MINISTÈRES
TRANSITION ÉCOLOGIQUE
AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE
TRANSPORTS
VILLE ET LOGEMENT
*Liberté*
*Égalité*
*Fraternité*

SHOM

cea

# L'alerte précoce aux tsunamis

## Exemples de systèmes en place et leurs évolutions

*Hélène Hébert, Marine Ménager, Pierre Andraud, Audrey Gailler, Philippe Heinrich, Aurélien Dupont, Pascal Roudil, CEA, DAM, DIF, 91297 Arpajon (helene.hebert@cea.fr)*

*Anthony Jamelot, LDG Tahiti, Polynésie française*

PARTENAIRE SCIENCE COMES TO TOWN Financé par l'Union européenne

MARINE NATIONALE 400 ANS

MINISTÈRES
TRANSITION ÉCOLOGIQUE
AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE
TRANSPORTS
VILLE ET LOGEMENT
Liberté
Égalité
Fraternité

SHOM

Hélène HEBERT *et al.*
CEA/DAM

# Plan

- Illustrations du risque tsunami en France
- Exemple des systèmes d'alerte
- Rôle des mesures du niveau de la mer
- Avancées récentes et perspectives
- Conclusion

PARTENAIRE SCIENCE COMES TO TOWN
Financé par l'Union européenne
MARINE NATIONALE 400 ANS

MINISTÈRES
TRANSITION ÉCOLOGIQUE
AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE
TRANSPORTS
VILLE ET LOGEMENT
Liberté
Égalité
Fraternité

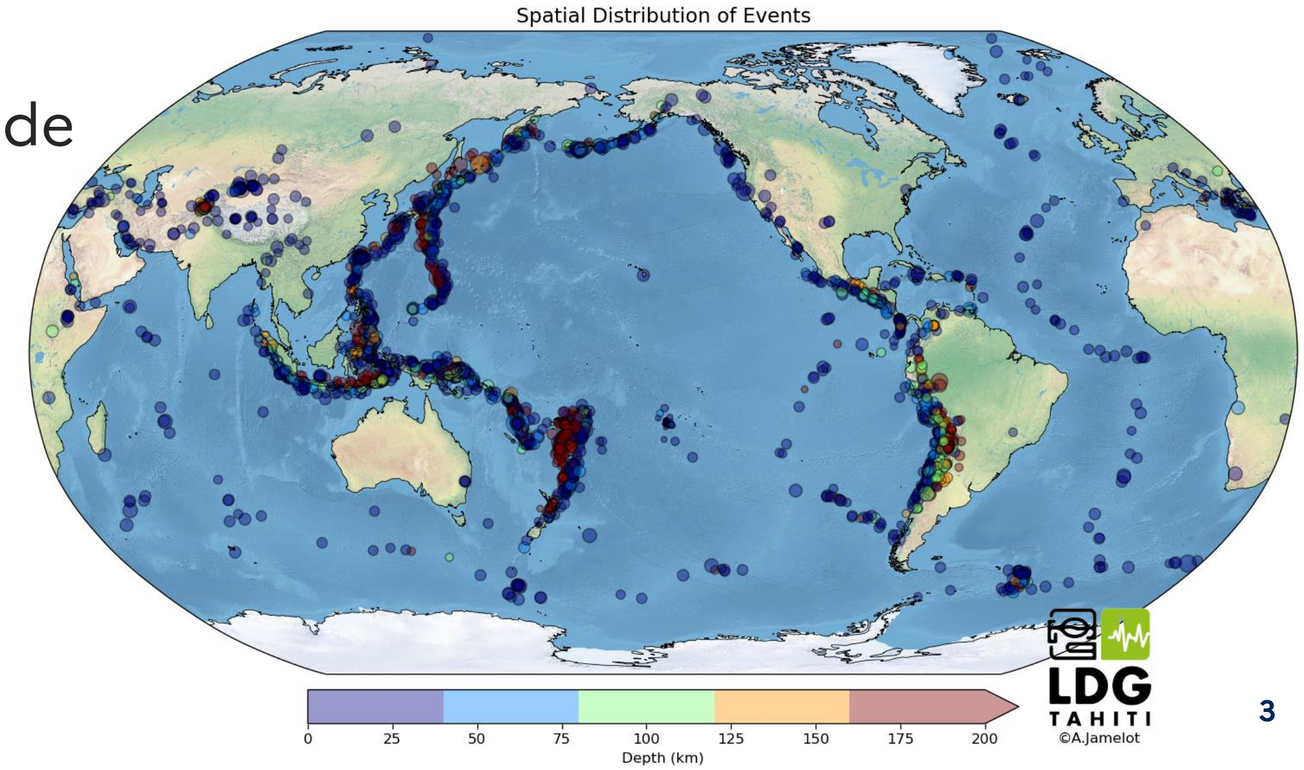
SHOM

# Un aléa fréquent dans le Pacifique

Hélène HEBERT *et al.*
CEA/DAM

cea

- **D'origine géologique**, les tsunamis sont fréquents dans les régions exposées aux risques telluriques.
  - Propagation **d'ondes (+/-) longues** à travers les océans, sur de longues distances
- Ces risques sont **difficilement prévisibles** mais les zones sources sont connues.
- Dès lors qu'un tsunami est déclenché, **plusieurs types de capteurs** permettent de le mesurer :
  - Au large : capteurs de pression (par ex.)
  - A la côte : marégraphie portuaire
  - Depuis l'espace

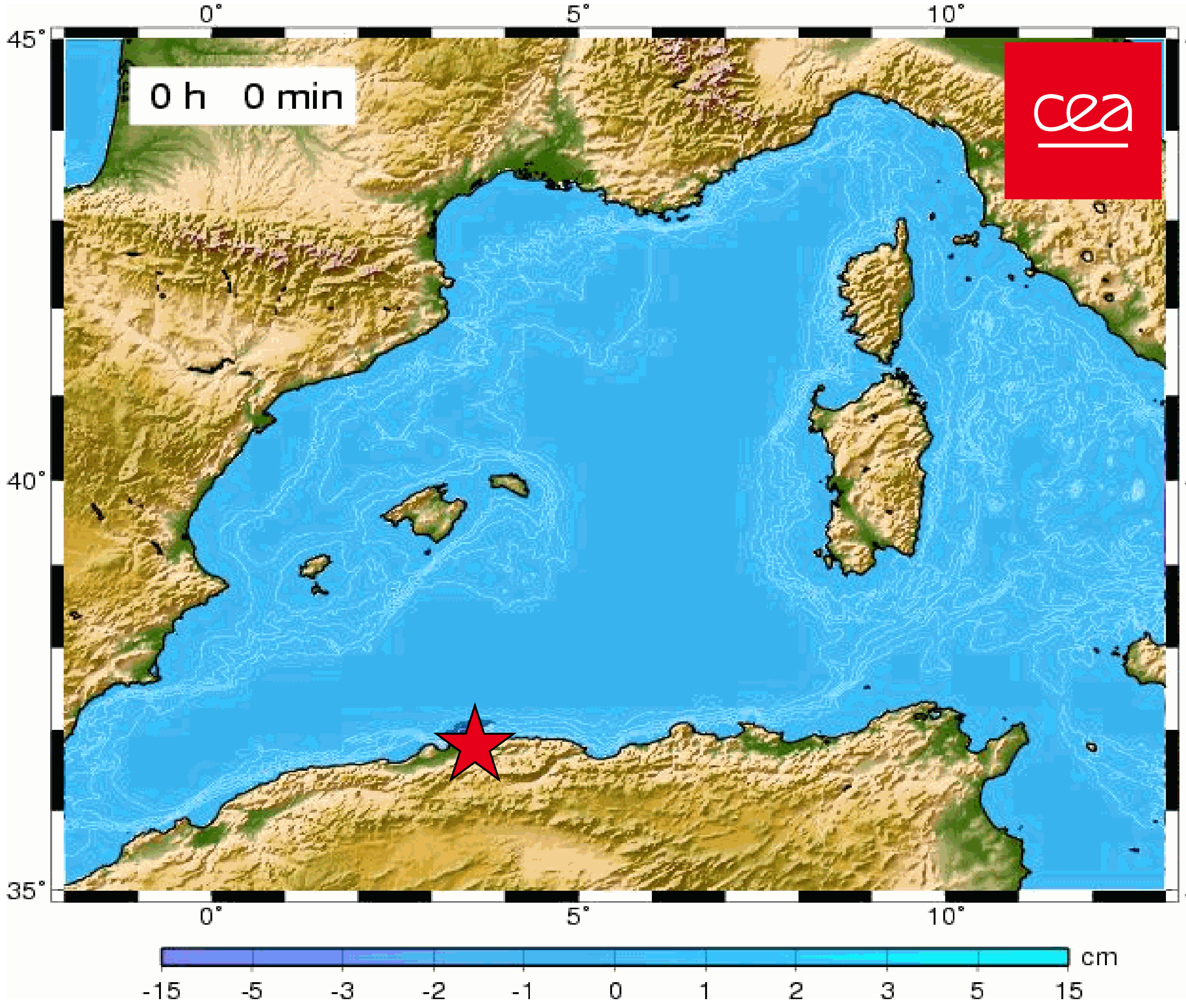


# Quel risque tsunami en métropole ?

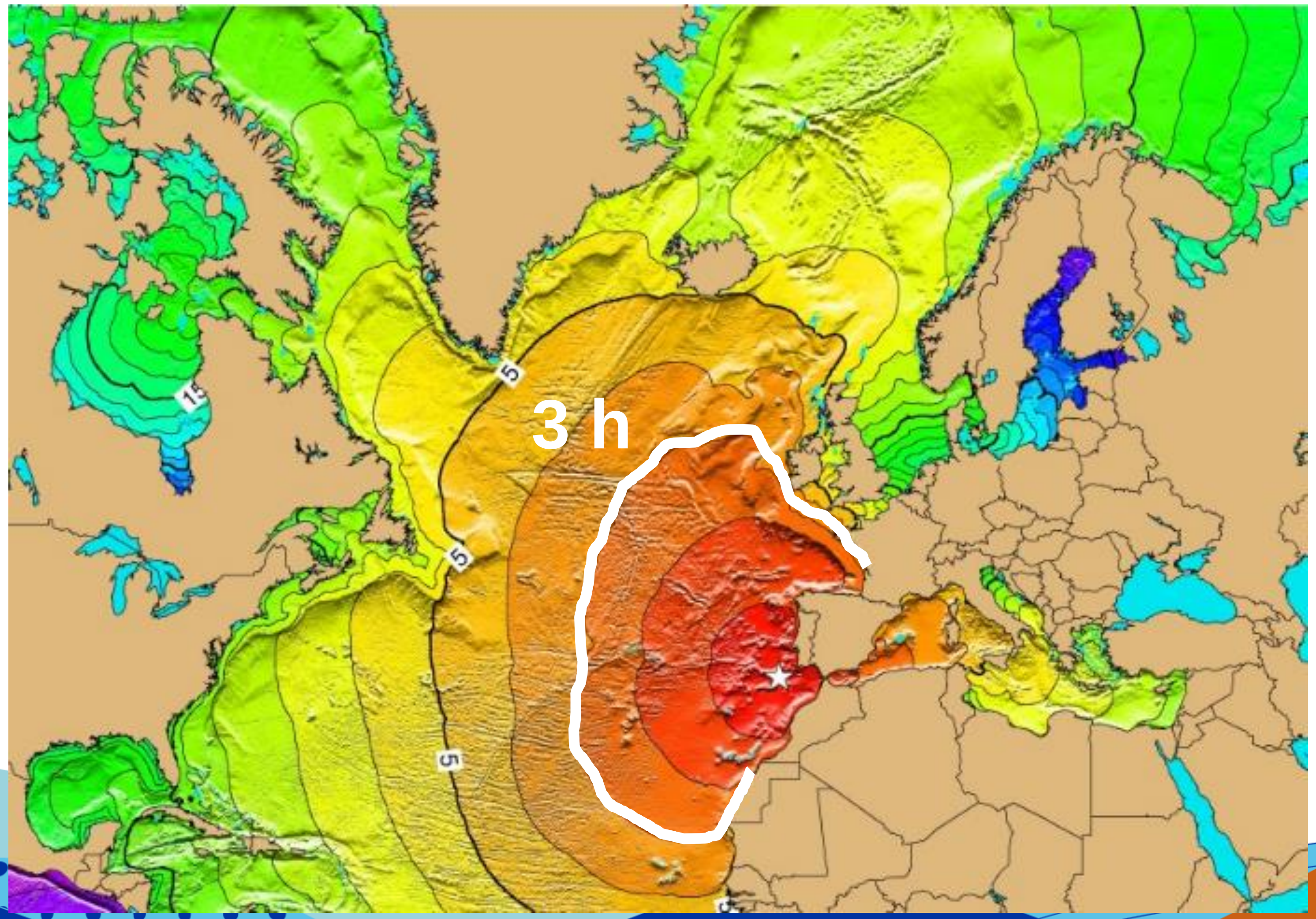
Hélène HEBERT *et al.*
CEA/DAM

- Côtes **méditerranéennes** et **atlantiques**
  - Séismes – Glissements de terrain – Météotsunamis
  - Effets côtiers possibles + vulnérabilités croissantes
- **Temps de propagation** des tsunamis
  - De quelques minutes (mer Ligure) à quelques heures

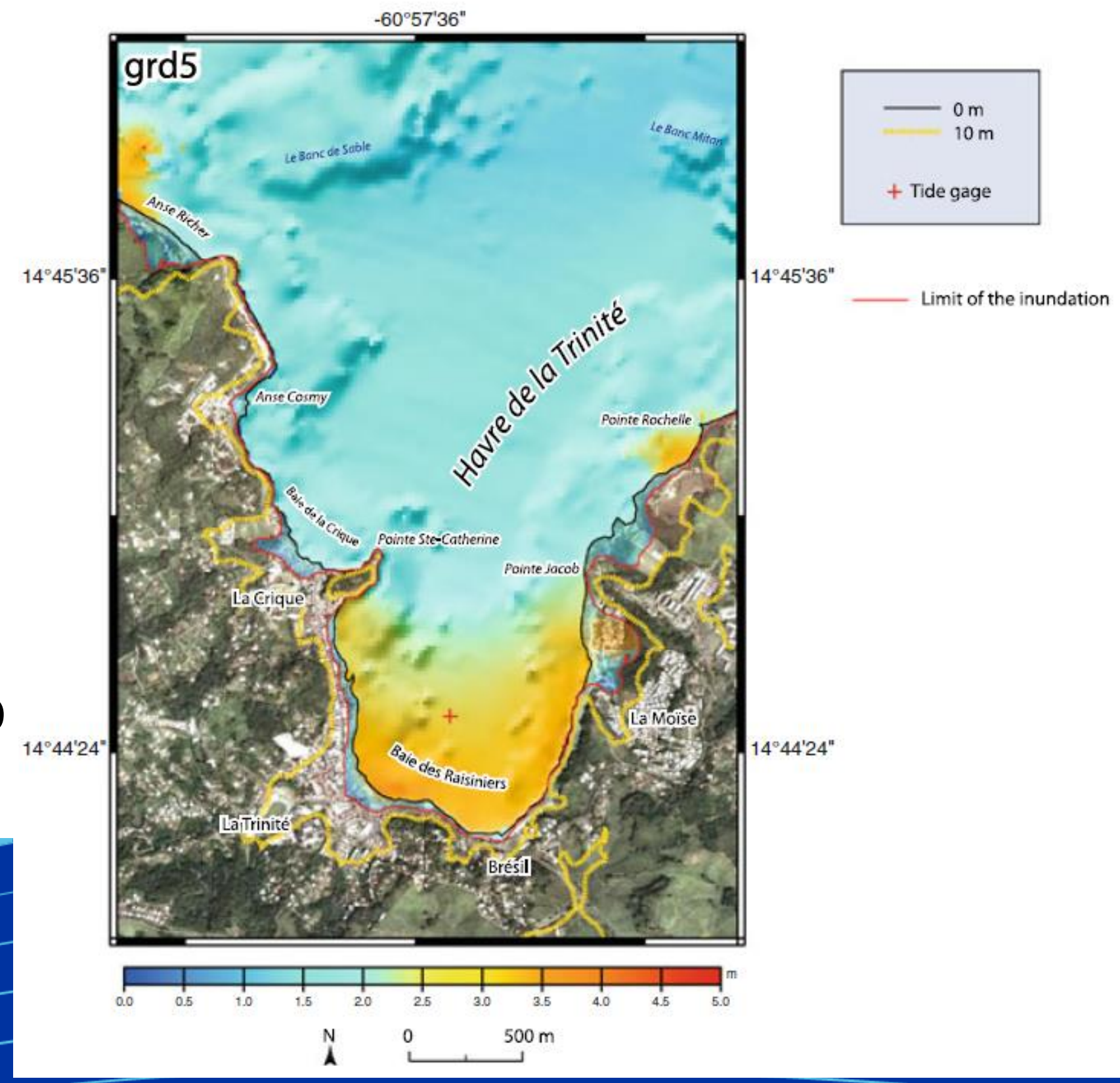
**2003, Boumerdès**




**1755, Lisbonne**




**Effet en Martinique**




Roger et al., 2010

MINISTÈRES
TRANSITION ÉCOLOGIQUE
AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE
TRANSPORTS
VILLE ET LOGEMENT
Liberté
Égalité
Fraternité

SHOM

Hélène HEBERT *et al.*
CEA/DAM

cea

# Exemples en Méditerranée

## Hmax ~1 m





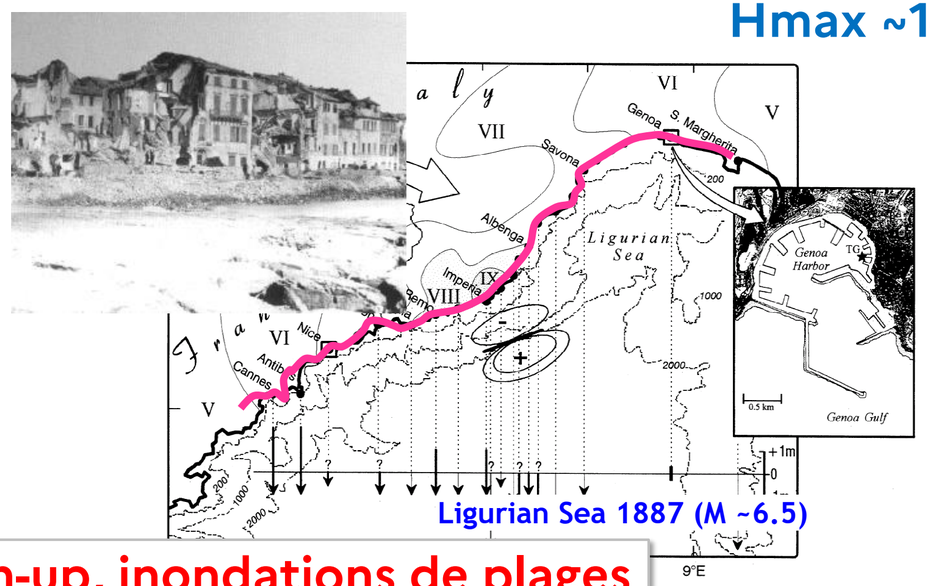


Boumerdès, 2003 (M 6.8)

Sahal et al., 2009

**Courants forts, tourbillons**

## Hmax ~1-2 m




Ligurian Sea 1887 (M ~6.5)

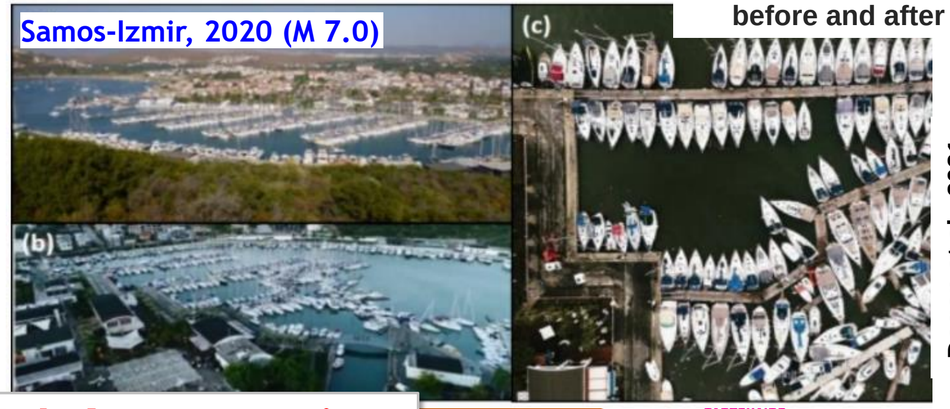
Eva et Rabinovich, 1997

**Run-up, inondations de plages**




**Retrait de la mer**

Marina de Teos before and after




Dogan et al., 2021

**Dégâts portuaires**

MINISTÈRES
TRANSITION ÉCOLOGIQUE
AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE
TRANSPORTS
VILLE ET LOGEMENT
*Liberté*
*Égalité*
*Fraternité*

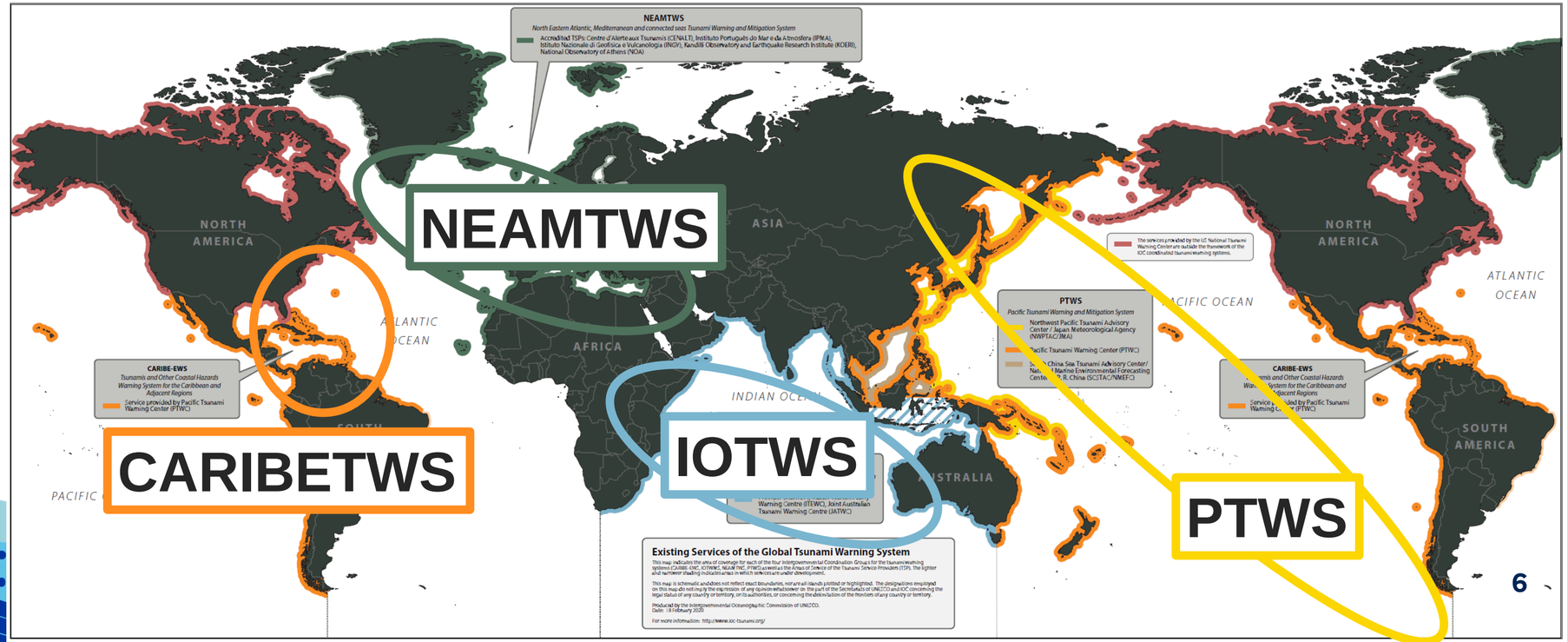
SHOM

# Une structuration internationale pour l'alerte tsunami

**Hélène HEBERT *et al.***
CEA/DAM

cea

- Cadre de **coordination COI/Unesco** élargi depuis 2005 (post Sumatra 2004)
  - Groupes de travail
  - Echanges de données, procédures..
- S'appuyant sur des **engagements nationaux**
  - Organismes scientifiques et opérationnels
  - Sécurités civiles
- **Tsunamis Service Providers** (TSP)
  - NEAM : 5
  - PTWS : 4

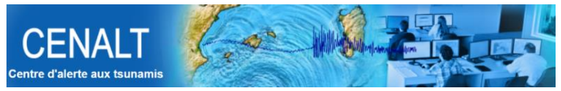


MINISTÈRES
TRANSITION ÉCOLOGIQUE
AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE
TRANSPORTS
VILLE ET LOGEMENT
Liberté
Égalité
Fraternité

Hélène HEBERT *et al.*
CEA/DAM

# Principe des systèmes d'alerte : exemple du Cenalt

## *Centre national d'alerte aux tsunamis*



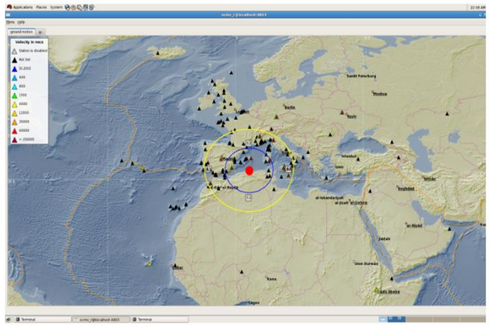

**Source : séisme**

## Alerte montante

**Détection sismique** → **Traitement et validation** → **Envoi des messages au COGIC et abonnés**

**Opérateur de permanence**

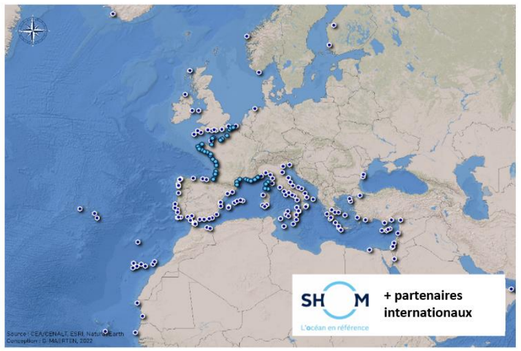







Réseau Sismique

**Suivi du niveau de la mer (plusieurs heures)**




Réseau Marégraphique

## Alerte descendante

- Alerte aux populations, évacuations



- Préparation, sensibilisation (accompagnement par le Cenalt)
  - Formation, exercices, amélioration des procédures
  - Cartographie des risques

Tsunami Ready Tsunami Ready

**Messages additionnels du Cenalt**

2 mn 5 mn 10 mn 15 mn 60 mn

MINISTÈRE DE L'INTÉRIEUR
Liberté
Égalité
Fraternité

MINISTÈRES
TRANSITION ÉCOLOGIQUE
AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE
TRANSPORTS
VILLE ET LOGEMENT
Liberté
Égalité
Fraternité

L'océan en référence

PARTENAIRE SCIENCE COMES TO TOWN

MINISTÈRES
TRANSITION ÉCOLOGIQUE
AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE
TRANSPORTS
VILLE ET LOGEMENT
*Liberté*
*Égalité*
*Fraternité*

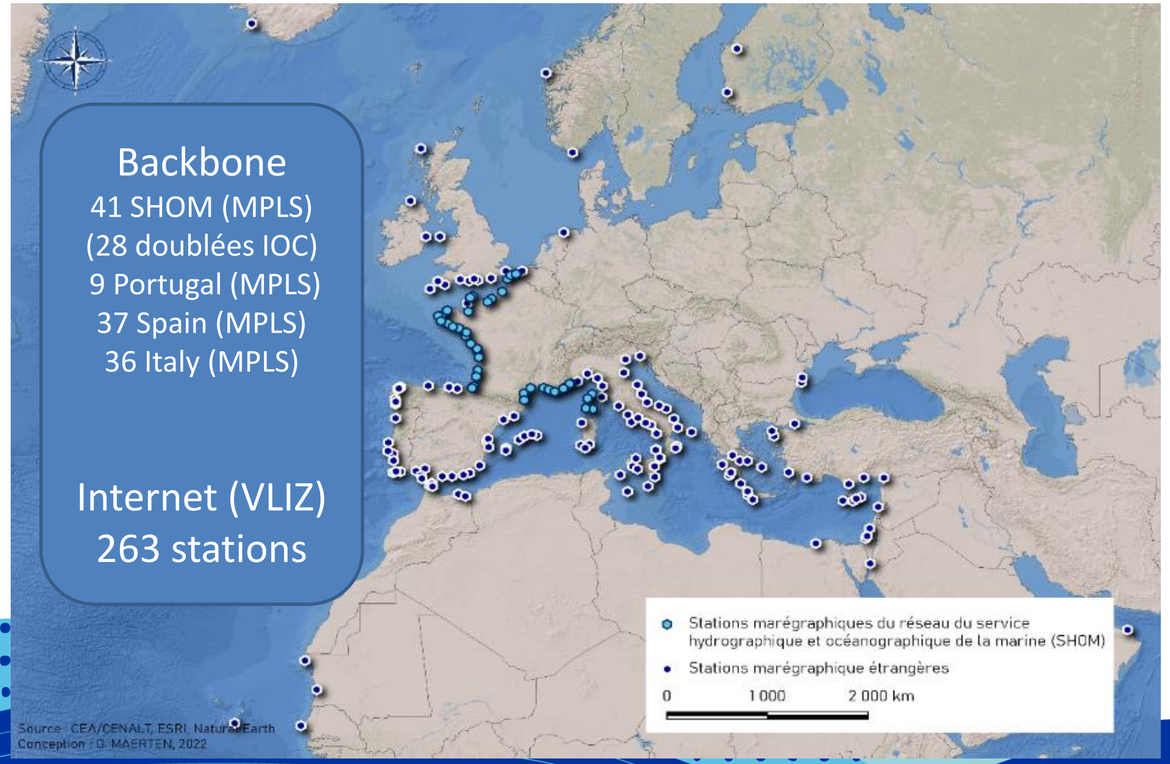
SHOM

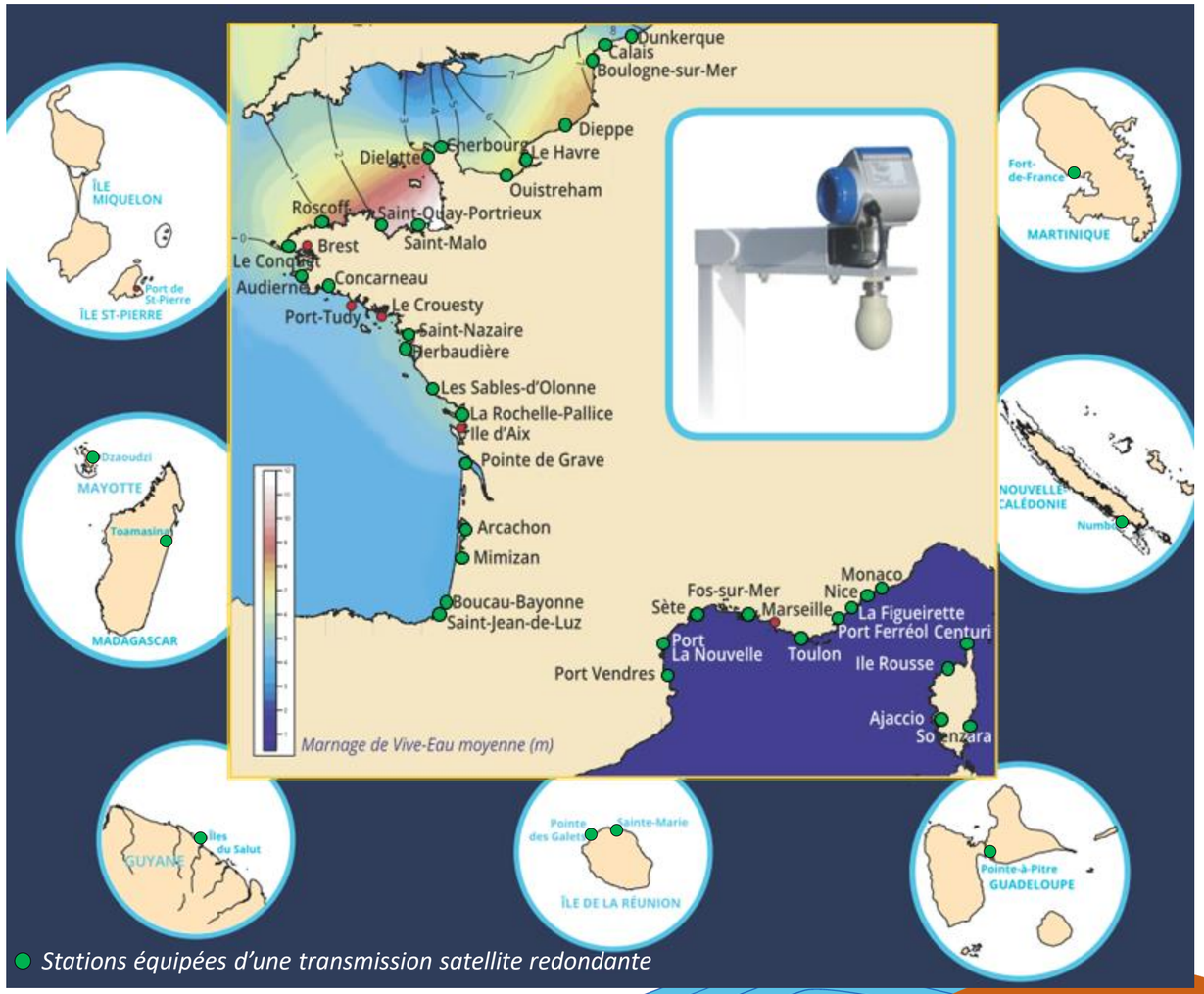
# Réseau marégraphique pour le Cenalt

**Hélène HEBERT *et al.***
CEA/DAM

cea

- Données des **41 stations du RONIM** disponibles au CENALT en temps réel
- **Connexions temps réel** vers les partenaires internationaux



MINISTÈRES
TRANSITION ÉCOLOGIQUE
AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE
TRANSPORTS
VILLE ET LOGEMENT
*Liberté*
*Égalité*
*Fraternité*

SHOM

# Un enjeu opérationnel : la mesure du niveau de la mer en temps réel

Hélène HEBERT *et al.*
CEA/DAM

cea

- **Finalités**
  - « Sismomètre » du niveau marin
  - Détection et suivi en temps réel
  - Ajustement des modèles de prédiction*
  - Tests des outils de simulation*

* Sous réserve de disposer de données bathymétriques à la côte pour simuler les amplifications et d'avoir des délais suffisants

Message pour l'exercice du 04/11/2021

Caractéristiques du séisme :
- Evénement Sismique : 04/11/2021 - 10:00:00
- Localisation : Northern Algeria
- Coordonnées : 36.88 N, 5.21 E
- Profondeur : 20 km
- Magnitude : 7.2

Mesures du Tsunami :
Marégraphe lat lon heure d'arrivée amplitude période
--- --- --- --- --- ---

TMAHO 39.89N 4.27E 0951Z 3.26M 24MN
CIUT 39.99N 3.83E 1007Z 1.87M 10MN
CF06 39.14N 8.31E 1008Z 0.93M 14MN
TPMAL 39.56N 2.64E 1006Z 0.64M 22MN
MATEL 38.93N 8.72E 0953Z 0.92M 8MN
TFORM 38.73N 1.42E 1014Z 0.44M 8MN
AJAC 41.92N 8.76E 1008Z 0.84M 12MN
FIGU 43.48N 6.93E 1018Z 1.42M 10MN
TOUL 43.12N 5.91E 1019Z 0.94M 8MN

EXERCICE - EXERCICE - EXERCICE

EXERCICE D'ALERTE TSUNAMI 08/06/2022
Origine : CENALT
Message n°3 du 08/06/2022 à 14:28:59 (heure de Paris) EXERCICE - EXERCICE - EXERCICE

Fin de surveillance du CENALT

Attention, des effets peuvent perdurer dans les ports et dans certaines baies.
La fin d'alerte et des mesures de sauvegarde sera émise par la préfecture.

PARTENAIRE SCIENCE COMES TO TOWN

MARINE NATIONALE 400 ANS

MINISTÈRES
TRANSITION ÉCOLOGIQUE
AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE
TRANSPORTS
VILLE ET LOGEMENT
*Liberté*
*Égalité*
*Fraternité*

SHOM

# Bejaia (Algérie), mars 2021

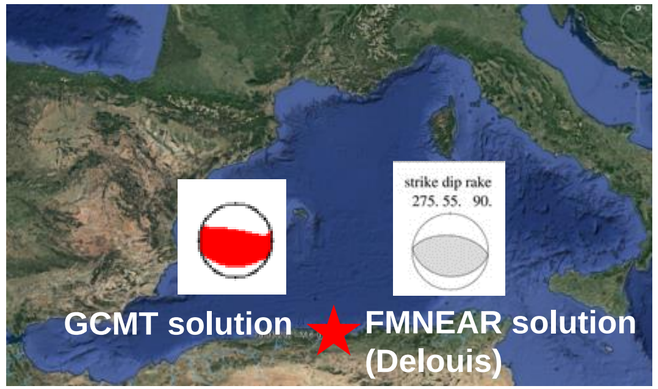
**Hélène HEBERT *et al.***
CEA/DAM

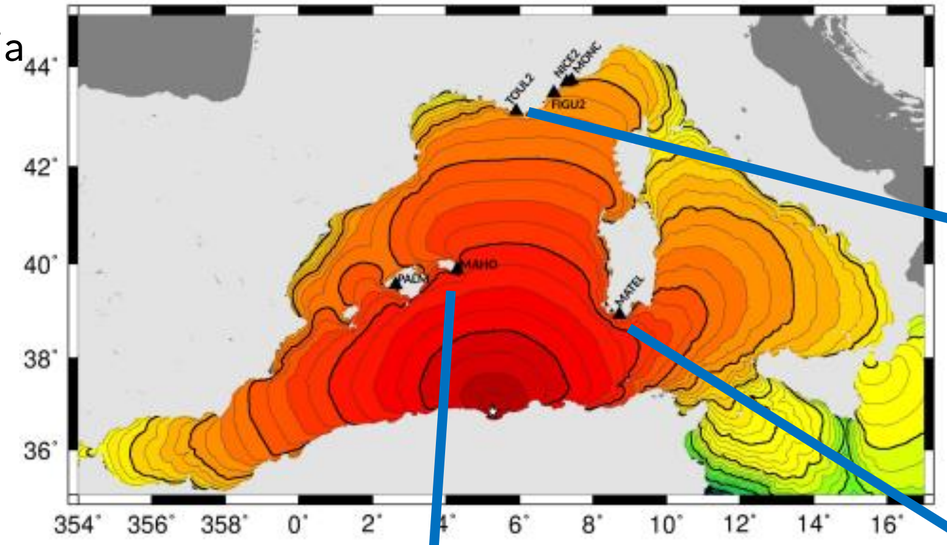
**00h04 UTC** Séisme proche de Bejaia

**T0 + 09 min** : Message information Cenalt, M 5.8

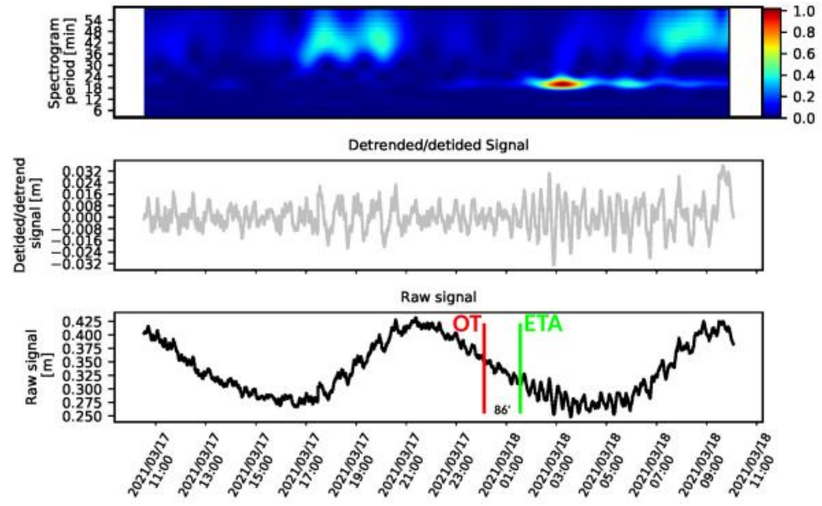
**T0 + 41 min** : Révision M 6.0

**T0 + ~ 1h :** Détection en Sardaigne
**T0 + ~ 2h** : Détection en France

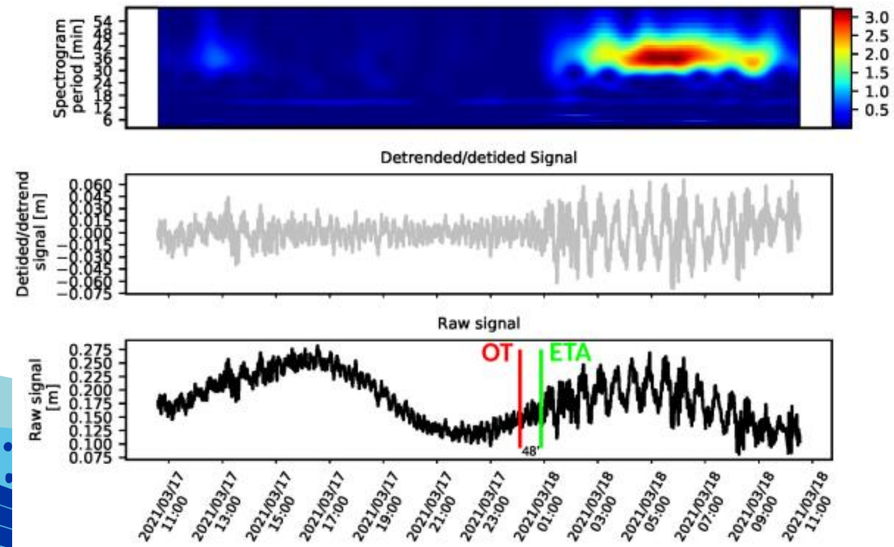


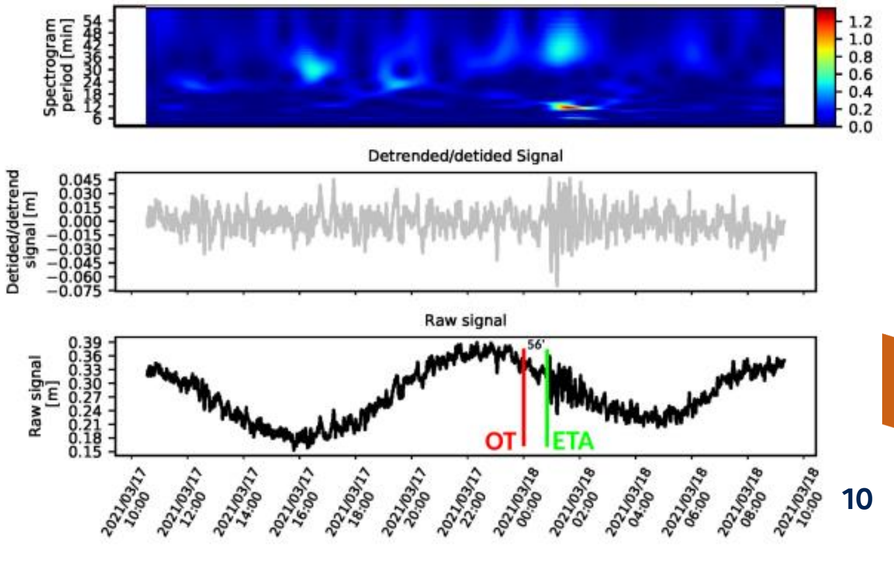

## Toulon ~ 5 cm




## Mahon ~ 6 cm (crête-creux)




## Marina di Teulada ~ 9 cm



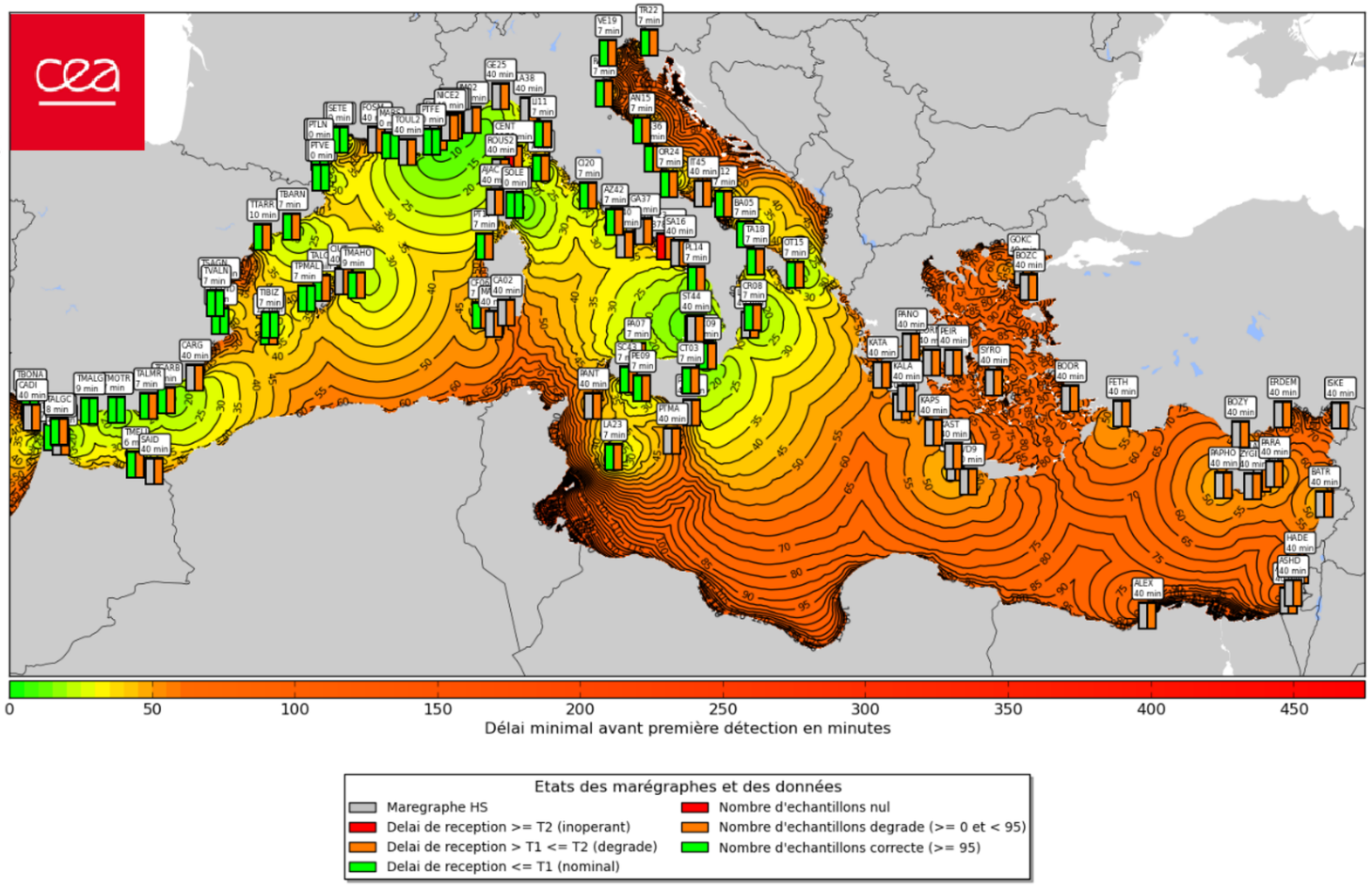
MINISTÈRES
TRANSITION ÉCOLOGIQUE
AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE
TRANSPORTS
VILLE ET LOGEMENT
*Liberté*
*Égalité*
*Fraternité*

# Capacités des réseaux

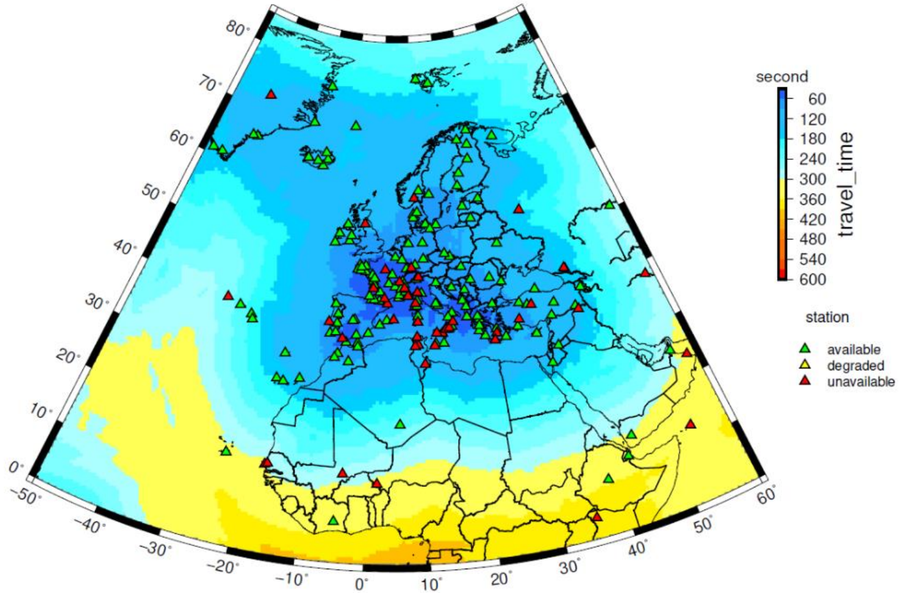
**Hélène HEBERT *et al.***
CEA/DAM

- **Etat de santé** du réseau
  - Selon les disponibilités des données et les délais de transmission
  - Révèle aussi des lacunes géographiques

Carte de capacité de détection du réseau marégraphique en minutes des marégraphes et des données
Publication le 31/12/2025 à 08:00:40




## Détectabilité sismique




PARTENAIRE SCIENCE COMES TO TOWN

MINISTÈRES
TRANSITION ÉCOLOGIQUE
AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE
TRANSPORTS
VILLE ET LOGEMENT
Liberté
Égalité
Fraternité

SHOM

# Détection d'événements marégraphiques

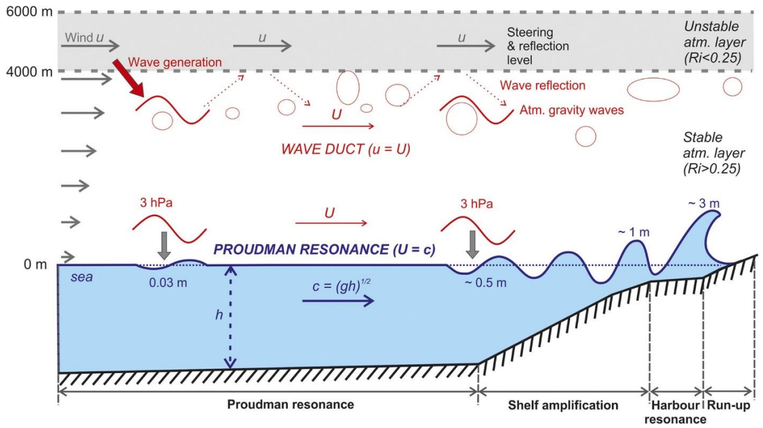
Hélène HEBERT *et al.*
CEA/DAM

## Météotsunamis

### Submersion sur la côte (Santa Pola, Alicante)

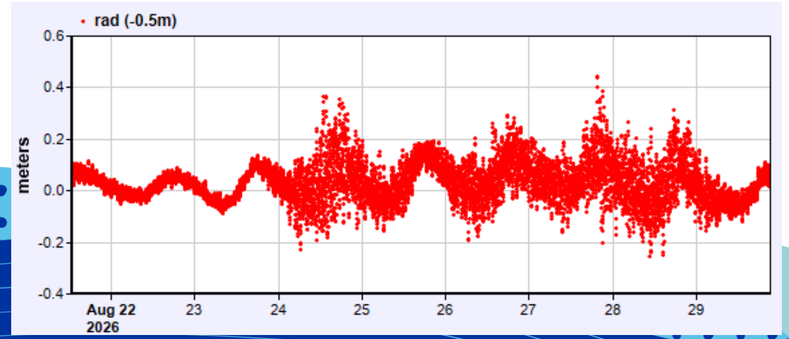


### Principe

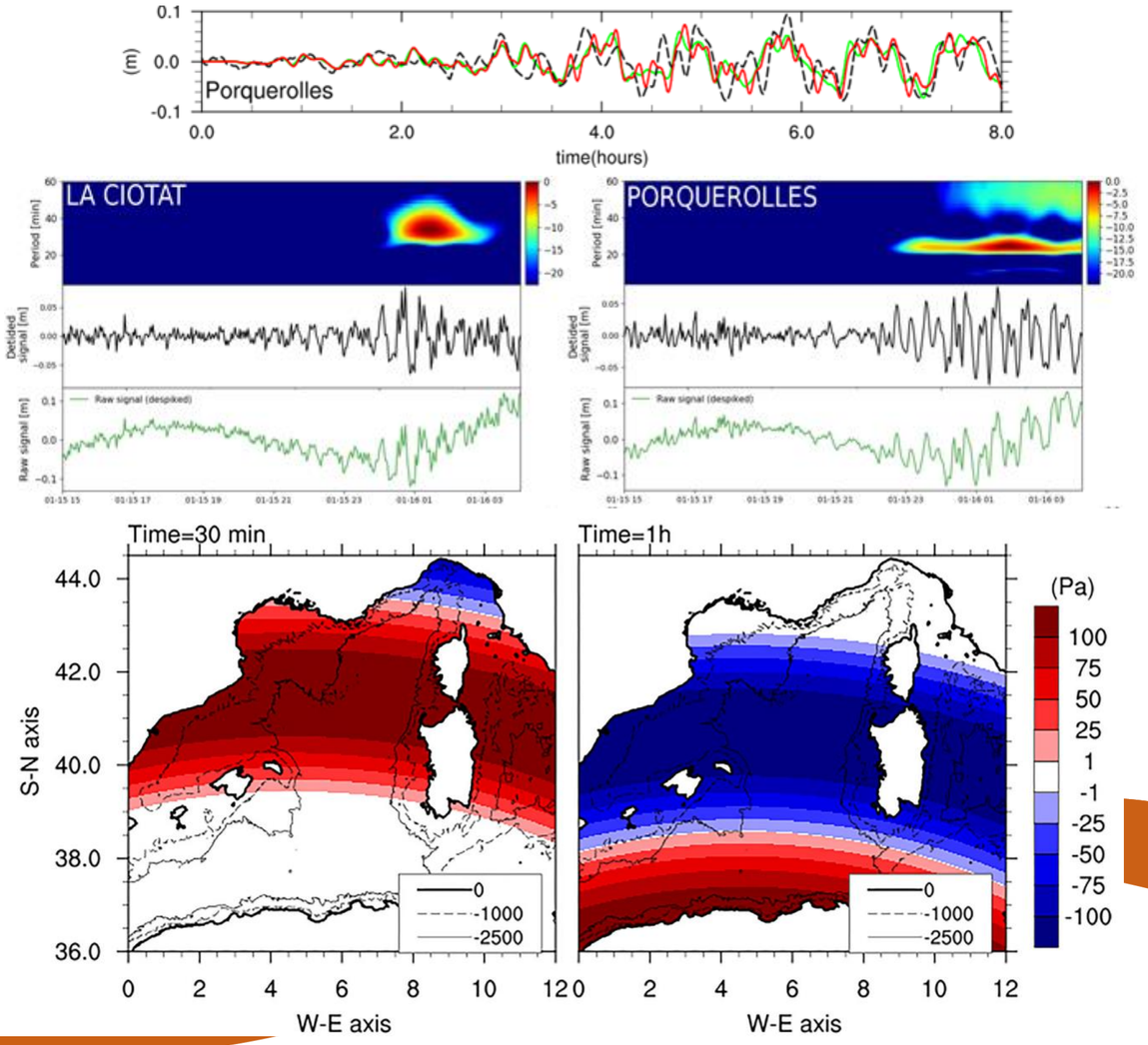



Sepic et al., 2015

### Marégramme d'Ibiza du 22 au 30 août 2026




## Tonga, 2022




Heinrich et al., 2023

MINISTÈRES
TRANSITION ÉCOLOGIQUE
AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE
TRANSPORTS
VILLE ET LOGEMENT
Liberté
Égalité
Fraternité

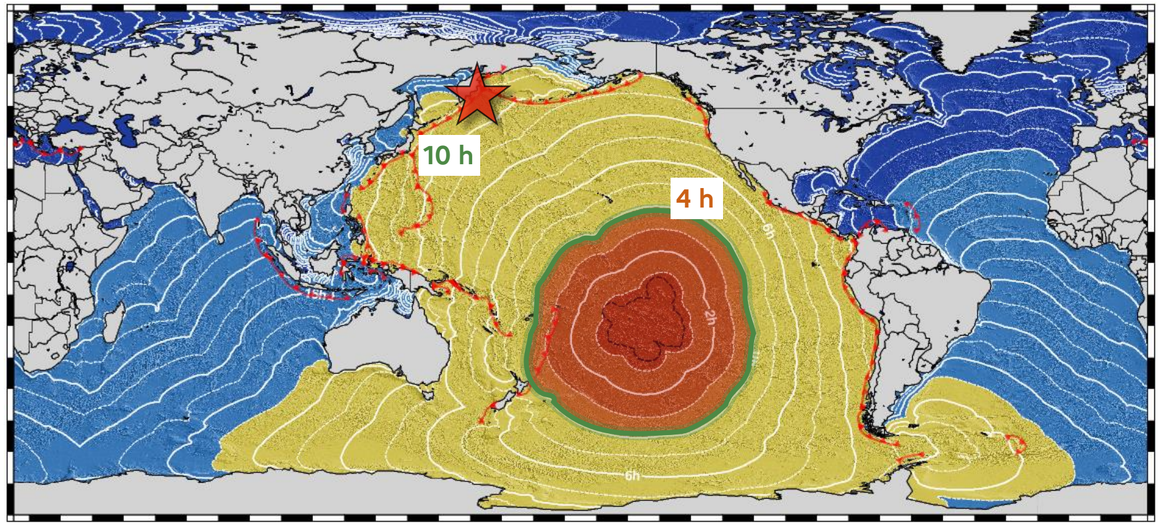
SHOM

Hélène HEBERT *et al.*
CEA/DAM

cea

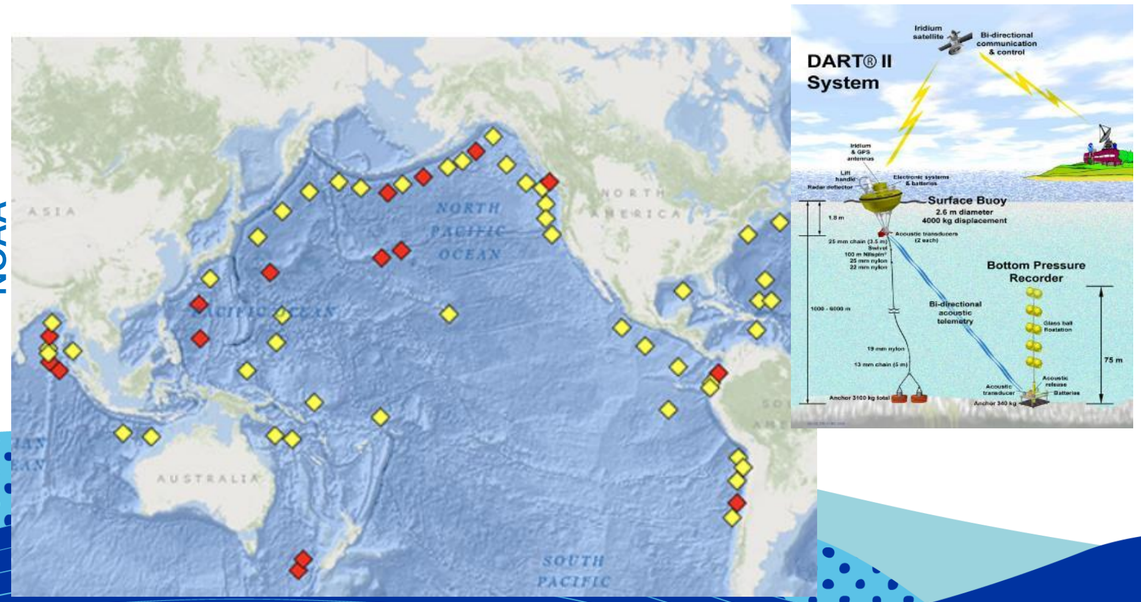
# En Polynésie française

- Durées de propagation > 3 h
- **L'alerte** s'appuie
  - Sur la **détection précoce** du séisme et du tsunami
    - Ex : capteurs de pression (bouées DART)
  - Sur la **simulation numérique** avancée
    - Code Taitoko (Heinrich et al., 2021)




Temps de propagation tsunami vus de la Polynésie française

NOAA







PTWC

## Event Timeline

**Kamchatka, 2025**

| UTC | Elapsed | Msg | Event |
|---|---|---|---|
| 23:24:52 | 00:00:00 | | Earthquake occurs |
| 23:34:28 | 00:09:04 | 1 | Hawaii – Tsunami Watch |
| 23:34:57 | 00:10:05 | 1 | American Samoa – Information, Still Evaluating |
| 23:35:25 | 00:10:33 | 1 | Guam/CNMI – Tsunami Watch |
| Major tsunami confirmed by first DART signal with 0.9m amplitude | | | |
| Domestic Alert Guidance from RIFT and SIFT Tsunami Forecast Models | | | |
| 00:43:19 | 01:18:27 | 3 | Hawaii – Tsunami Warning |
| 00:56:18 | 01:31:26 | 3 | Guam/CNMI – Tsunami Advisory |
| 01:39:38 | 02:14:46 | 3 | American Samoa – Tsunami Advisory |

MINISTÈRES
TRANSITION ÉCOLOGIQUE
AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE
TRANSPORTS
VILLE ET LOGEMENT
Liberté
Égalité
Fraternité

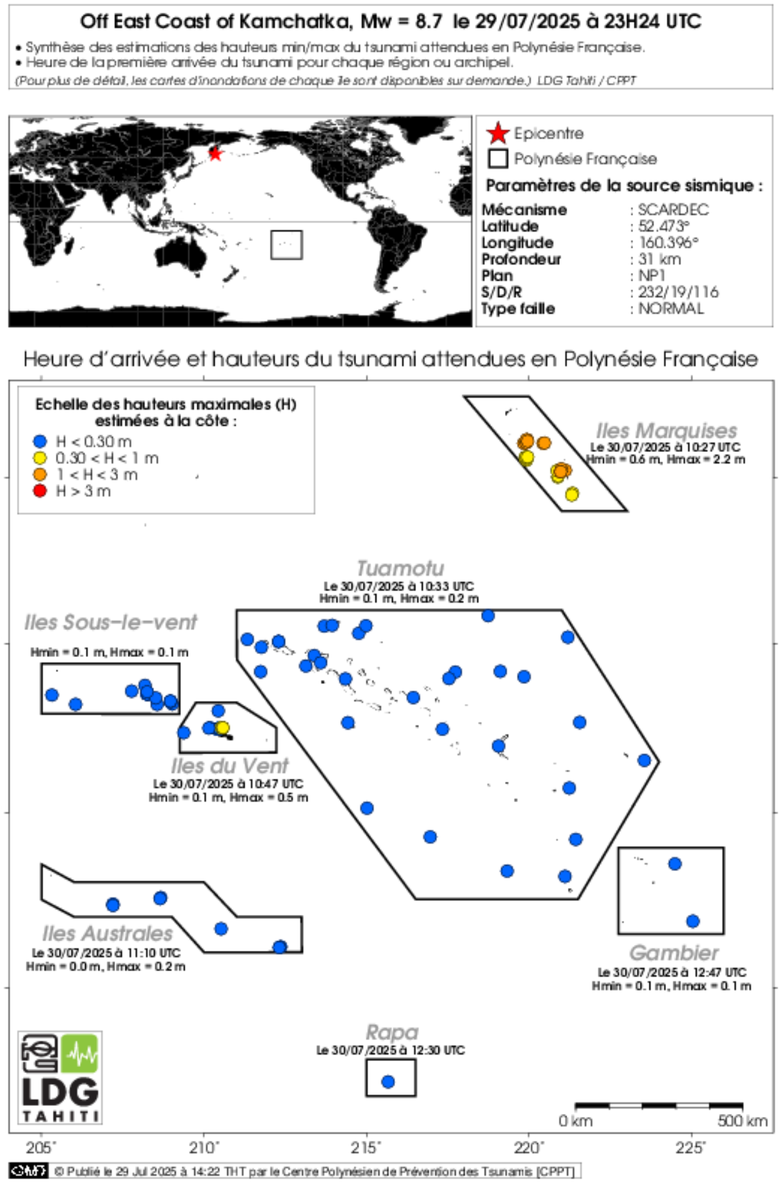
SHOM

# Kamchatka, 30 juillet 2025

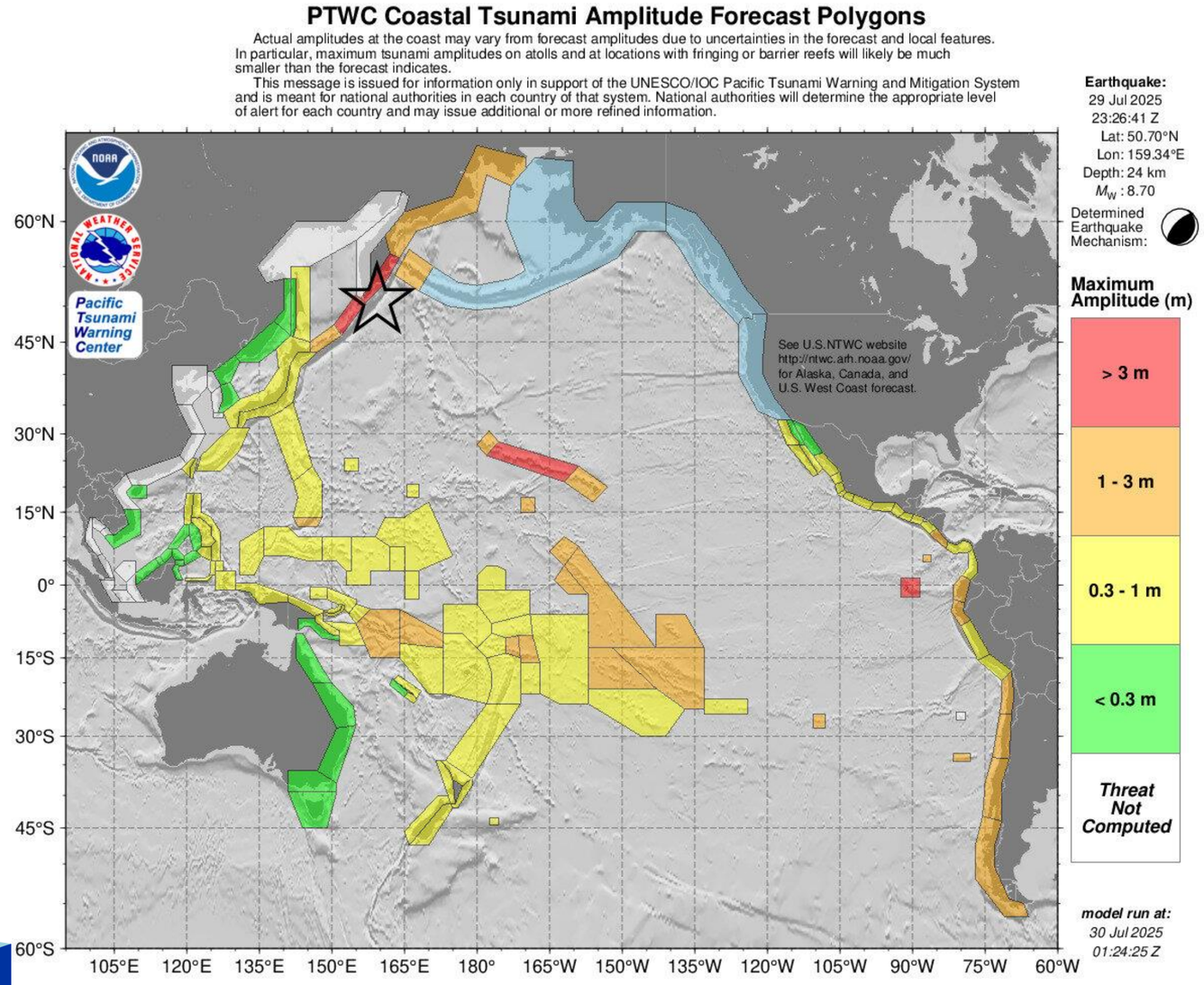
Hélène HEBERT *et al.*
CEA/DAM

cea

## Produit du Centre polynésien de prévention des tsunamis (CPPT)

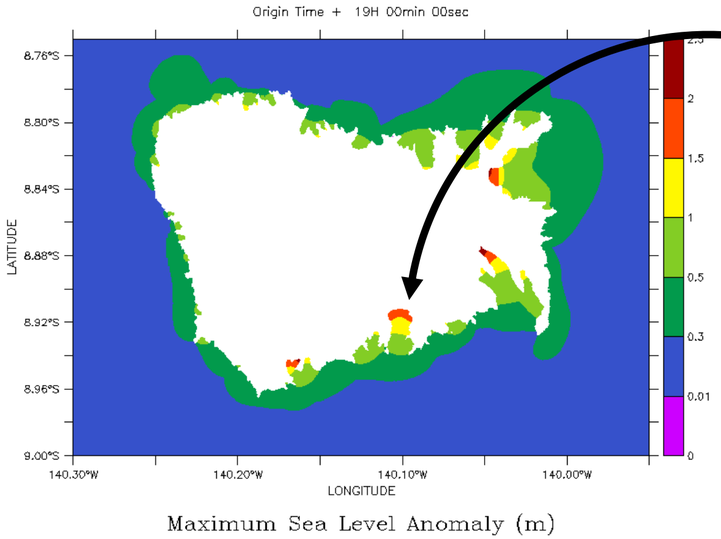



## Produit du Pacific Tsunami Warning Center (Hawaï)

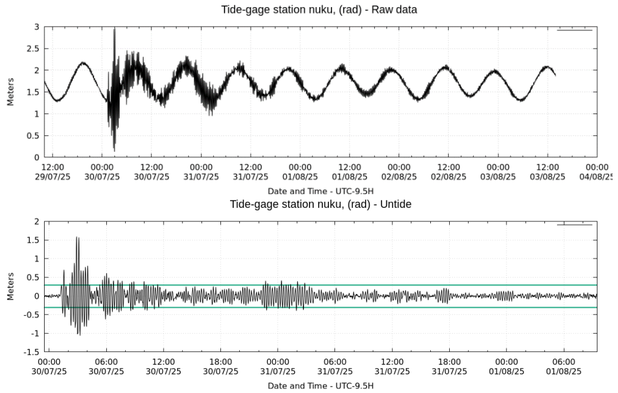


# Simulation numérique pour l'alerte

Hélène HEBERT *et al.*
CEA/DAM

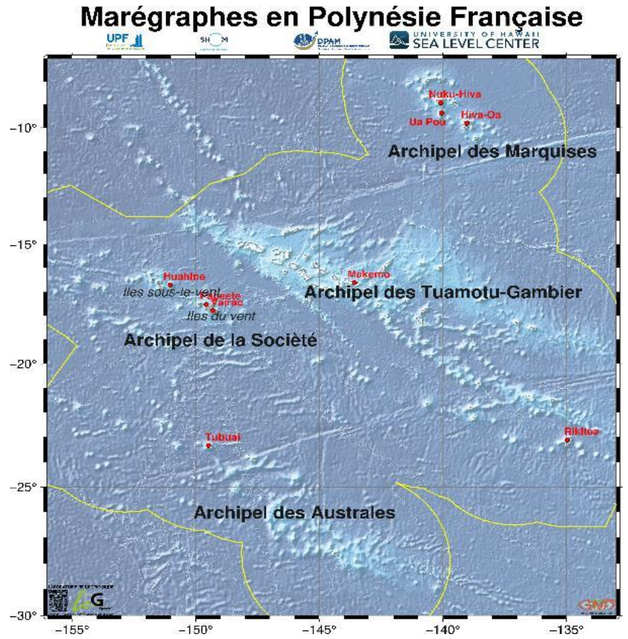



Taiohae Tide Gage



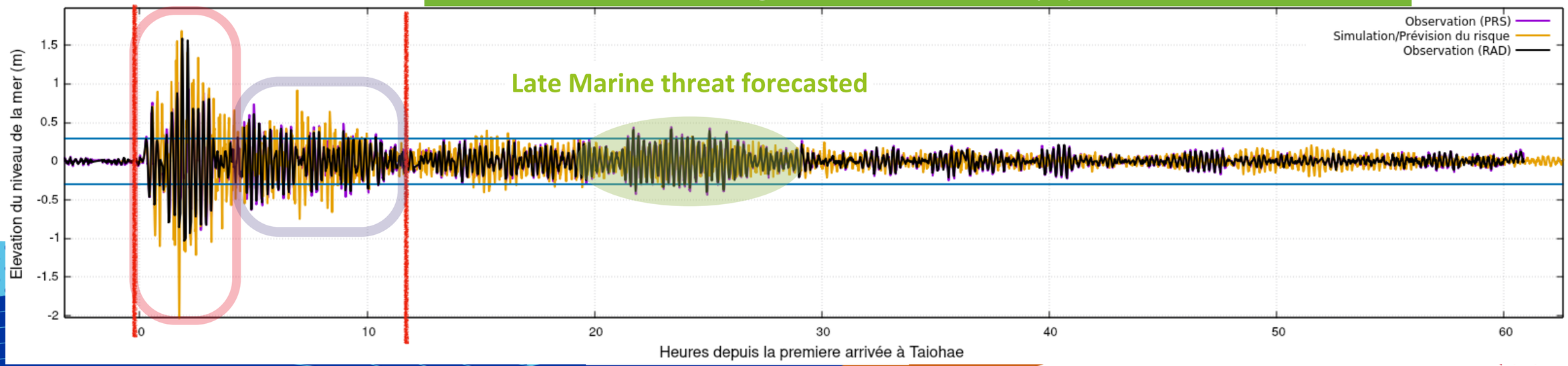

Kamchatka
29/07/2025
Mw=8.8






## Tsunami warning

## Forecast of warning duration & the end of population evacuation

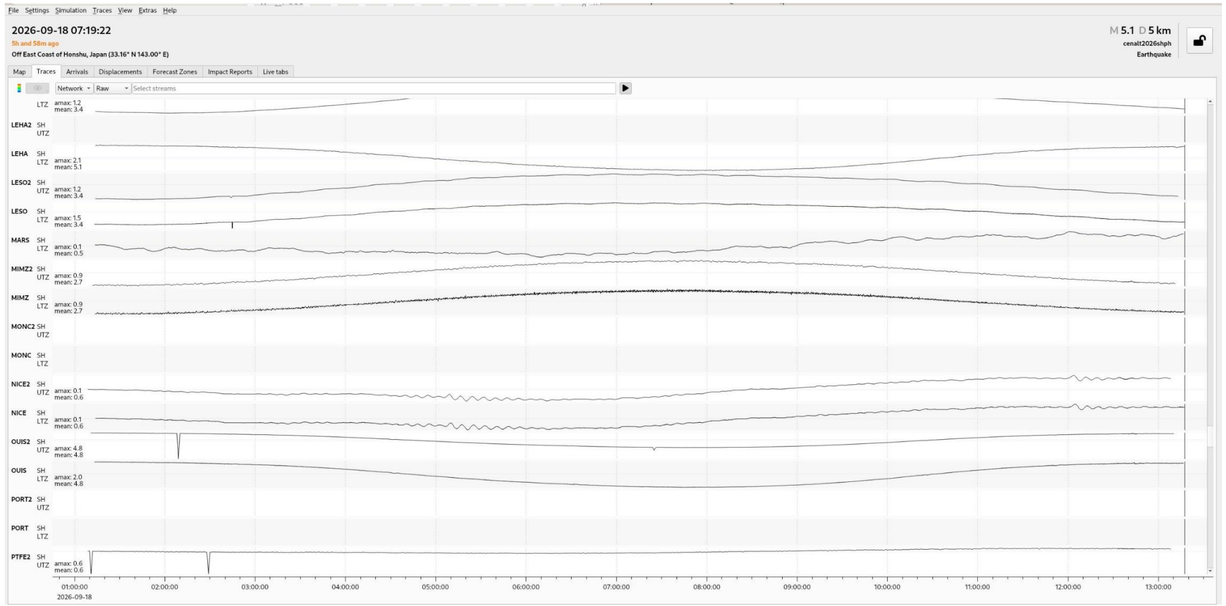


MINISTÈRES
TRANSITION ÉCOLOGIQUE
AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE
TRANSPORTS
VILLE ET LOGEMENT
*Liberté*
*Égalité*
*Fraternité*

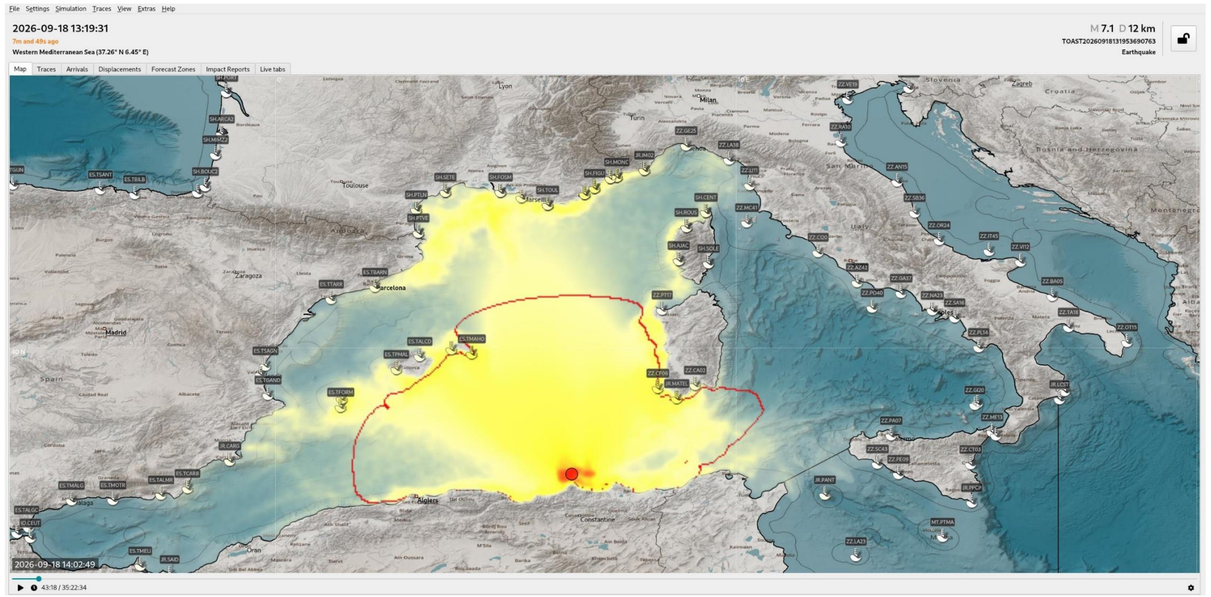
# Avancées récentes et perspectives

Hélène HEBERT *et al.*
CEA/DAM

- **Refonte 2026** du système Cenalt
  - Modernisation des outils informatiques




**Représentation de la propagation et des mesures marégraphiques**



MINISTÈRES
TRANSITION ÉCOLOGIQUE
AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE
TRANSPORTS
VILLE ET LOGEMENT
Liberté
Égalité
Fraternité

SHOM

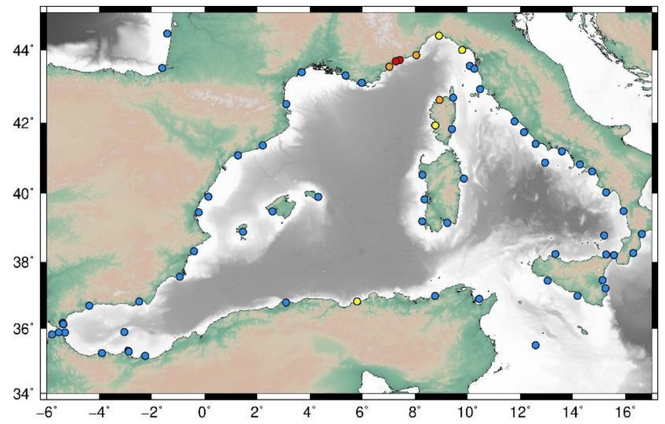
Hélène HEBERT *et al.*
CEA/DAM

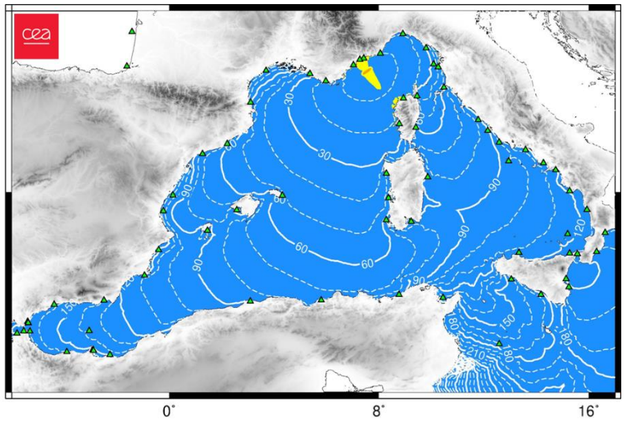
cea

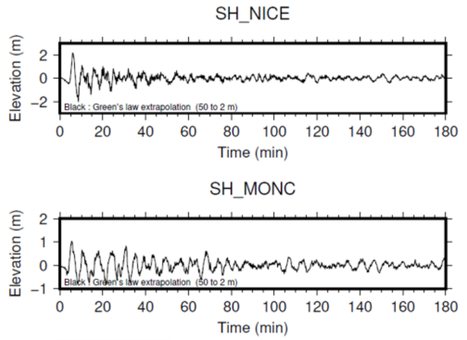
Voir aussi poster

unesco
Intergovernmental
Oceanographic
Commission

- Préparation de **l'exercice international NEAMWave2026** (cadre COI/Unesco)
  - Deux scénarios pour le Cenalt (novembre 2026)

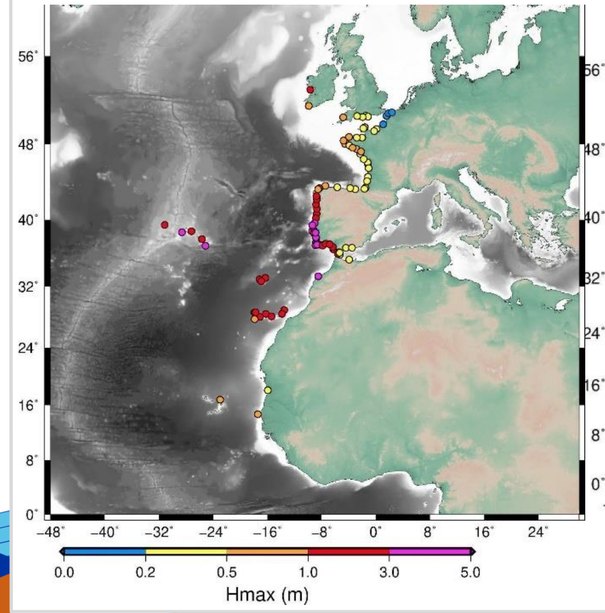


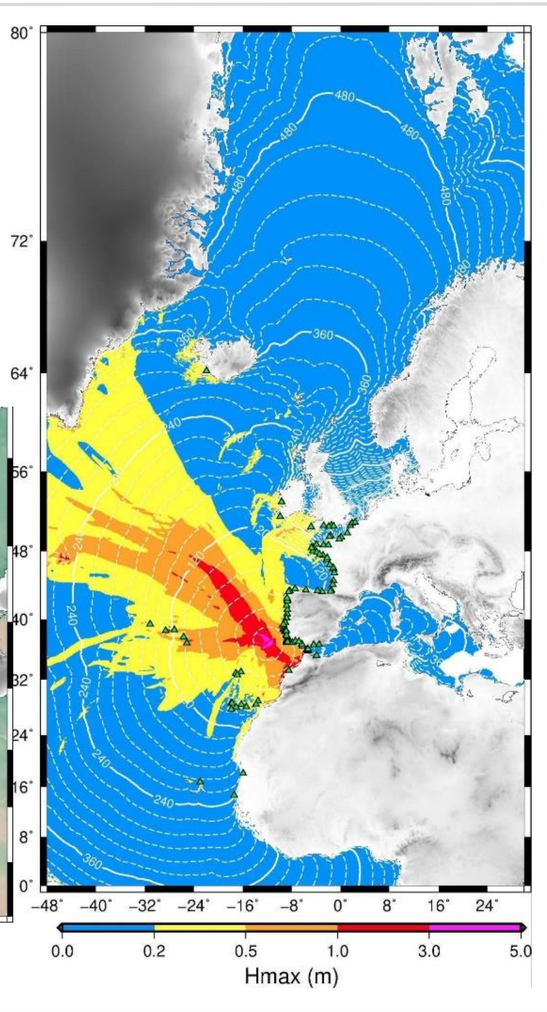





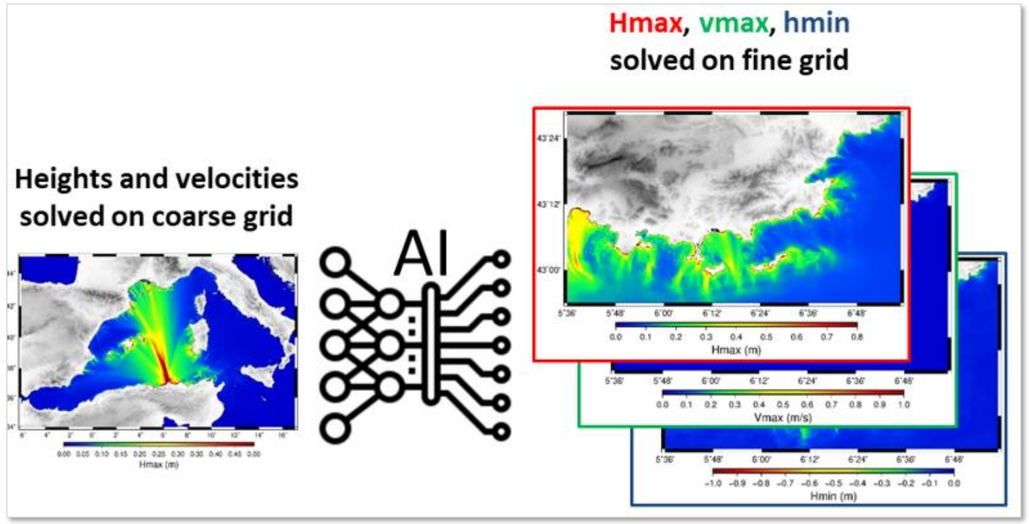


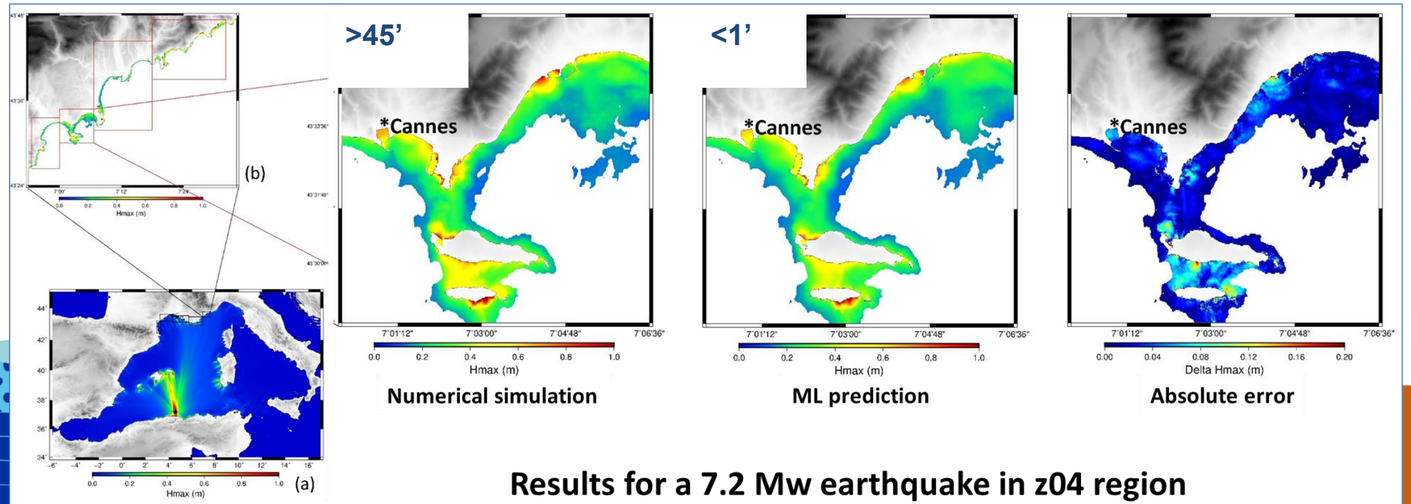


Hélène HEBERT *et al.*
CEA/DAM

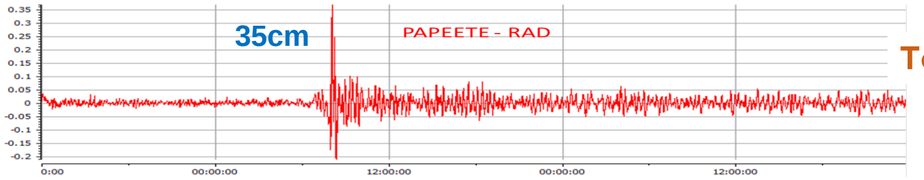
# Etudes pour la **prévision des effets en temps réel** par IA



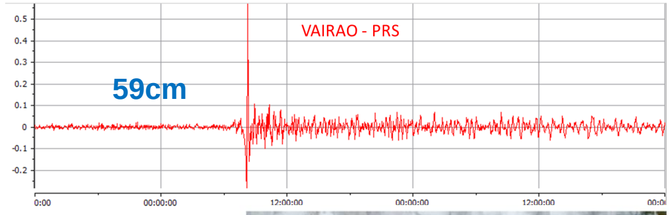



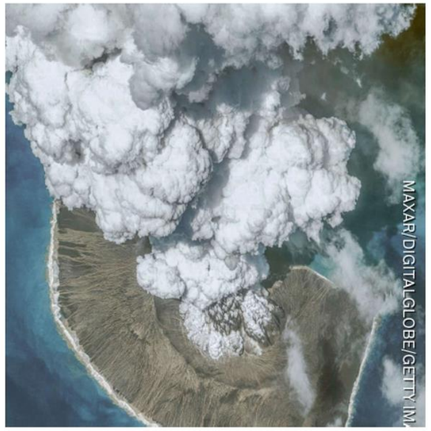

Thèse Pierre Andraud, 2025

Hélène HEBERT *et al.*
CEA/DAM




Tonga, 2022




Sur le terrain



- **Depuis l'explosion du Hunga Tonga Hunga Ha'apai (2022)** mise en place d'une surveillance permanente au CPPT
  - Cadre de procédures internationales (COI/Unesco)
  - Détection sur les bouées DART
  - Exercices PACWave

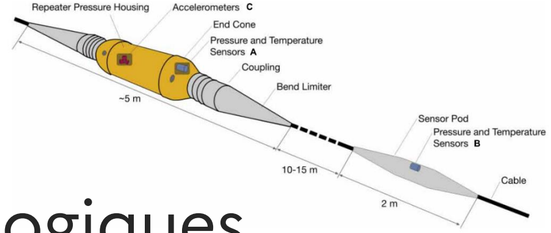
- **Plus généralement, recommandations de** surveillance et d'alerte pour les sources non sismiques
  - Besoin de densifier des réseaux de mesure
  - Ex : Stromboli (INGV)

MINISTÈRES
TRANSITION ÉCOLOGIQUE
AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE
TRANSPORTS
VILLE ET LOGEMENT
Liberté
Égalité
Fraternité

SHOM

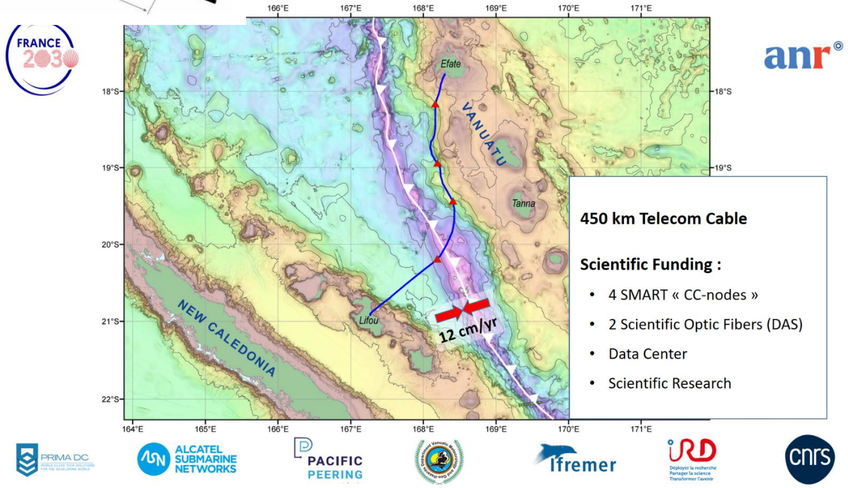
Hélène HEBERT *et al.*
CEA/DAM

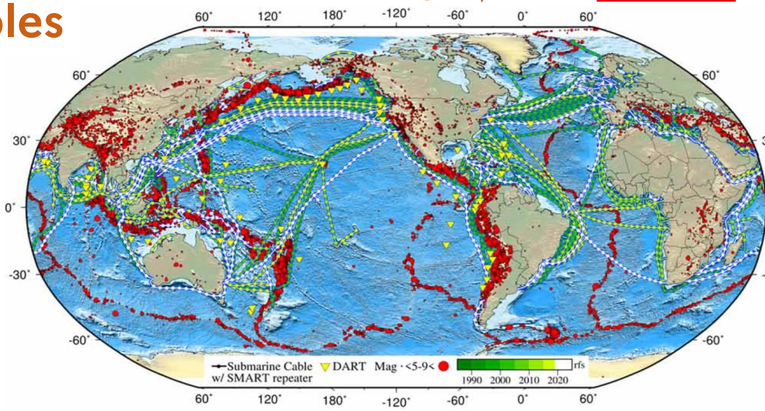
cea

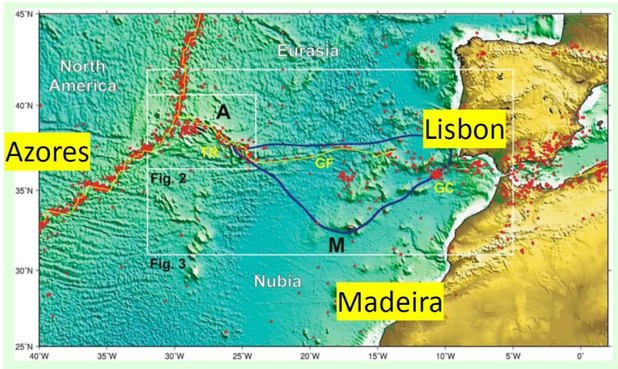


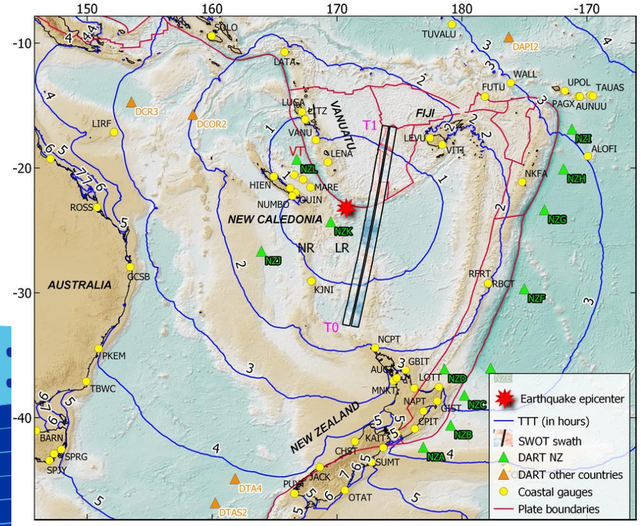

# SMART cables

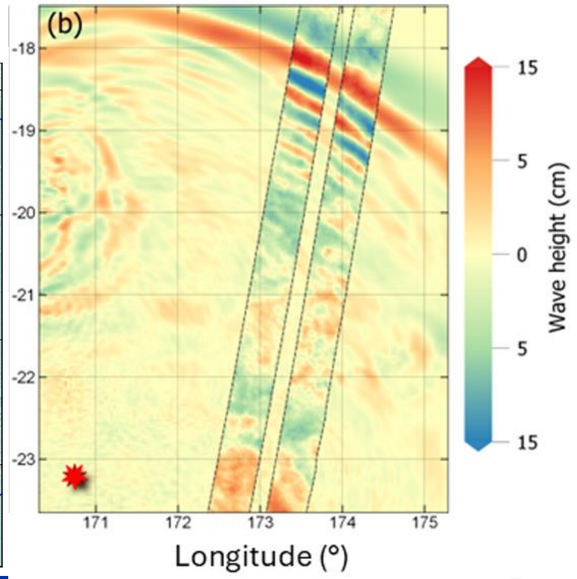
- Ruptures technologiques
  - **SMART cables**
  - **Capacité DAS** (Distributed Acoustic Sensing) le long des fibres optiques (sur SMART ou pas)
  - Satellites : **SWOT** (1ère détection en 2023, Loyauté)










Roger et al., 2026

# Conclusions

Hélène HEBERT *et al.*
CEA/DAM

- **Comprendre et prévenir les effets tsunamis** supposent des actions pour
  - Réseaux sismiques et marégraphiques
  - Formations et exercices
  - Préparation des littoraux

Tsunami Ready

- Rôle croissant de la **simulation numérique pour l'alerte**
  - Prenant en compte des ruptures technologiques majeures
  - Soutien pour l'aide à la décision



- **Sensibilisation à soutenir** dans la durée, au croisement science / opérationnel

Hélène HEBERT *et al.*
CEA/DAM

# Merci pour votre attention