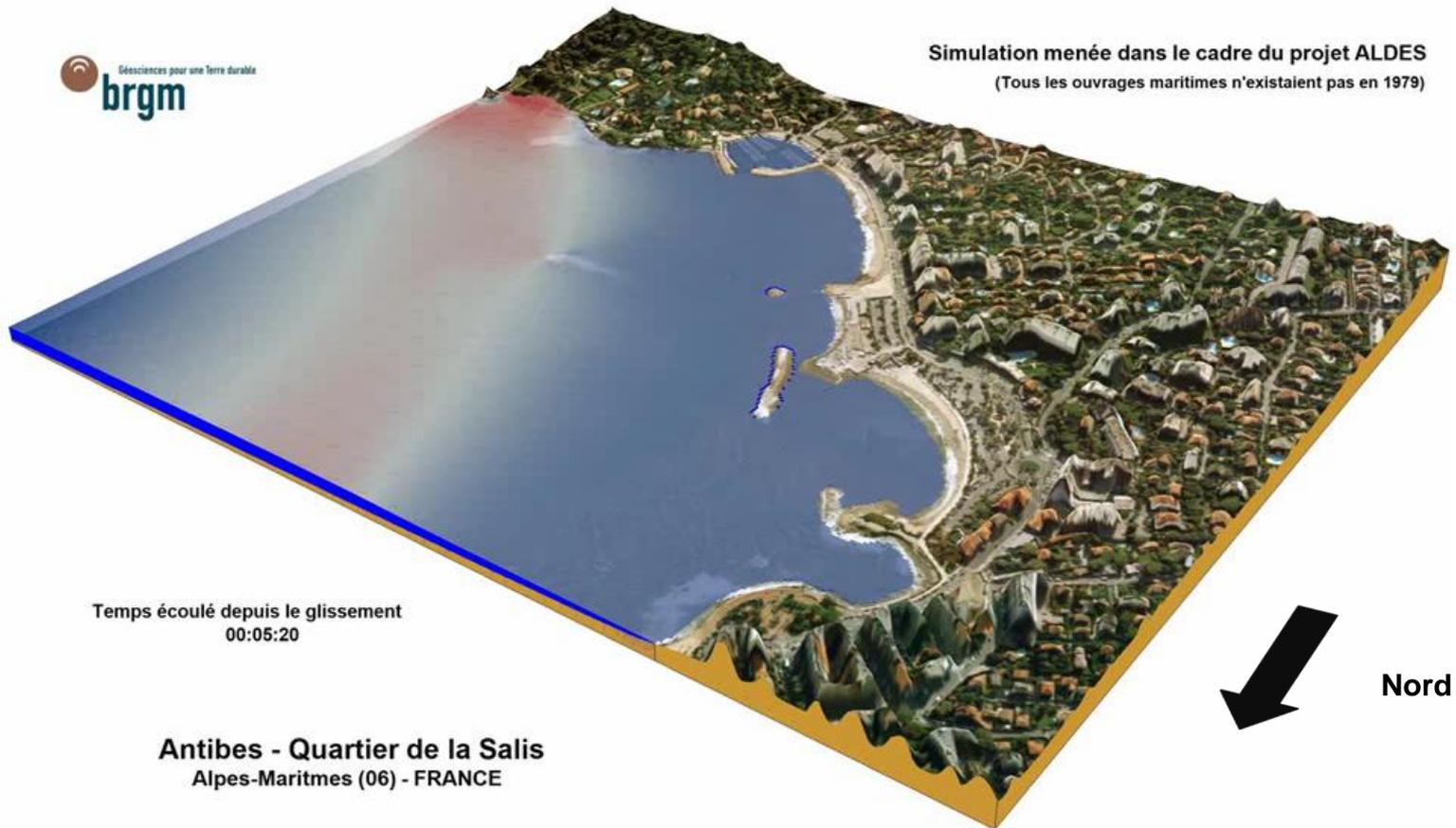
**Rang 2 :
3,75m x 3,75m**

**Submersion à terre
SURFWB**

sur une Terre durable

brgm

Résultats au rang 2 (mailles de 3,75 m)



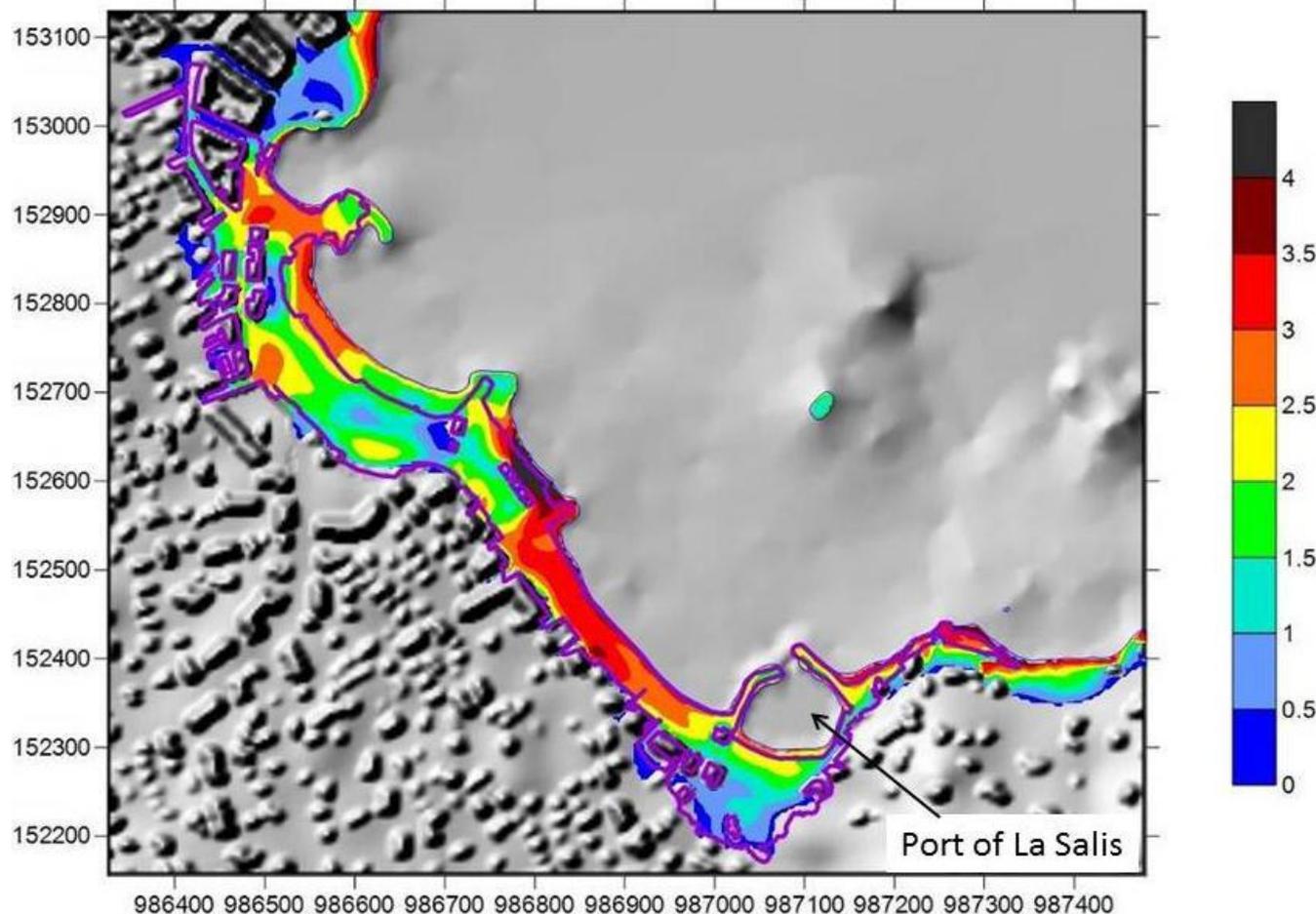
- > prise en compte des constructions et infrastructures côtières dans le calcul du modèle topographique
- > La première vague est la plus importante (hauteurs et vitesses des courants)
- > Front de mer submergé et rues au nord de la zone inondées

Site d'Antibes (Alpes maritimes) : tsunami type 1979

Hauteur maximale du run-up (en m) et localisation des zones inondées

- Moyenne du run-up: 1 à 2.5 m
- Localement, run up: >3 m
- Profondeur maximale d'inondation: 200m au Nord, 110m au port de la Salis

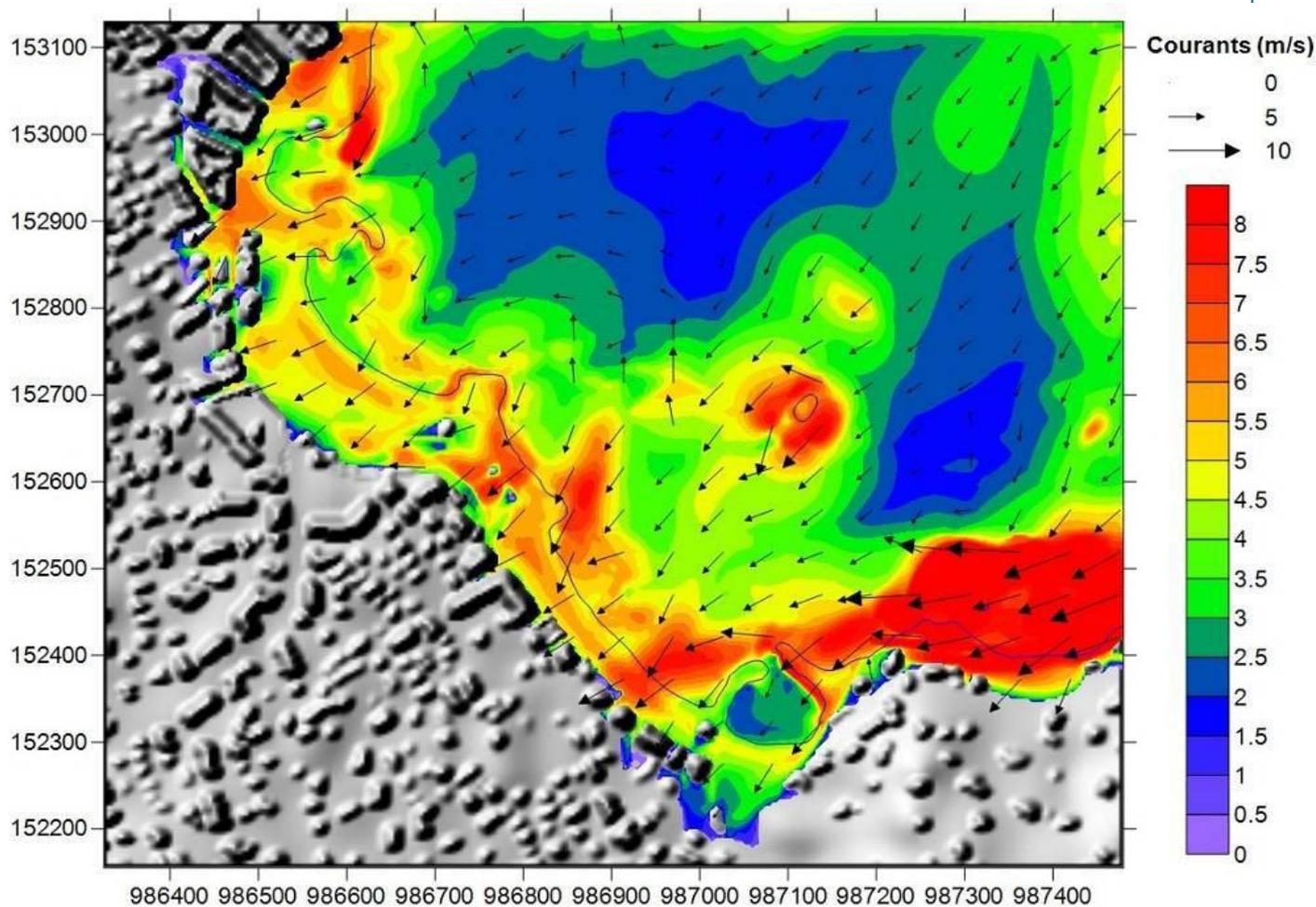
En violet : surimposition des contours observés en 1979 (d'après Sahal and Lemahieu, 2010)



Site d'Antibes (Alpes maritimes) : tsunami type 1979

Vitesse maximale atteinte par les courants (en m/s) et directions

> Valeurs supérieures à 3 m près de la côte



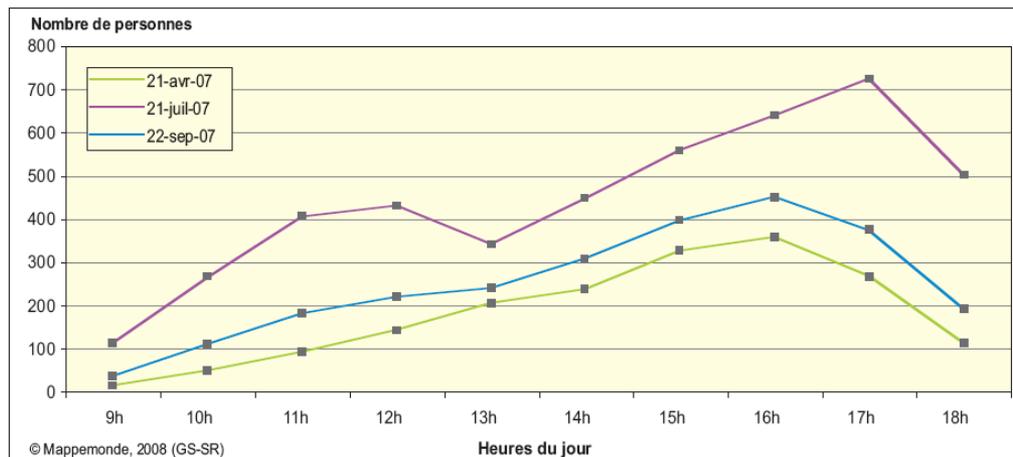
Caractérisation des enjeux

> Milieu bâti (BD topo IGN ©)

- Délimitation individuelle du bâti
- Nombre d'étages
- Estimation fréquentation touristique été / hiver

> Secteurs extérieurs

- Délimitation plages & promenades
- Estimation nb personnes par site été / hiver / jour nuit
- Localisation fréquentation des campings, des ports, des parkings...



Site d'Antibes (Alpes maritimes) : tsunami type 1979

Evaluation des dommages, scenarii avec :

- La distribution et typologie actuelle du bâti,
- La densité de population en 2010, hors/pleine saison

Quatre scenarios :

mi-Janvier 2012 à 2h du matin et 15h.

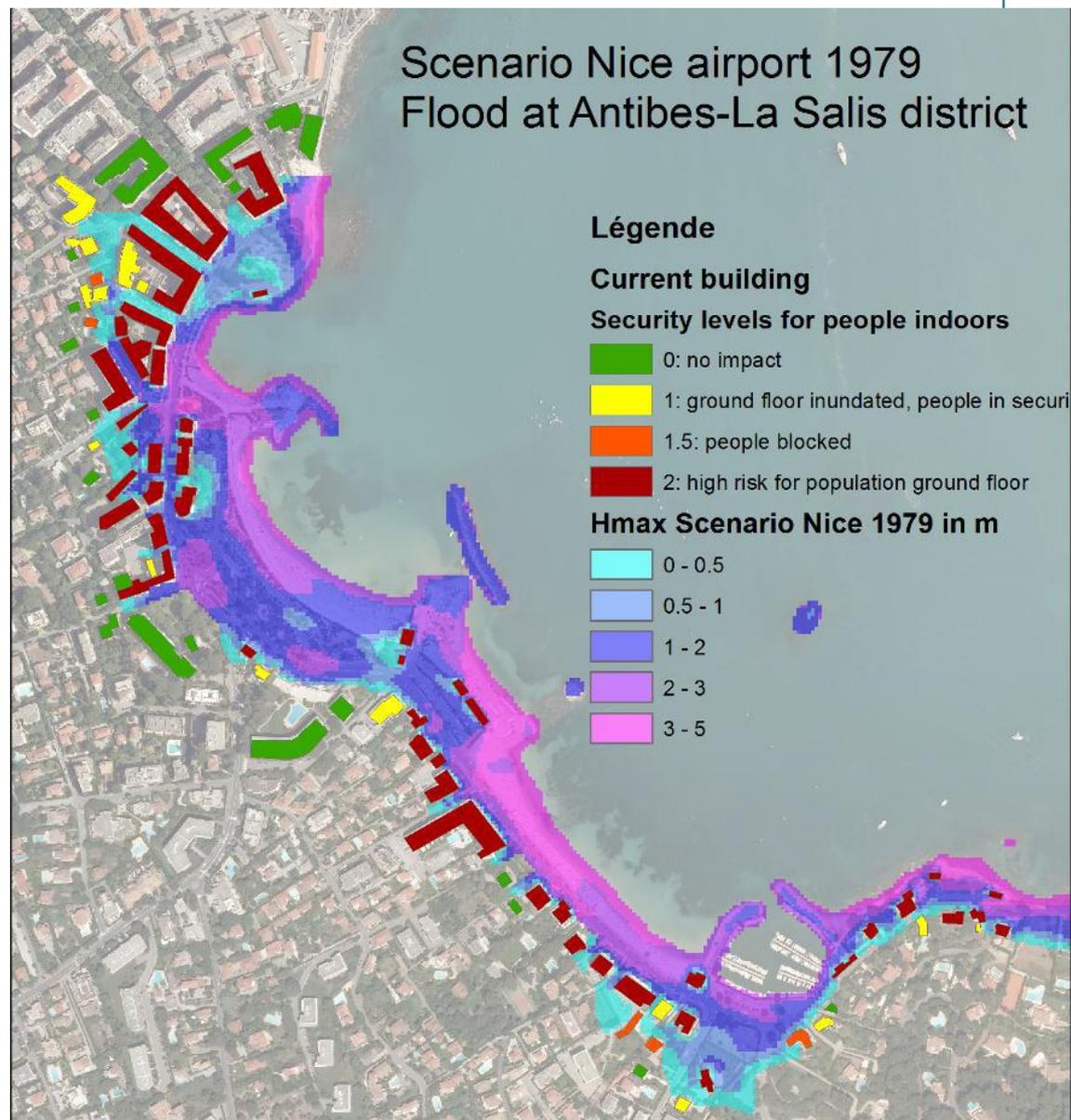
mi-Août 2012 à 2h du matin et 15h.



Site d'Antibes (Alpes maritimes) : tsunami type 1979

sur 68 bâtiments touchés par l'inondation :

- 25 subiraient une hauteur d'inondation supérieure à 0,75m
- Pour 34 bâtiments, la vitesse du courant est supérieure à 1,5m/s
- 42 pourraient subir une exposition de niveau 2 (impossibilité de s'échapper)
- Seuls quelques constructions légères subiraient des dommages.



Site d'Antibes (Alpes maritimes) : tsunami type 1979

Évaluation des préjudices humains à La Salis (Antibes)

Personnes à l'extérieur

Quartier La Salis, tsunami type 1979, personnes à l'extérieur	Personnées incapables de se déplacer	Nb de morts ou graves préjudices
<u>15 août, milieu d'après-midi</u>	2000 à 4000 personnes	200 à 400
<u>15 janvier, milieu d'après-midi</u>	60 à 80 personnes	5 à 10

Personnes à l'intérieur et exposées à un niveau 2

15 août :

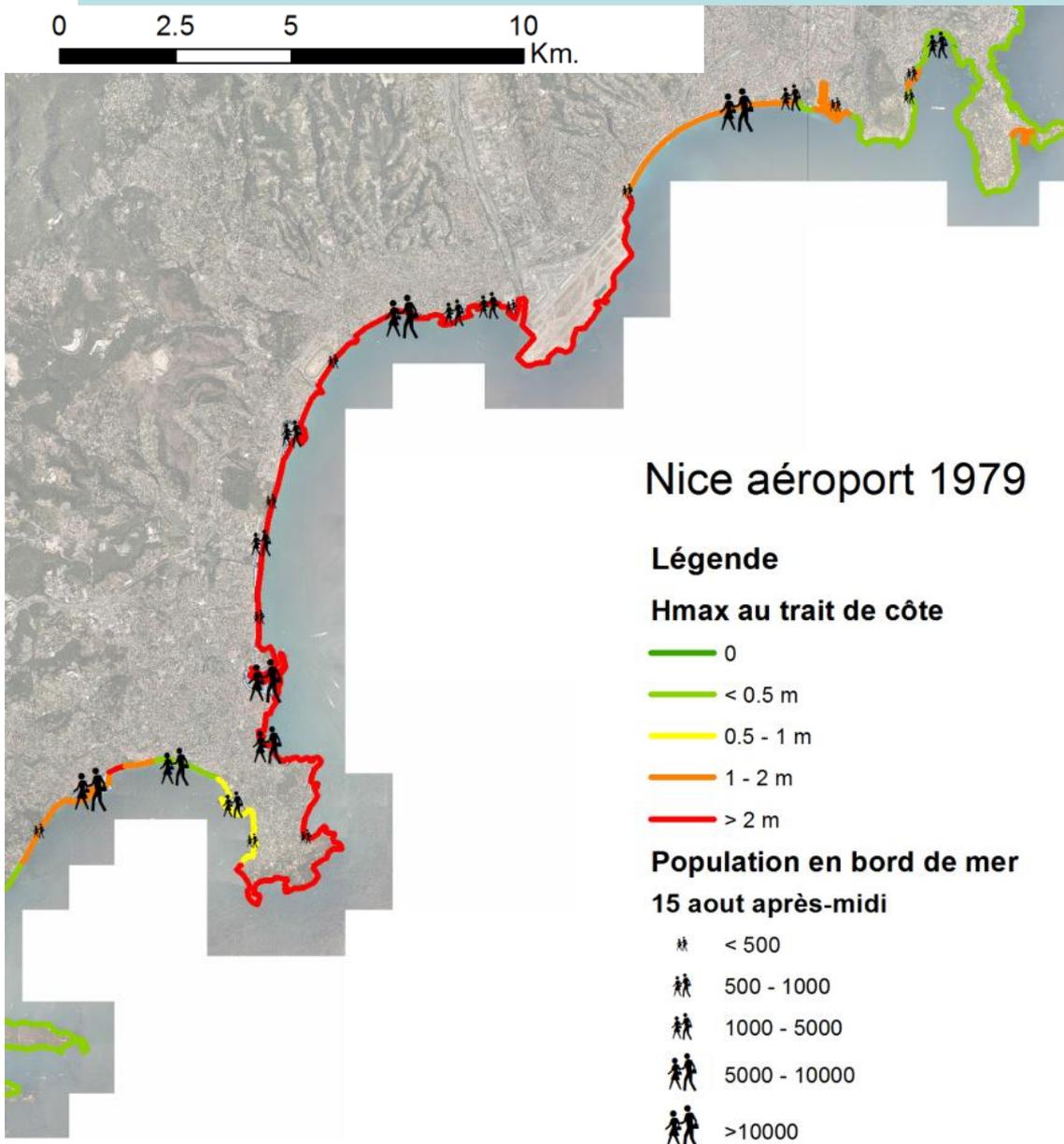
- 200 personnes, en milieu d'après midi > 5 à 10 graves préjudices
- 300 personnes, la nuit > 5 à 15 graves préjudices

15 janvier :

- 90 personnes, en milieu d'après midi > moins de 4 graves préjudices
- 150 personnes, la nuit > 3 à 6 graves préjudices

Site d'Antibes (Alpes maritimes) : tsunami type 1979

0 2.5 5 10 Km.

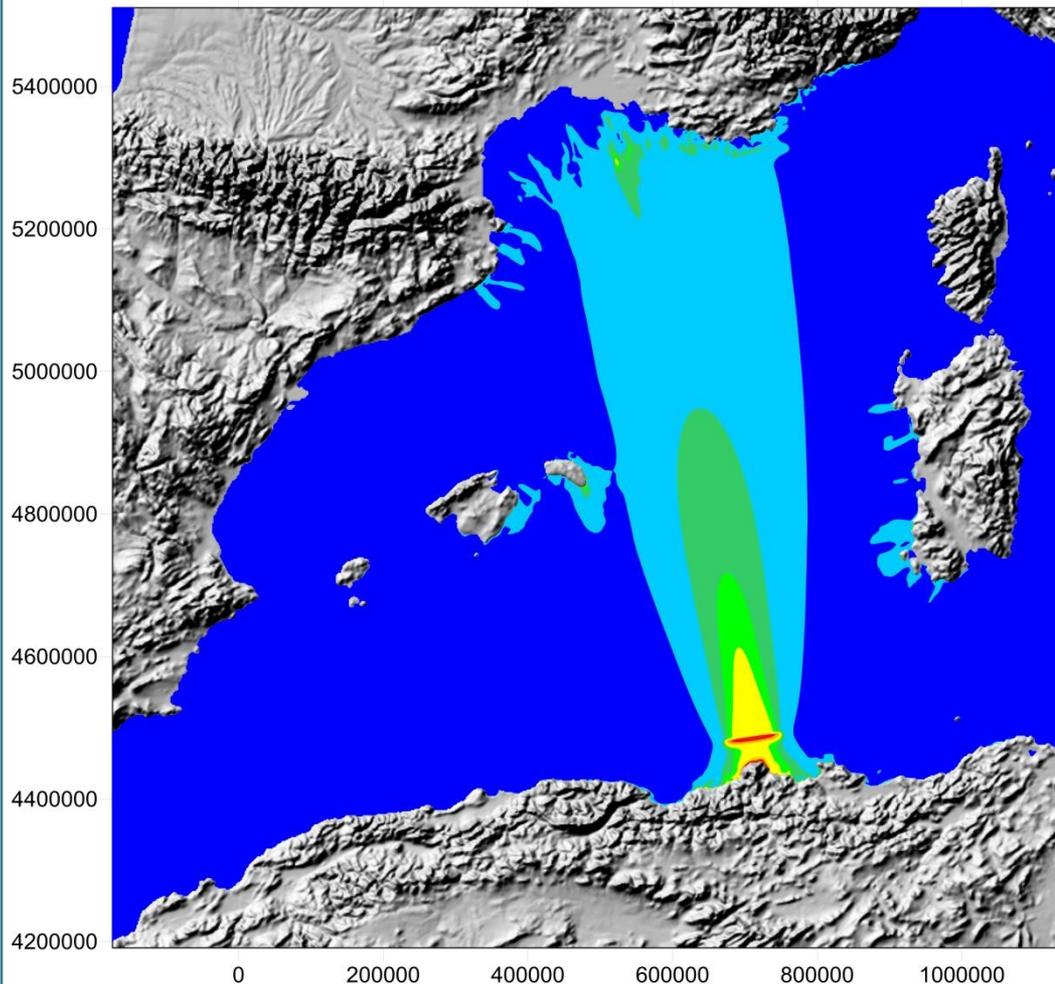


Et sur le reste de la Côte d'Azur (entre Nice et Antibes) ?

le tsunami pourrait impacter plusieurs milliers de personnes (dont plusieurs dizaines de morts ou blessés graves)

Plusieurs centaines de bateaux seraient endommagés (en 1979, 8,5% du parc)

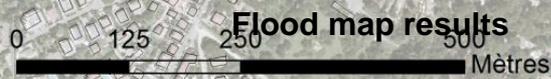
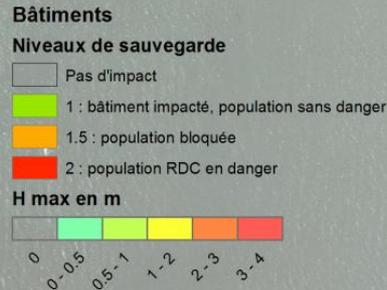
Autre scenario : Séisme nord algerien, Mw 7.5



maximum elevation
(in m) of the water
level

Autre scénario : Séisme nord algerien, Mw 7.5

Antibes - La Salis
Scénario séisme Nord Algérie



Results to La Salis (Antibes)

People outdoors

La Salis quarter, tsunami type earthquake nord Algeria, Mw 7.5	People unable to withstand the flood	Deaths or People with serious injuries
<u>August 15th in mid-afternoon</u>	1200 to 1700	± 150
<u>January in mid-afternoon</u>	25	< 5

4 - Systèmes Alerte

Détection d'un séisme

Selon la localisation :

⇒ tsunami potentiel ?

Réseau d'observation du plan d'eau

Surélévation anormale du plan d'eau ?

Détermination temps arrivées et amplitudes du tsunami

A partir de modèles pré-calculés, l'impact est évalué grossièrement.

Alerte

Selon évaluation:

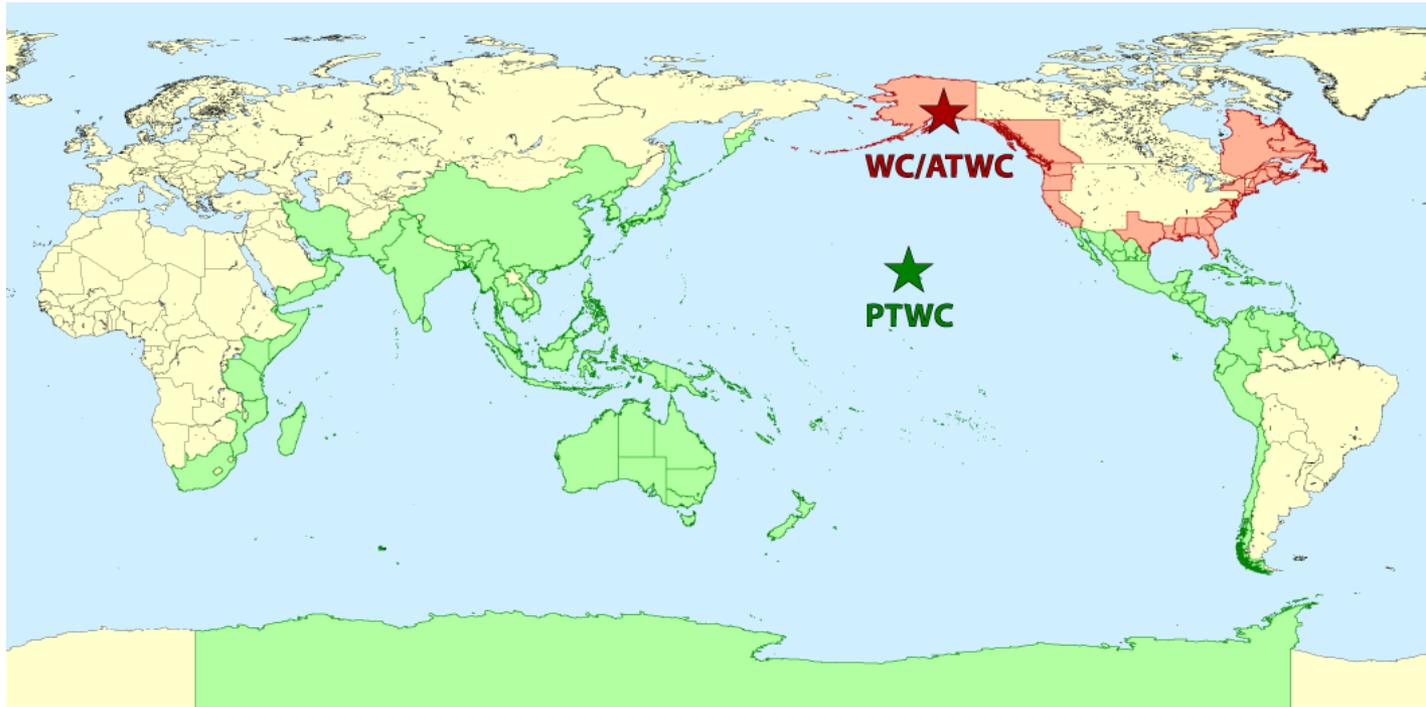
⇒ décision d'alerter



Géosciences pour une Terre durable

brgm

- **PTWC (Pacific Tsunami Warning Center)**
- **WC/ATWC (West Coast and Alaska Tsunami Warning Center)**



NOAA Pacific Tsunami Warning Center - Mozilla Firefox

Eichier Édition Affichage Historique Marque-pages Outils ?

http://www.prh.noaa.gov/pr/ptwc/

NOAA Pacific Tsunami Warning Center

National Weather Service
Pacific Tsunami Warning Center

Home News Organization Search PTWC NWS NOAA Go

DOC > NOAA > NWS > PTWC > NOAA Pacific Tsunami Warning Center

All Regions Pacific Ocean Hawai'i Indian Ocean Caribbean Sea

Local forecast by "City, State" or Zip
 City, St or Zip

XML RSS Feeds

Messages
 Pacific Ocean
 Hawai'i
 Indian Ocean
 Caribbean Sea
 WC/ATWC
 About Messages
 Subscribe

Information
 FAQ
 Hawai'i Residents
 Tsunami Info Ctr
 Tsunami Database
 TsunamiReady

About PTWC
 Responsibilities
 History
 Media & Visitor Info
 Staff
 Contact Us

USA.gov
 Government of the United States

Exercise Pacific Wave 08

No Current Warning, Watch, or Advisory in Effect
 low [Click here to read the latest tsunami message.](#)

Tsunami Messages for All Regions (Past 60 Days)
 Click on the map or table below for more information.

	Time (UTC)	Region	Type	To:	Details
1	16 Nov 2008 17:13	Minahassa Peninsula Sulawesi	Information Statement	Haw	html , text
1	16 Nov 2008 17:12	Minahassa Peninsula Sulawesi	Information Bulletin	Pac	html , text
2	07 Nov 2008 07:32	Vanuatu Islands	Information Statement	Haw	html , text
2	07 Nov 2008 07:32	Vanuatu Islands	Information Bulletin	Pac	html , text
3	19 Oct 2008 05:22	Tonga Islands	Information Statement	Haw	html , text
3	19 Oct 2008 05:20	Tonga Islands	Information Bulletin	Pac	html , text
4	16 Oct 2008 19:53	Near Coast of Chiapas Mexico	Information Statement	Haw	html , text
4	16 Oct 2008 19:51	Near Coast of Chiapas Mexico	Information Bulletin	Pac	html , text
5	11 Oct 2008 10:51	Virgin Islands	Information Statement	Car	html , text
6	29 Sep 2008 15:34	Kermadec Islands Region	Information Statement	Haw	html , text



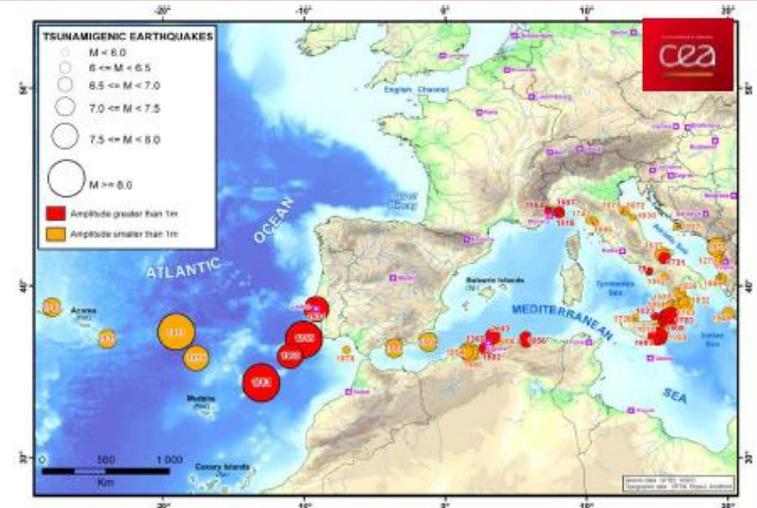
Le CENALT

Les spécificités du centre d'alerte

Le risque tsunami en Méditerranée et Atlantique Nord-Est

- Des séismes tsunamigènes historiques et récents

- Golfe de Cadiz, Lisbonne (1531, 1755)
- Détroit de Messine (1683, 1783, 1908)
- Imperia (1887)
- Algérie, (1365, 1856, **2003**)



- Faible extension du bassin de la Méditerranée : propagation en 1h15 entre les côtes d'Afrique du Nord et les côtes françaises.
- Alerte des populations par la Sécurité Civile : le Ministère de l'Intérieur doit être alerté dans les 15 minutes suivant l'occurrence d'un séisme
- Système d'alerte : reposant sur un réseau de capteurs sismiques et marégraphiques temps-réel, des outils de traitements complètement automatisés, un service continu 24H/24 assuré par des analystes pour alerter la Sécurité civile

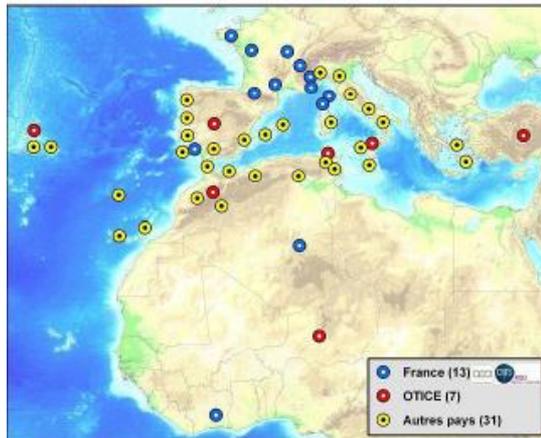


Le CENALT

Définition du centre d'alerte

Le dispositif d'alerte repose sur 3 composantes :

1 Un réseau de sismographes



Détecter le séisme

2 Un réseau de mesure du niveau de la mer



Détecter le tsunami

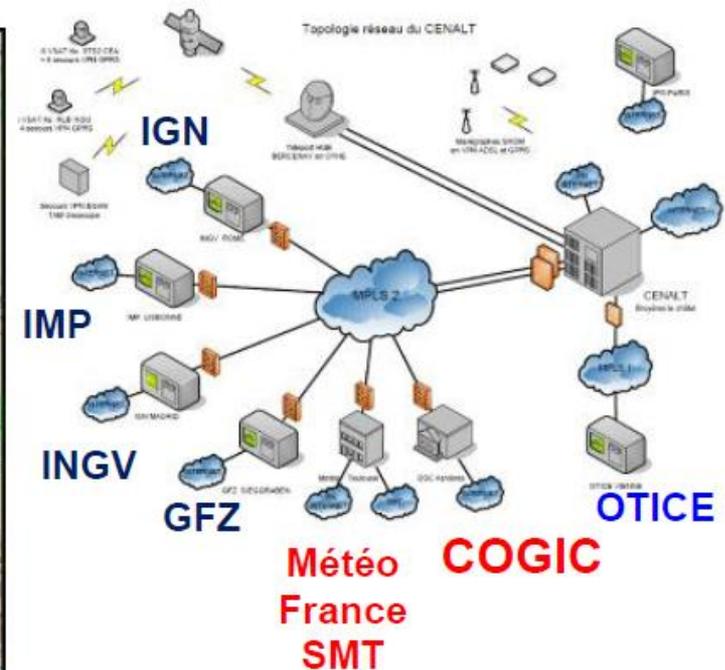
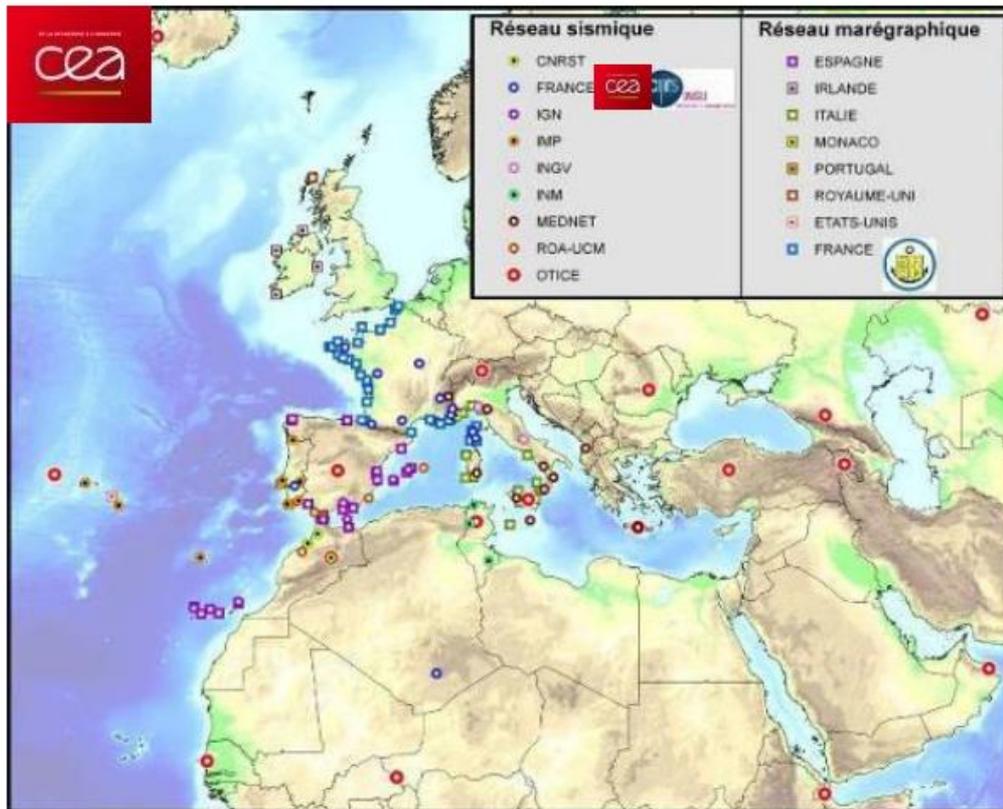
3 Un centre d'alerte



Valider l'alerte
Informar les autorités
Fournir l'expertise

Les réseaux de surveillance

Conception du réseau opérationnel global sécurisé : Interfaçage progressif de réseaux sismiques étrangers et de réseaux marégraphiques



Centre d'alerte aux tsunamis : Principe de fonctionnement

Détection des événements



CENALT
Bruyères-le-Châtel



Traitement des données
détection, localisation
magnitude du séisme
amplitude attendue du tsunami

Validation des résultats
par l'expert de permanence
24h/24 ; Préparation et
envoi des Messages

Confirmation
du tsunami



Protection civile

→ Alerte vers la population
→ Evacuation des ports et des plages



2 mn

5 mn

10 mn

15 mn

60 mn

OPERATIONNEL DEPUIS LE 1 JUILLET 2012

Les niveaux d'alerte et les formats des messages d'alertes nationaux ont été définis par la DGSCGC et le CEA.

- > niveau jaune : appel à la vigilance. Il s'agit de prévenir les autorités qu'un fort séisme a eu lieu, qu'il a pu être ressenti par la population, et qu'il faut être vigilant de tout phénomène marin anormal dont le retrait rapide de la mer, les forts courants
- > niveau orange : évacuation du bord de mer, plages, rivages, ports, routes côtières à moins de 3 m d'altitude, et interdiction de baignade et de transbordement de passagers
- > niveau rouge : niveau orange plus évacuation verticale rapide (sur des points hauts, dans les collines, dans des immeubles en béton, ou loin à l'intérieur des terres hors et loin des estuaires)





Matrice de décision pour la Méditerranée

Depth	Location	Magnitude (Mw)	Tsunami Potential	Bulletin Type
< 100 km	Sub-sea or very near the sea (< 30 km)	5.5 to 6.0	Small potential for a local tsunami	Information Bulletin
		6.0 to 6.5	Potential for a destructive local tsunami (< 100 km)	Regional Tsunami Advisory
		6.5 to 7.0	Potential for a destructive regional tsunami (< 400 km)	Regional Tsunami Watch Basin-wide Tsunami Advisory
		≥ 7.0	Potential for a destructive basin-wide tsunami (> 400 km)	Basin-wide Tsunami Watch
	Inland (> 30 km)	5.5	No tsunami potential	Information Bulletin
≥ 100 km	All Locations	≥ 5.5	No tsunami potential	Information Bulletin

	Advisory	Watch
Run-up	< 1m	> 1m
Amplitude	0.2-0.5 m	> 0.5 m
Impact	Currents, Bore, recession, damage in harbors, small inundation on beaches	Advisory impact + coastal inundation

**Avis
Advisory**

**Avertissement
Watch**

En complément : réseau d'alerte descendante (ALDES)

- connaissance des zones les plus vulnérables**
- la mise en place d'un système d'alerte des populations adéquats**
- de définir des comportements de mise à l'abri ou d'évacuation**
- d'élaborer des scénarios de réponse face au risque**
- > En cours de développement, démonstrateur : site de *Bandol – Sanary-sur-Mer – Six-Fours-les-Plages***

> Que faire en cas de tsunami ?

- Réagir en cas de **séisme** ou en cas de **retrait rapide** de la mer
- **S'éloigner** du rivage, ne pas prendre la voiture
- Rester éloigné de l'embouchure des **rivières**
- Si on ne peut pas fuir, chercher un **bâtiment solide** et **grimper**
- Si on est **en mer**, ne pas rentrer au **port**
- Un tsunami peut rester dangereux **plusieurs heures**

MERCI!