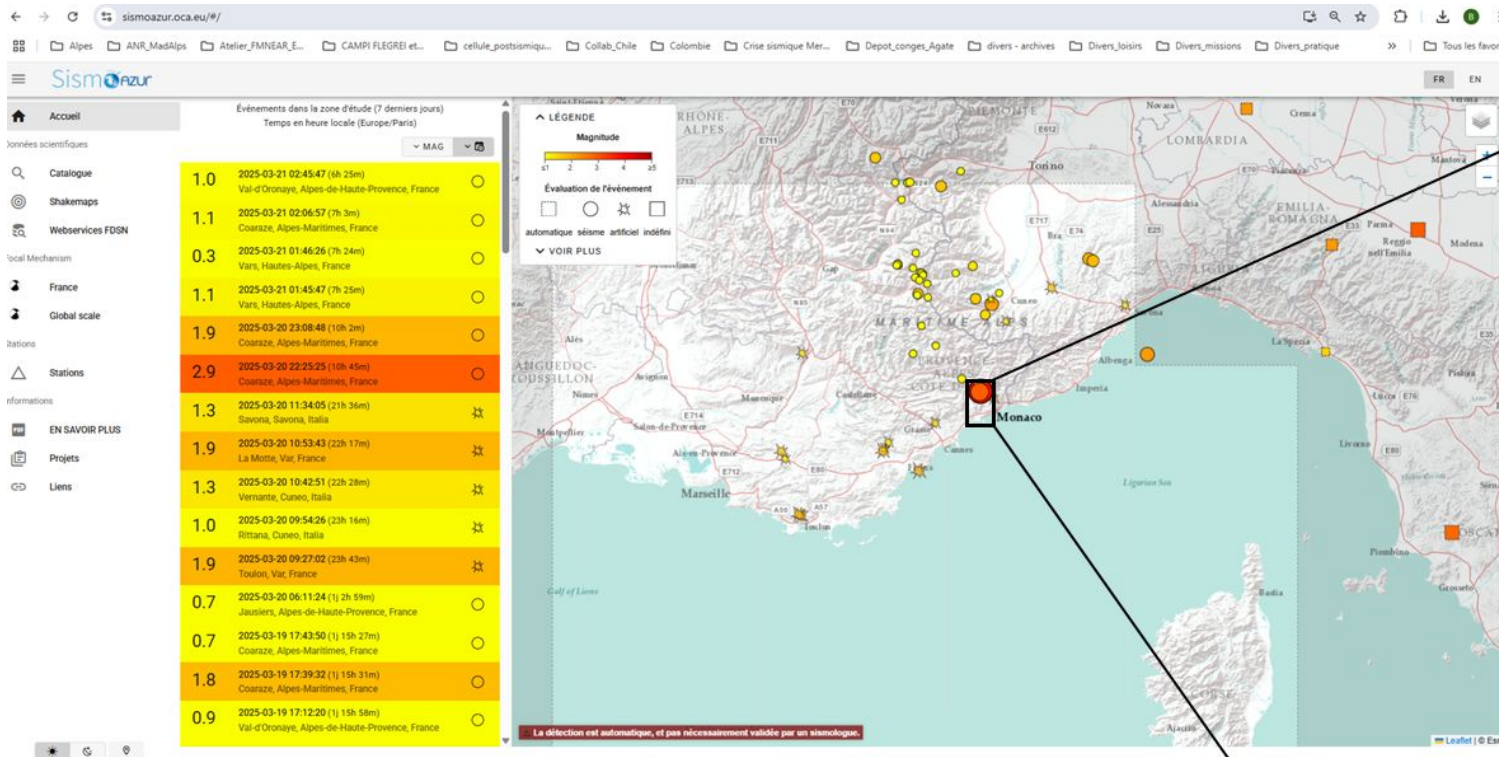




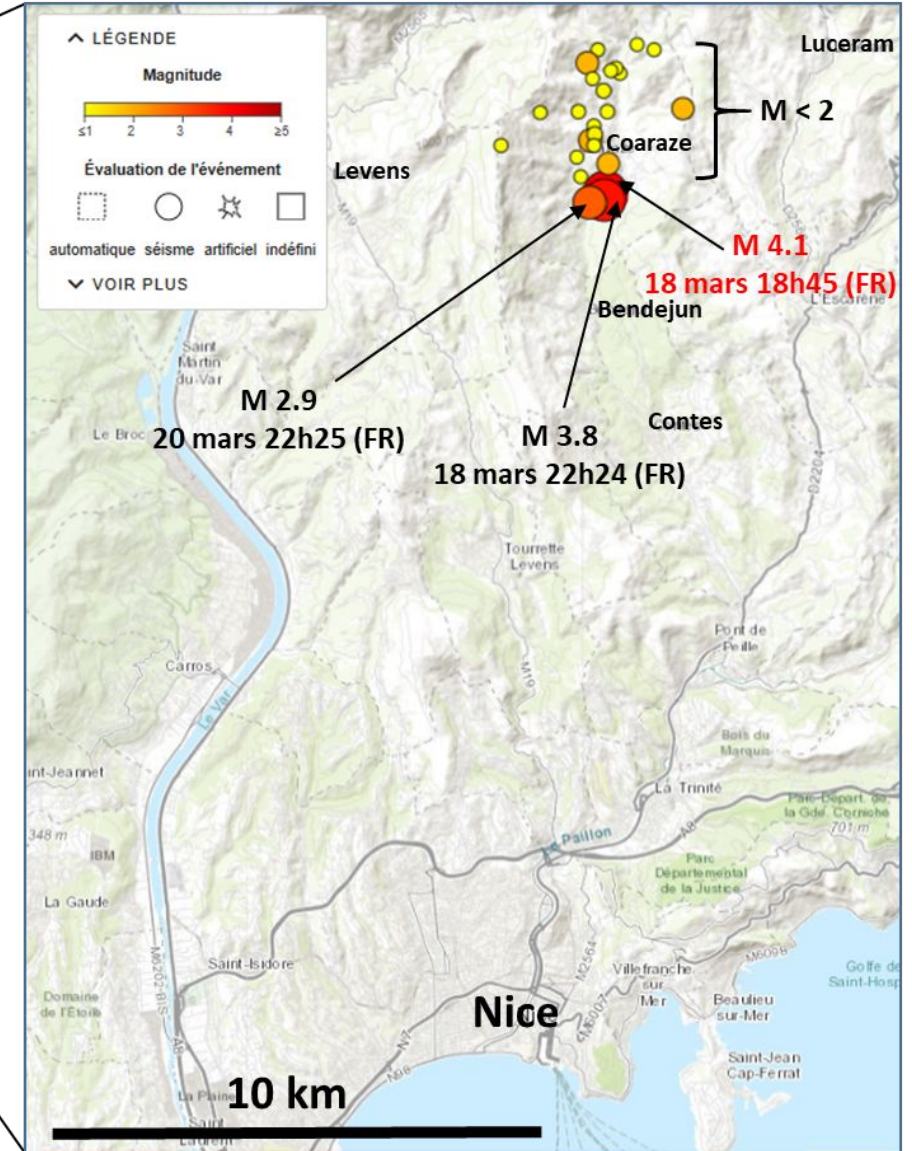
**Le séisme de magnitude 4.1 du 18 mars 2025  
près de la commune de Coaraze  
(~18 km au nord de Nice)  
et la séquence sismique qui a suivi**

Rapport scientifique et technique

L'Observatoire sismologie, les Équipes Séismes – Aléas et Risques et Séismes – Cycles de Géoazur



## 28 répliques détectées en 2 jours et demi



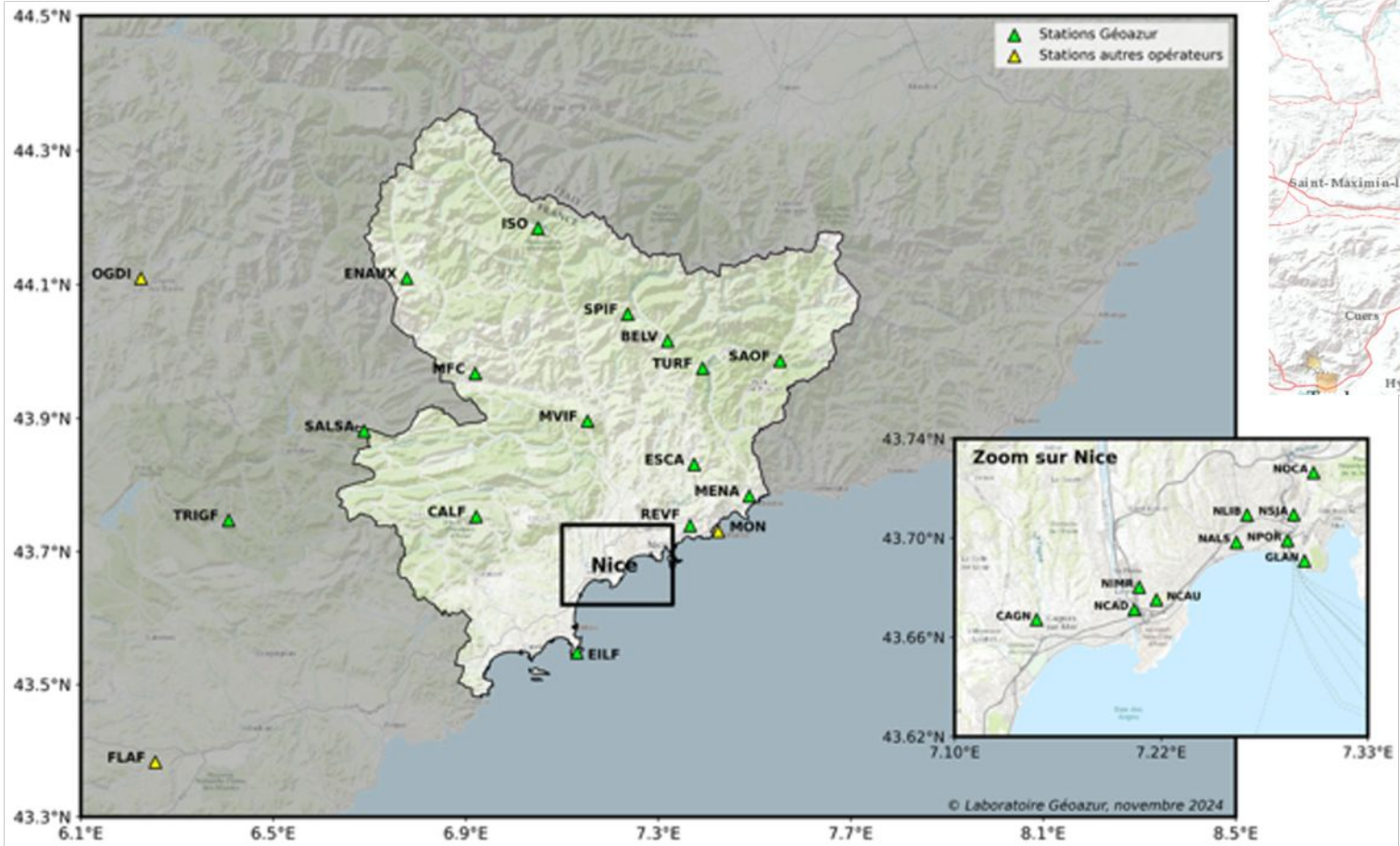
<https://sismoazur.oca.eu/#/>

**La séquence sismique initiée le 18 mars 2025  
près de la commune de Coaraze  
(18 km au nord de Nice)**

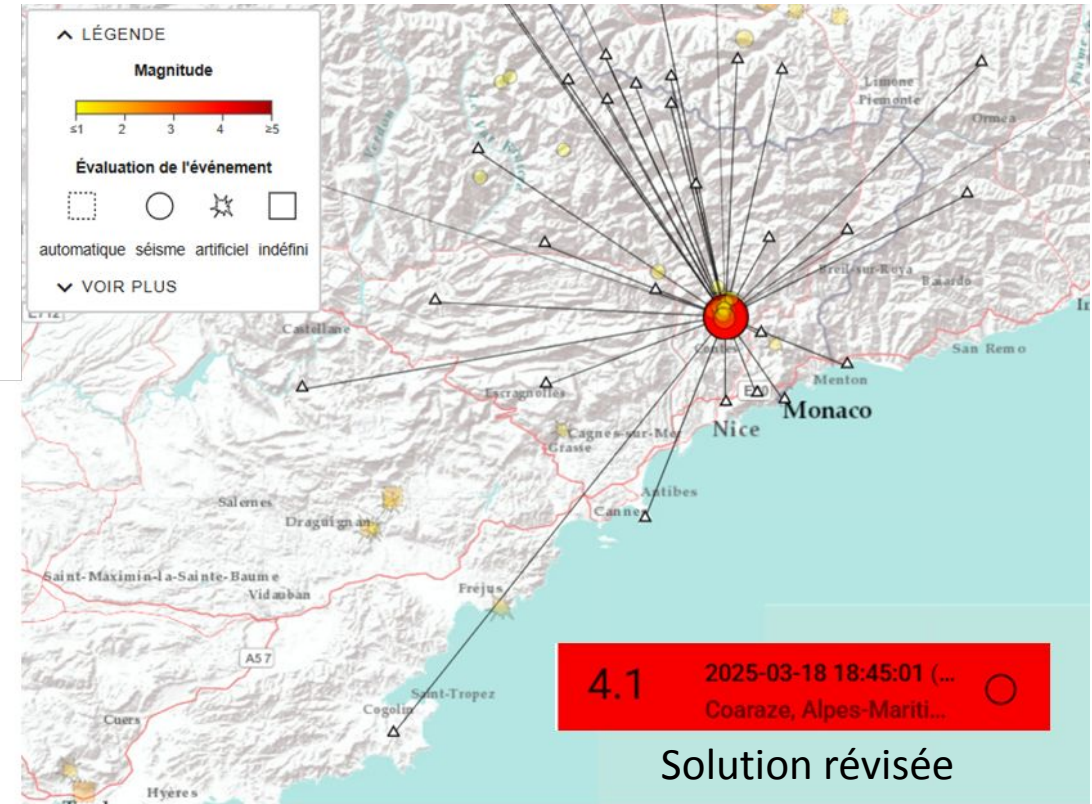
**3 tremblements de terre largement ressentis dans le département (MI 4.1, MI 3.8, MI 2.9)**

A la date du 21 mars 2025

Un réseau sismologique régional/départemental qui scrute l'activité sismique en permanence et qui transmet ses données en temps réel à :



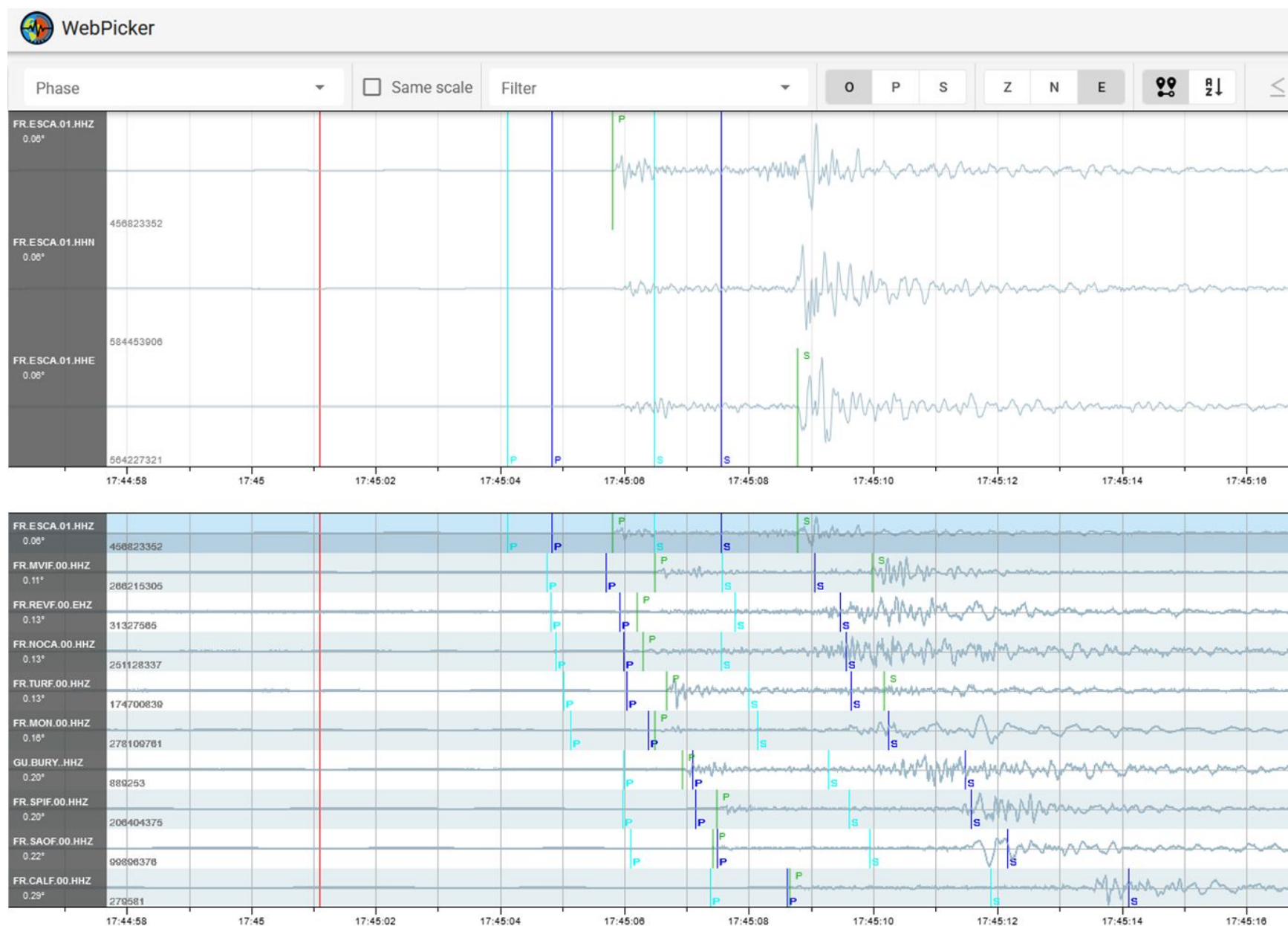
▲ : station sismologique (sismomètre)



21 stations FR ont été utilisées pour la localisation Stations ayant servi à la localisation des séismes (Epos-France et pays limitrophes). Observatoire de la Côte d'Azur avec le soutien du Conseil Départemental.



# Détection automatisée des tremblements de terre puis révision par sismologue



Le séisme est localisé à partir des temps d'arrivée des ondes aux différentes stations sismologiques

La mesure des amplitudes maximale des ondes, corrigées de l'effet de distance, permet de calculer la magnitude du séisme

Ces mesures sont tout d'abord réalisées par des programmes automatisés, puis elles sont validées par un sismologue

## Premier message automatique envoyé 3 min après le premier choc

ID: [oca2025fkfj](#)

Type: undefined (**automatic**)

Magnitude: 3.96

Time (local): 2025-03-18 18:45:01

Time (UTC): 2025-03-18 17:45:01

Latitude: 43.815

Longitude: 7.303

Depth: 18.49km

## Révision manuelle du premier choc 6 min plus tard

ID: [oca2025fkfj](#)

Type: earthquake (**manual**)

Magnitude: 4.09

Time (local): 2025-03-18 18:45:01

Time (UTC): 2025-03-18 17:45:01

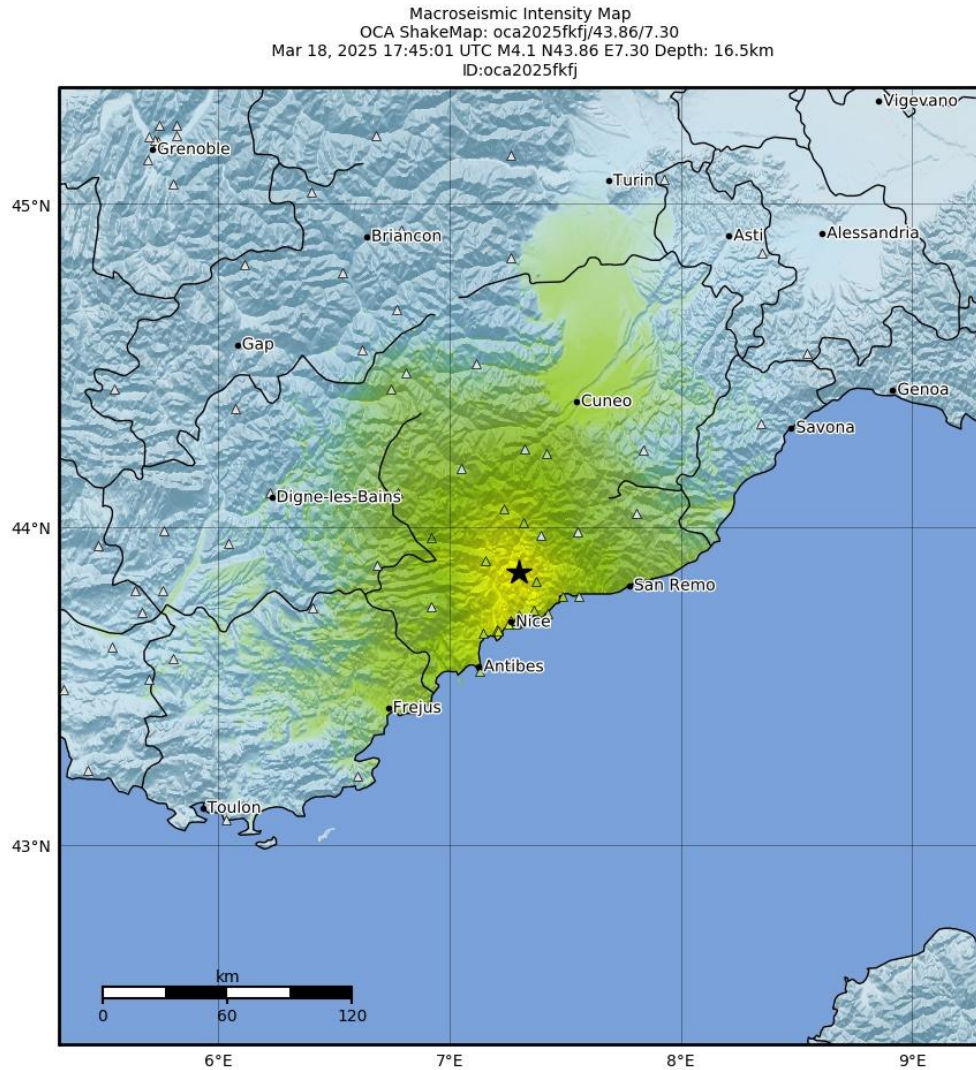
Latitude: 43.858

Longitude: 7.302

Depth: 16.46km

Les deux localisations sont proches, quelques km de différence en latitude et en profondeur. Magnitude similaire.

## Shakemap du premier choc envoyée 13 min après le séisme sur la base de la localisation révisée



SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
DAMAGE	None	None	None	Very light	Light	Moderate	Moderate/heavy	Heavy	Very heavy
PGA(%g)	<0.05	0.14	0.62	2.76	6.2	11.5	21.5	40.1	>74.7
PGV(cm/s)	<0.02	0.06	0.29	1.41	4.65	9.64	20	41.4	>85.8
INTENSITY	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX+

Scale EMS 98, based on Worden et al. (2012) Version 1: Processed 2025-03-18T17:58:40Z  
 △ Seismic Instrument ○ Macroseismic Observation ★ Epicenter

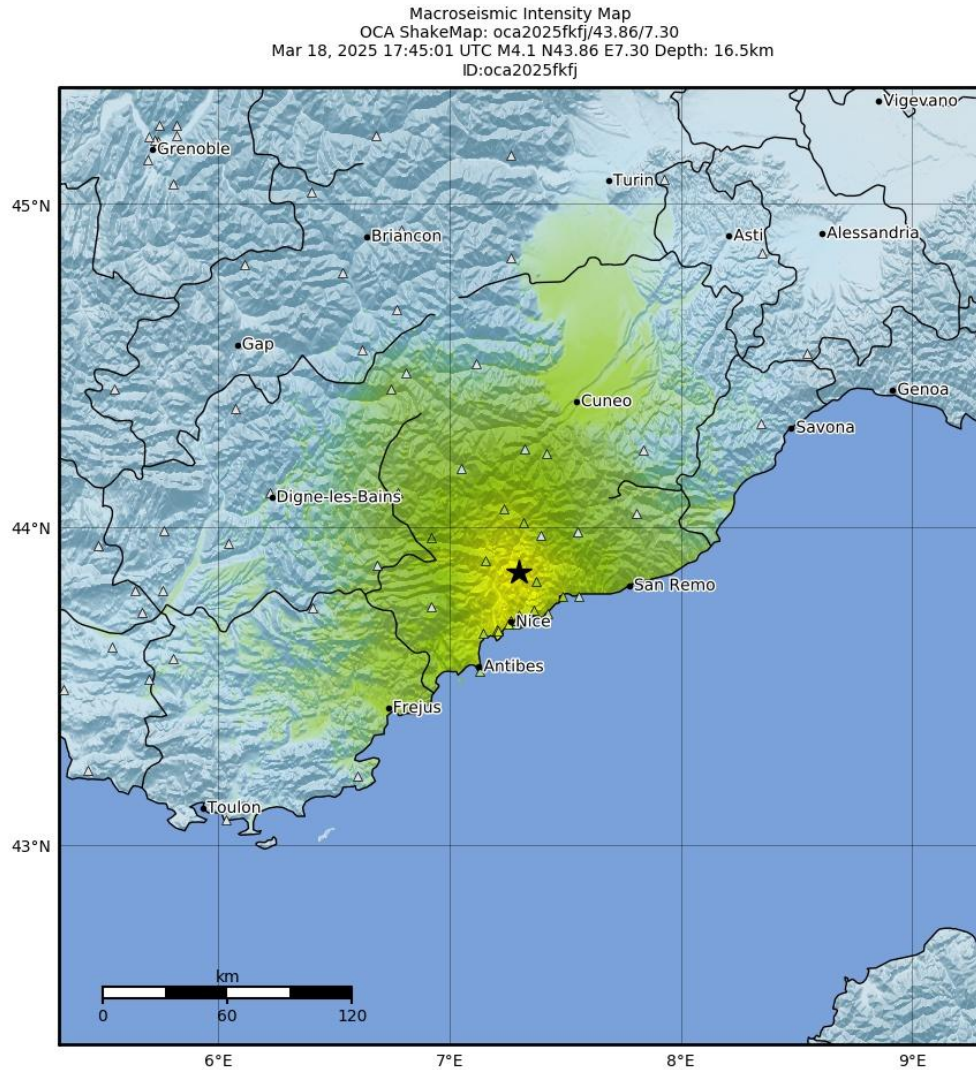
On obtient donc une estimation du niveau de vibration et de dommage potentiel très rapidement après le séisme.

Dans le cas présent, pas de dommages significatifs ni victimes, juste un très large ressenti.

L'étendue de la zone de ressenti par la population peut s'expliquer, au moins en partie, par la relativement grande profondeur du foyer (lorsque le séisme est plus profond, l'impact est moins fort à l'aplomb mais est plus étendu).

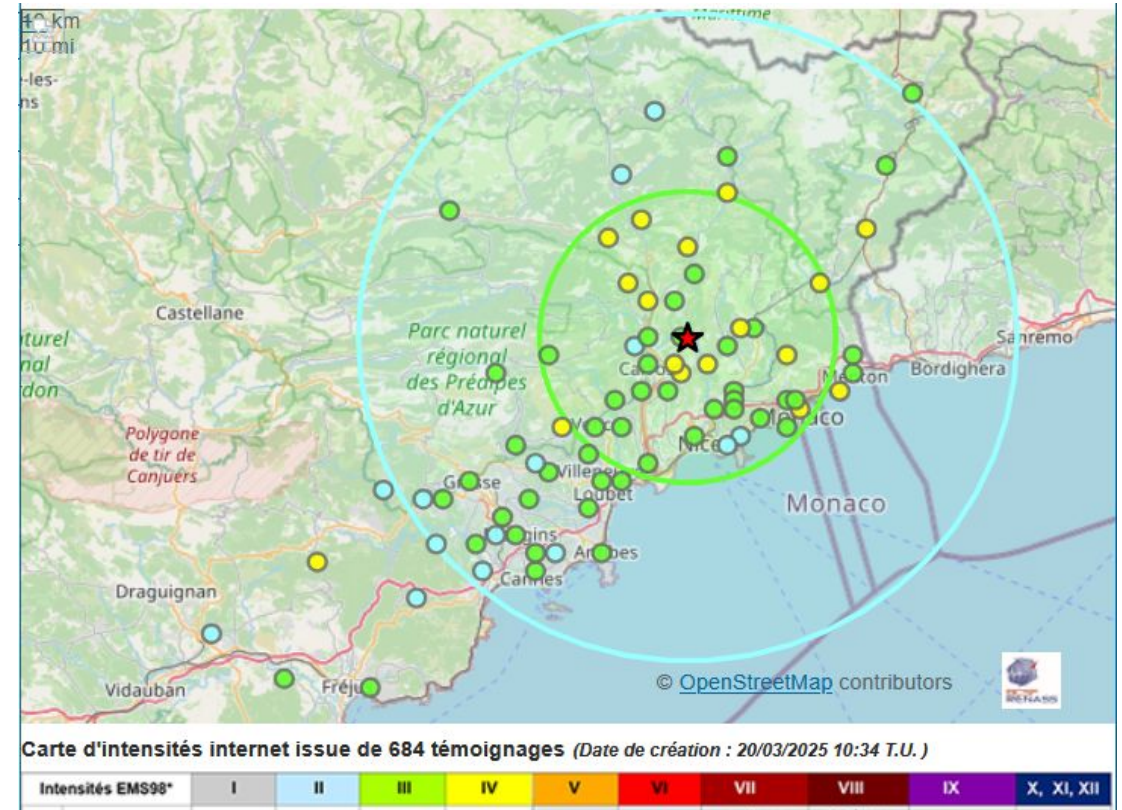
<https://sismoazur.oca.eu/resource/file?eventid=oca2025fkfj&name=shakemap/current/products/intensity.jpg>

## Shakemap du premier choc envoyée 13 min après le séisme sur la base de la localisation révisée



SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
DAMAGE	None	None	None	Very light	Light	Moderate	Moderate/heavy	Heavy	Very heavy
PGA(%g)	<0.05	0.14	0.62	2.76	6.2	11.5	21.5	40.1	>74.7
PGV(cm/s)	<0.02	0.06	0.29	1.41	4.65	9.64	20	41.4	>85.8
INTENSITY	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX, X, XI, XII

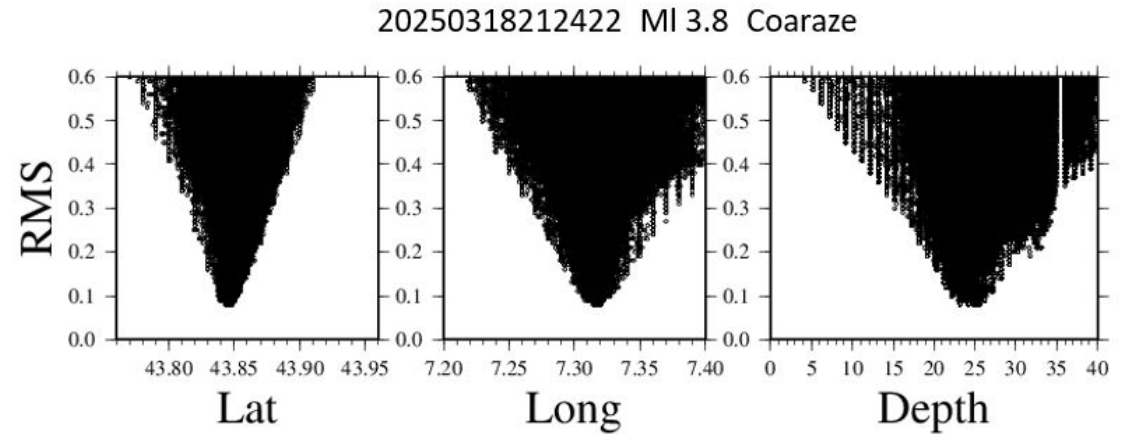
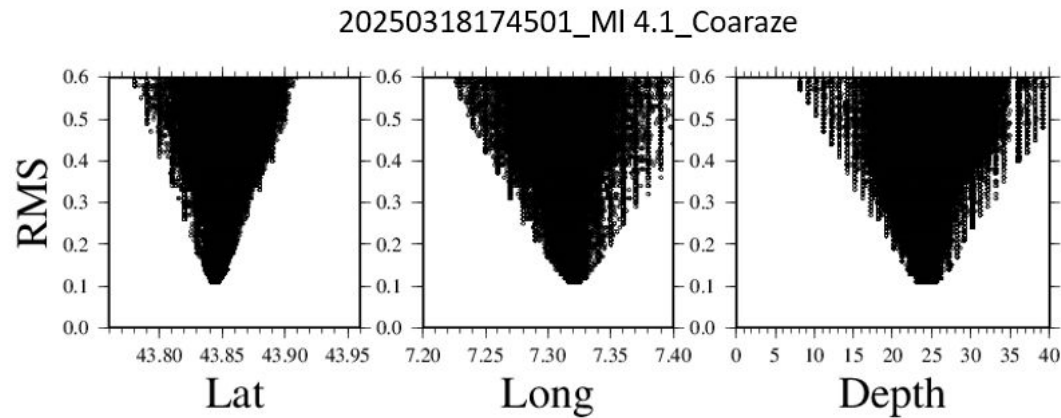
Scale EMS 98, based on Worden et al. (2012) Version 1: Processed 2025-03-18T17:58:40Z  
 △ Seismic Instrument ○ Macroseismic Observation ★ Epicenter



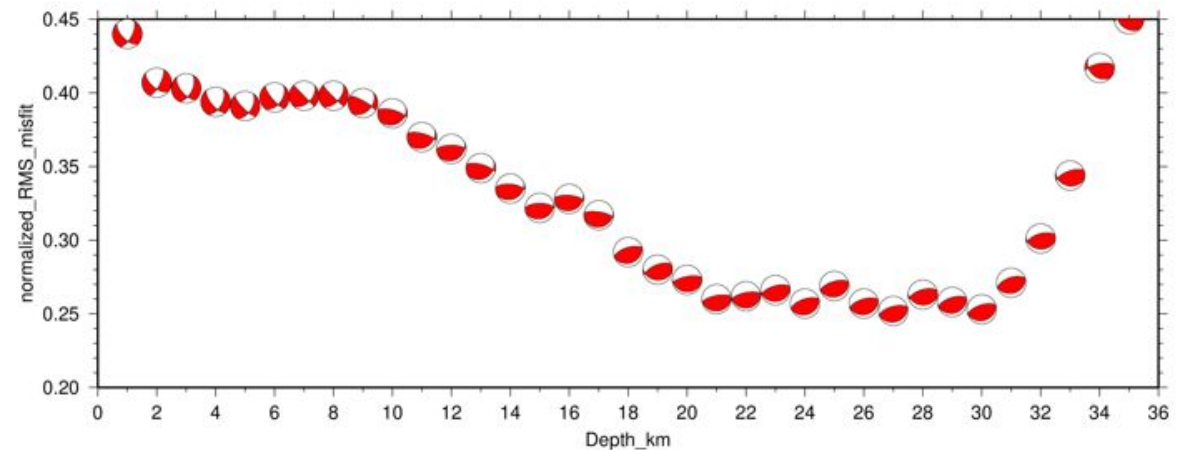
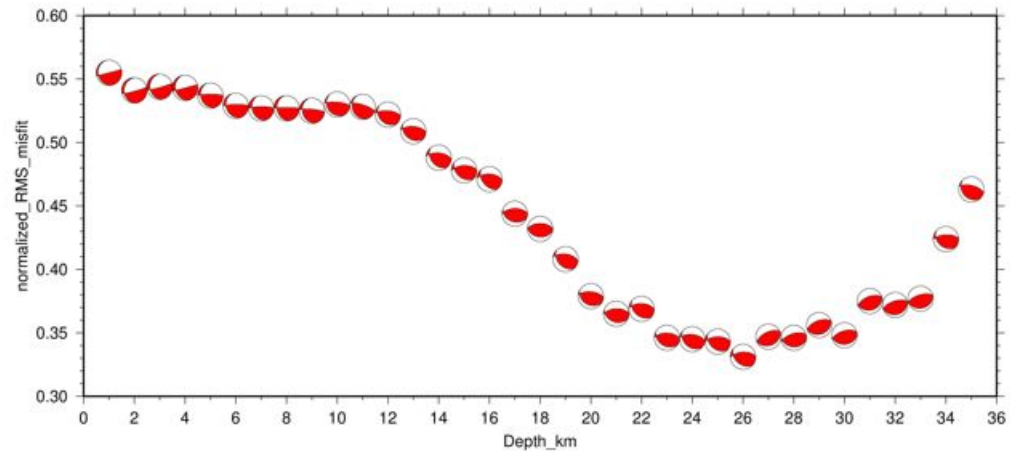
Carte des témoignages sur l'intensité du mouvement du sol suite au séisme du 18 mars 2025 (Bureau Central Sismologique Français : <https://www.franceseisme.fr/nseisme.php?IdSei=1271>). Vers l'ouest, le séisme a été ressenti au-delà de Fréjus (55 km de l'épicentre, étoile rouge) et jusqu'à Saint Martin-Vésubie au nord (35 km de l'épicentre). Les témoignages (points de couleur) indiquent une perception humaine de niveau modérée : intensité IV maximum (ressenti à l'intérieur des habitations par de nombreuses personnes, à l'extérieur ressenti par peu de personnes. Quelques personnes sont réveillées. Les fenêtres, les portes et la vaisselle vibrent).

Localisés initialement vers 16 à 20 km de profondeur par Sismoazur, les deux chocs sont relocalisés à 26 +/- 4 km par des inversions indépendantes des temps d'arrivée et des formes d'ondes

Inversion des temps d'arrivée P et S (méthode GRIDSIMLOC, exploration non linéaire et test automatisé de 81 variantes de modèles de vitesse et de rapports  $V_p/V_s$ ) :

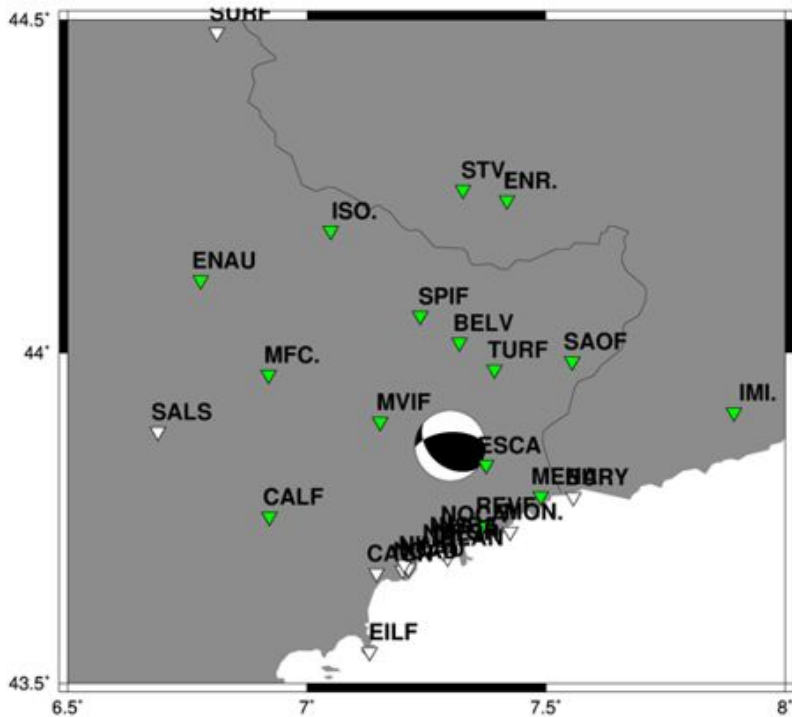


Inversion des formes d'ondes (méthode FMNEAR) avec balayage de la profondeur avec un pas de 1 km



Dans les deux cas la valeur de RMS représente l'erreur d'ajustement des données et les meilleures solutions correspondent aux valeurs minimales de RMS





## Premier choc Ml 4.1 18 mars 18h45 (FR)

### Inversion jointe des formes d'ondes et des polarités (méthode FMNEAR)

strike dip rake  
130.0 40.0 125.3 : best focal mechanism

RMS<sub>st</sub> = 0.331

RMS<sub>waveforms</sub> = 0.589

RMS<sub>polarities</sub> = 0.019

time window factor = 100 %

Waveforms USED in the inversion

Polarities USED in the inversion

Selected depth: 26.0 km

85 : num components + polarities  
78 % : index of confidence

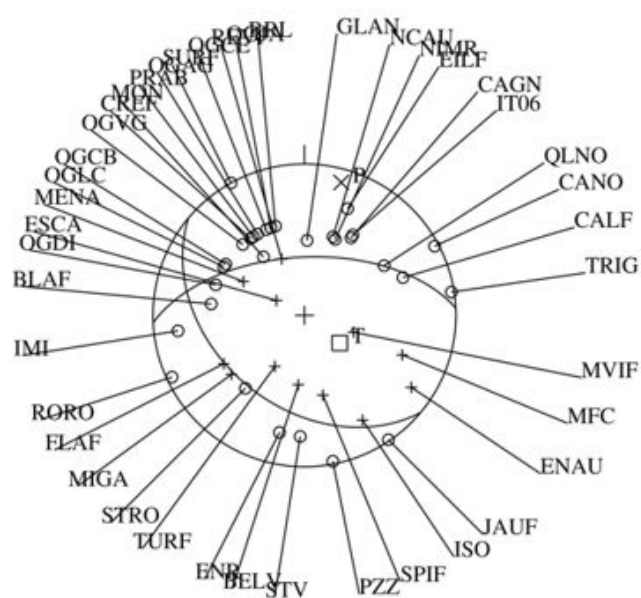
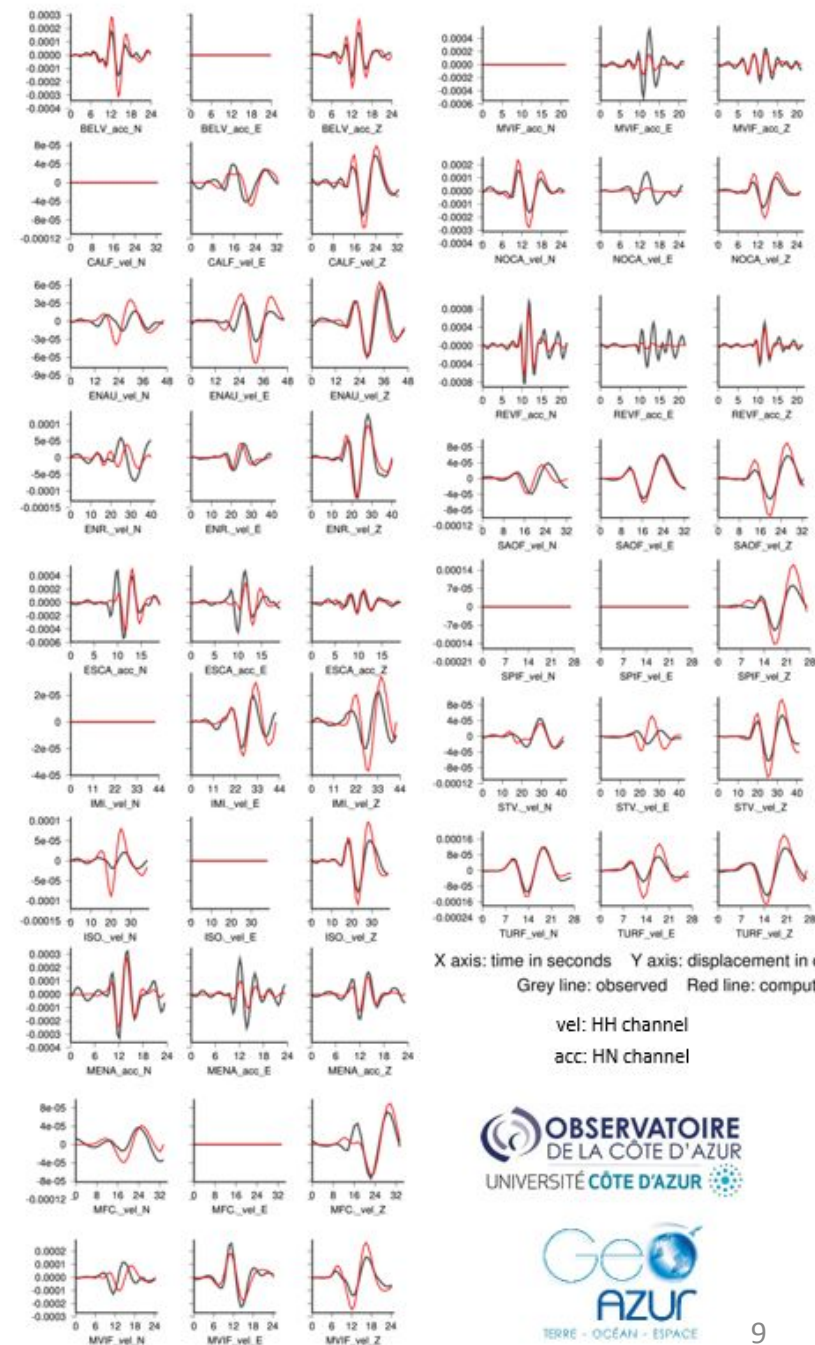
3.63 : Mw from waveform inversion

Epicenter used (lat, long): 43.860 7.300  
Starting depth(km): 26.0

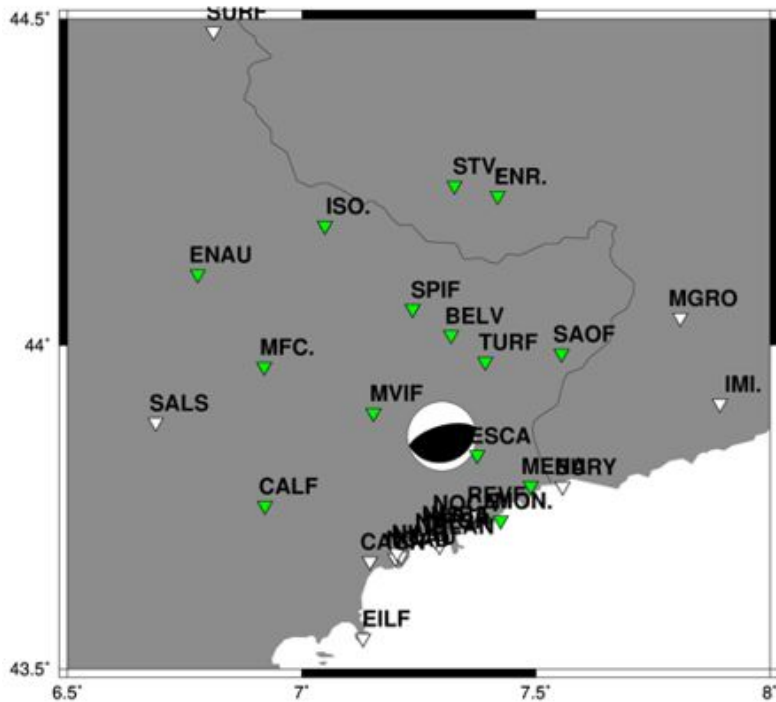
strike dip rake of the second nodal plane:  
267.2 58.4 64.1

\*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\* quality: A \*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\*

\*\*\*\* Signification of quality \*\*\*\*  
A: focal mechanism STRONGLY CONSTRAINED  
B: focal mechanism WELL CONSTRAINED  
C: focal mechanism MODERATELY CONSTRAINED  
D: focal mechanism WEAKLY CONSTRAINED  
E: focal mechanism BARELY CONSTRAINED  
F: focal mechanism NOT CONSTRAINED  
\*\*\*\*\*



\*\*\*\*\*  
Mw = 3.63  
\*\*\*\*\*



## Deuxième choc MI 3.9 18 mars 22h24 (FR)

### Inversion jointe des formes d'ondes et des polarités (méthode FMNEAR)

strike dip rake  
75.0 25.0 90.6 : best focal mechanism

RMStot = 0.252

RMS\_waveforms = 0.462

RMS\_polarities = 0.039

time window factor = 100 %

Waveforms USED in the inversion

Polarities USED in the inversion

Selected depth: 27.0 km

84 : num components + polarities

82 % : index of confidence

3.35 : Mw from waveform inversion

Epicenter used (lat, long): 43.860 7.300

Starting depth(km): 27.0

strike dip rake of the second nodal plane:

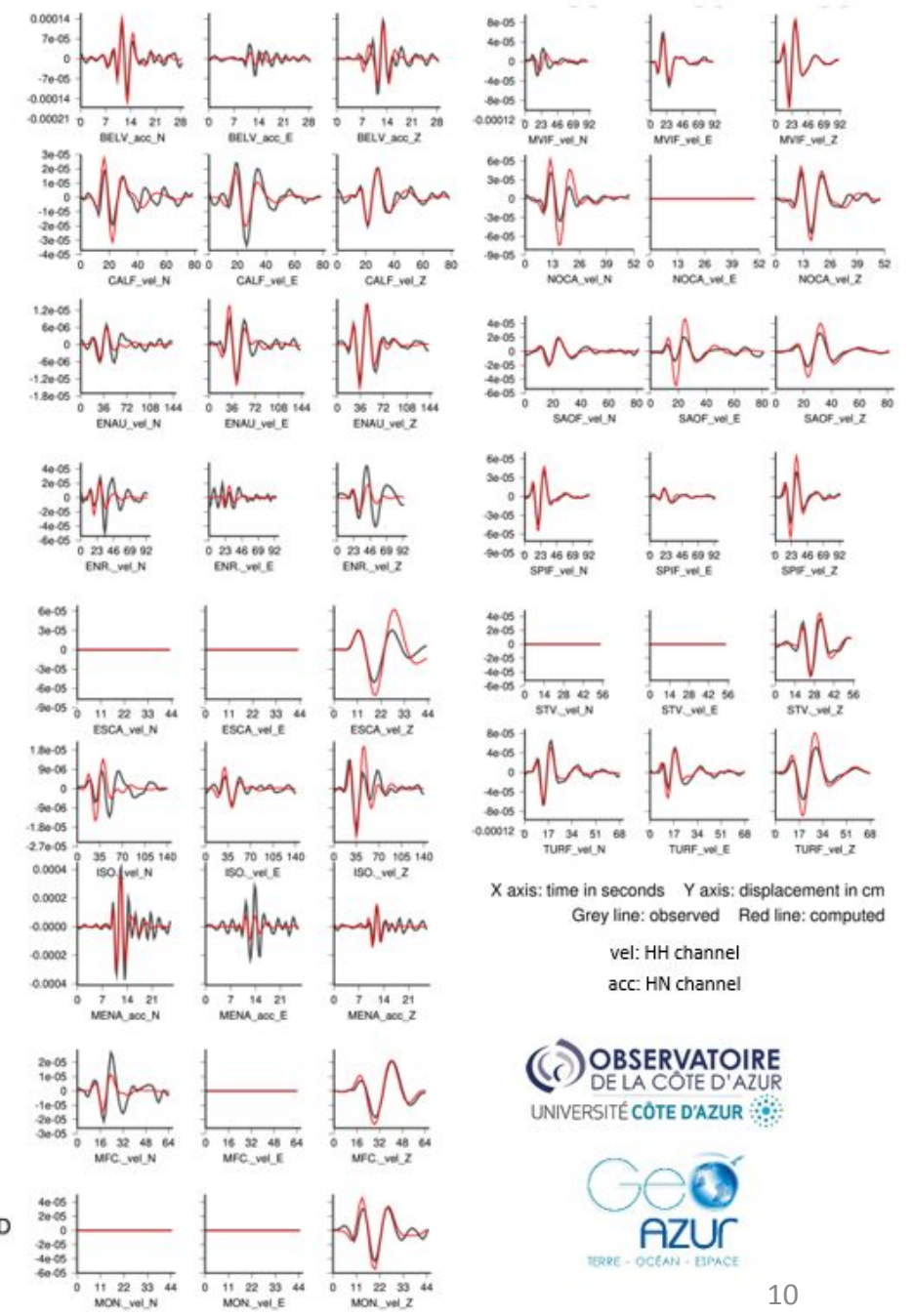
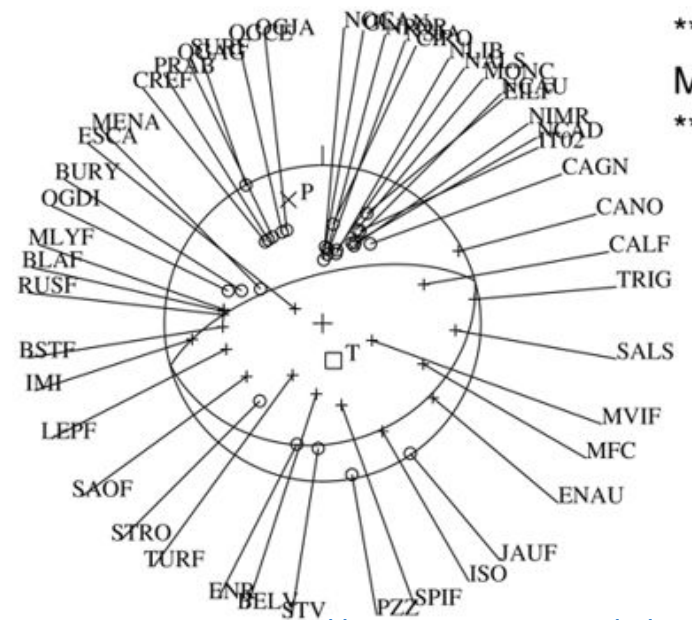
254.3 65.0 89.7

\*\*\*\*\* quality: A \*\*\*\*\*

\*\*\*\* Signification of quality \*\*\*\*\*

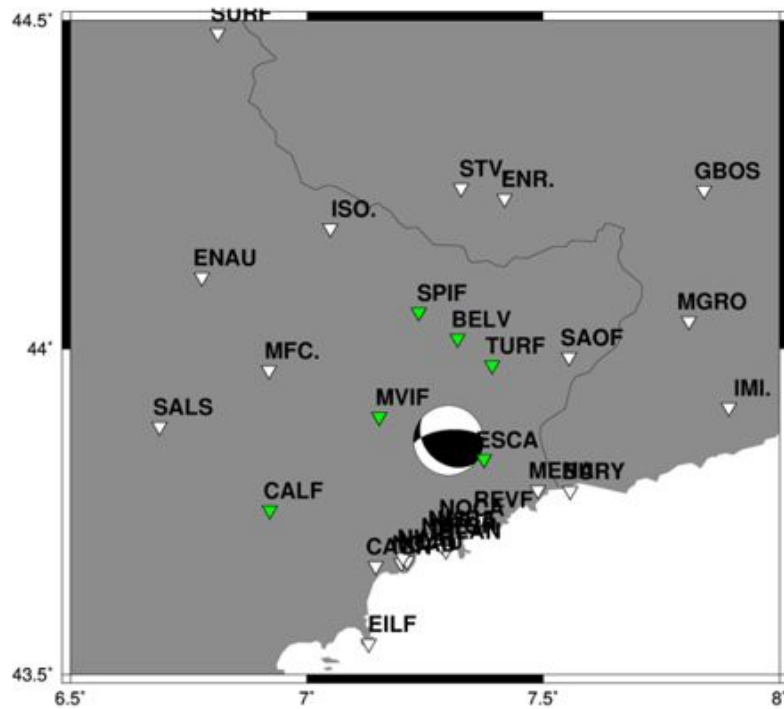
- A: focal mechanism STRONGLY CONSTRAINED
- B: focal mechanism WELL CONSTRAINED
- C: focal mechanism MODERATELY CONSTRAINED
- D: focal mechanism WEAKLY CONSTRAINED
- E: focal mechanism BARELY CONSTRAINED
- F: focal mechanism NOT CONSTRAINED

\*\*\*\*\*  
Mw = 3.35  
\*\*\*\*\*



X axis: time in seconds Y axis: displacement in cm  
Grey line: observed Red line: computed  
vel: HH channel  
acc: HN channel





## MI 2.9

### 20 mars 22h25 (FR)

### Inversion jointe des formes d'ondes et des polarités (méthode FMNEAR)

strike dip rake  
265.0 65.0 66.0 : best focal mechanism

RMS<sub>st</sub> = 0.304

RMS<sub>waveforms</sub> = 0.594

RMS<sub>polarities</sub> = 0.014

time window factor = 62 %

Waveforms USED in the inversion  
Polarities USED in the inversion

Selected depth: 23.0 km

54 : num components + polarities  
87 % : index of confidence

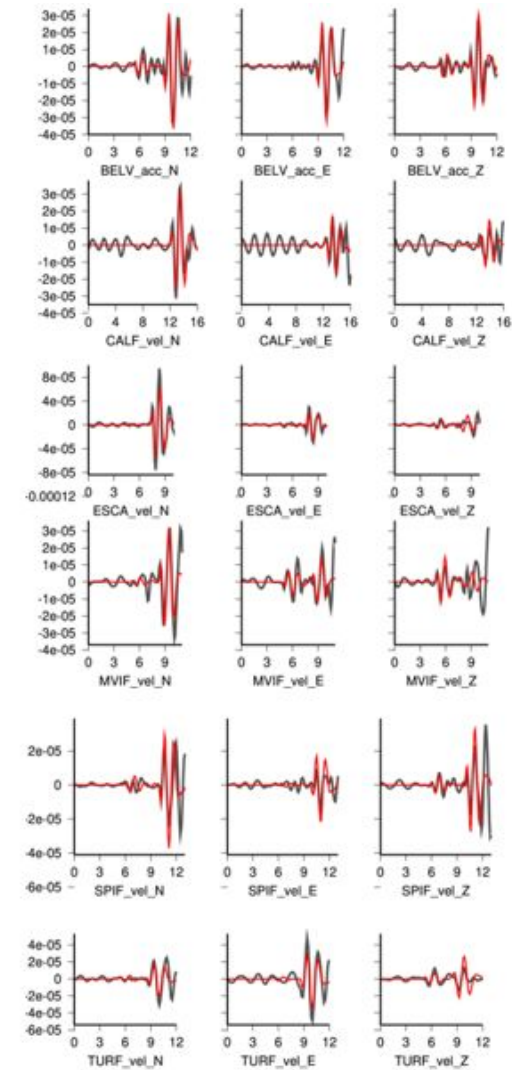
2.63 : Mw from waveform inversion

Epicenter used (lat, long): 43.860 7.300  
Starting depth(km): 23.0

strike dip rake of the second nodal plane:  
131.5 34.1 131.1

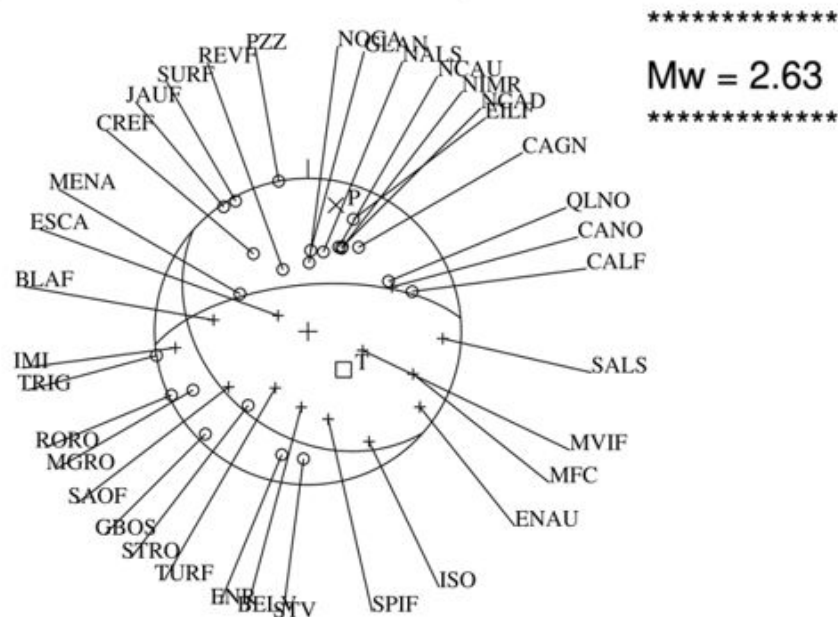
\*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\* quality: A \*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\*

\*\*\*\* Signification of quality \*\*\*\*\*  
A: focal mechanism STRONGLY CONSTRAINED  
B: focal mechanism WELL CONSTRAINED  
C: focal mechanism MODERATELY CONSTRAINED  
D: focal mechanism WEAKLY CONSTRAINED  
E: focal mechanism BARELY CONSTRAINED  
F: focal mechanism NOT CONSTRAINED  
\*\*\*\*\*

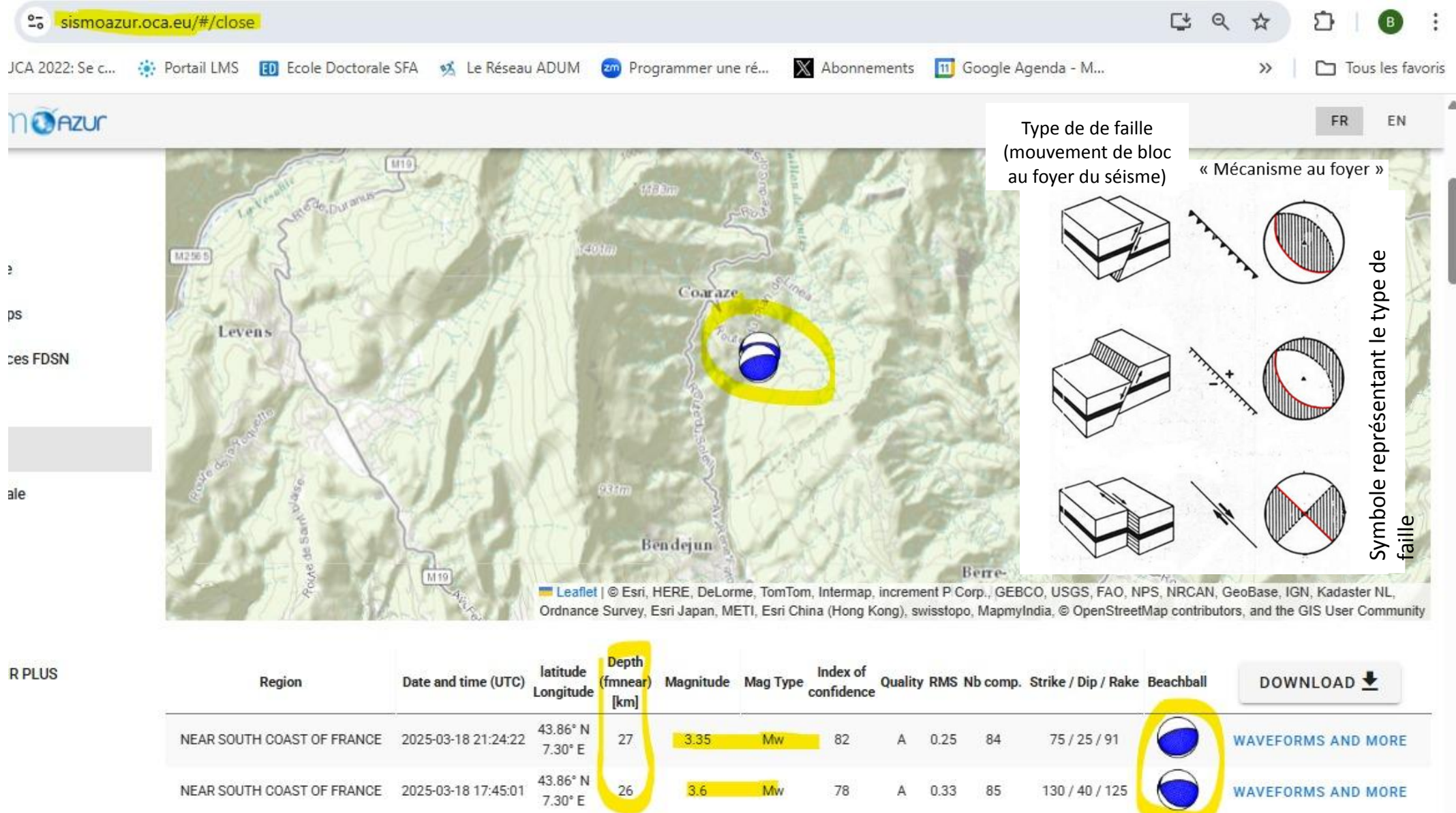


X axis: time in seconds Y axis: displacement in cm  
Grey line: observed Red line: computed

vel: HH channel  
acc: HN channel



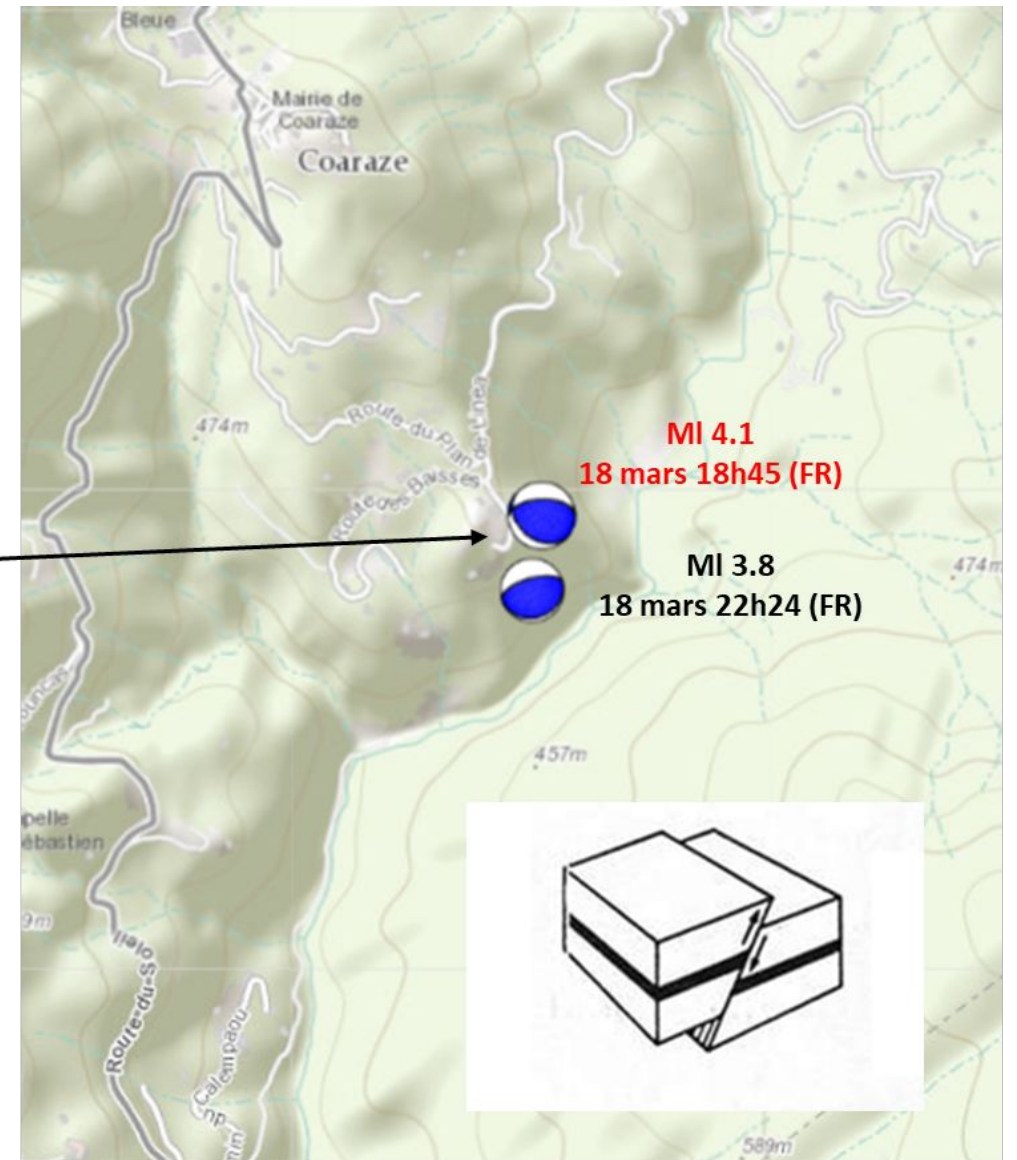
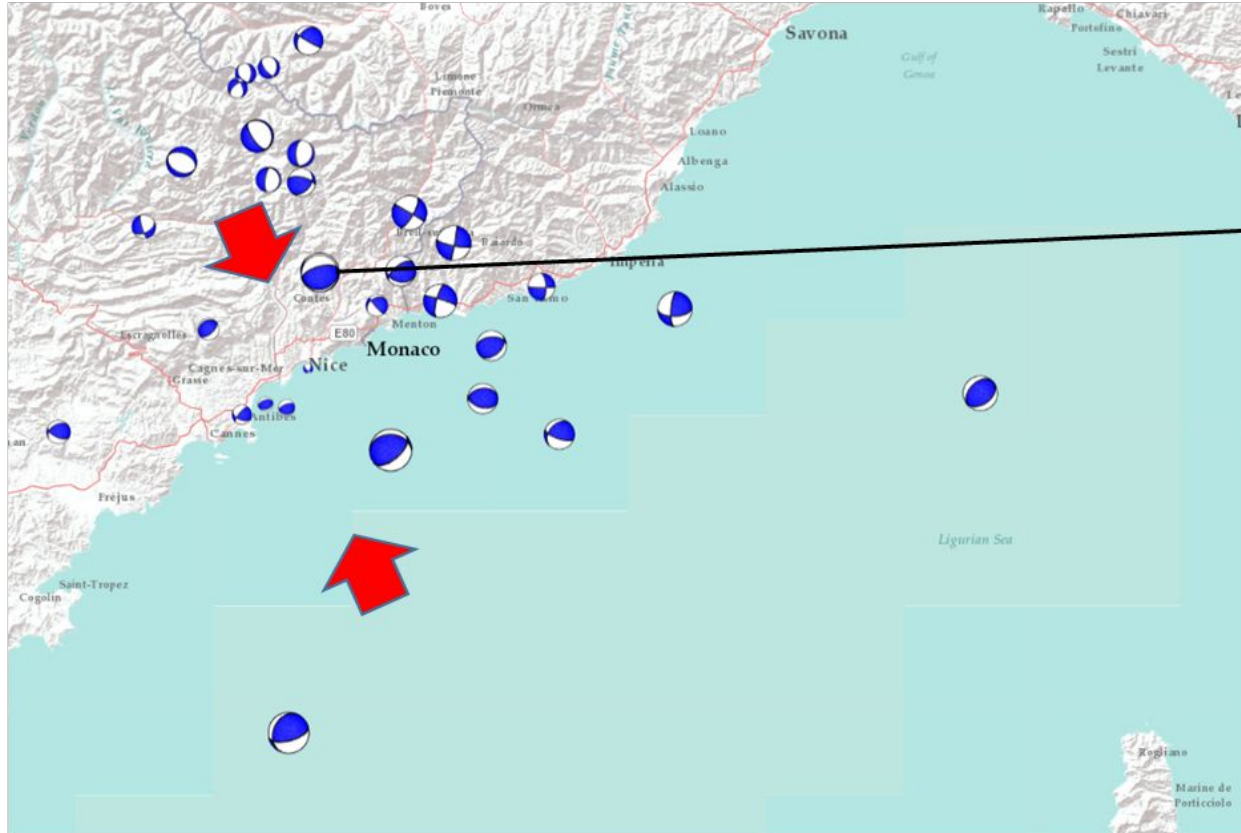
# Mécanismes au foyer inverse, magnitude de moment Mw 3.6 (premier choc) et 3.4 (deuxième choc)



[https://sismoazur.oca.eu/#/focal\\_mechanism/oca/](https://sismoazur.oca.eu/#/focal_mechanism/oca/)

[https://sismoazur.oca.eu/#/focal\\_mechanism/oca/](https://sismoazur.oca.eu/#/focal_mechanism/oca/)

(pour les séismes récents uniquement)



**On en déduit que le domaine arrière pays proche - zone côtière - bassin Ligure proche est soumis à une compression dans une direction ~ NW-SE**

Cette approche a permis de déterminer que ce mouvement de faille s'est produit à une profondeur de l'ordre de 26 km (confirmée par ailleurs)

## Estimation indépendante de la Mw par Claudio Satriano (IPGP, méthode SourceSpec)



### Event Table

Double-click on a row to close the table and go to the event on the map.

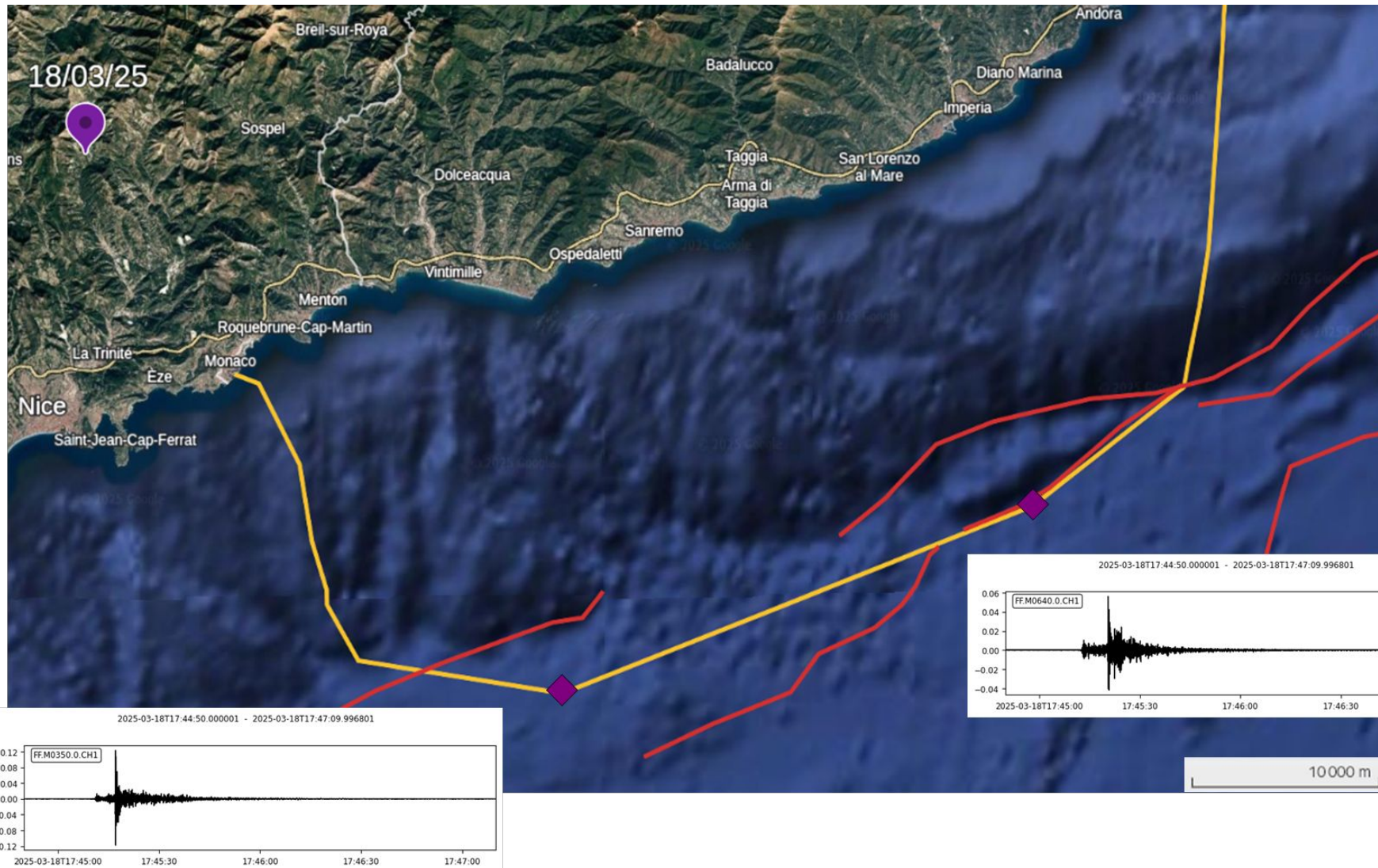
Click on "Add Condition" to filter the table

Add Condition

Event ID	Run ID	Origin Time (UTC)	Longitude	Latitude	Depth (km)	Mw
fr2025qqtjue	2	2025-03-18T21:24:22.188Z	7.3204	43.8421	25.159	3.39
fr2025qqsqhy	4	2025-03-18T17:45:01.287Z	7.3227	43.8347	25.775	3.56

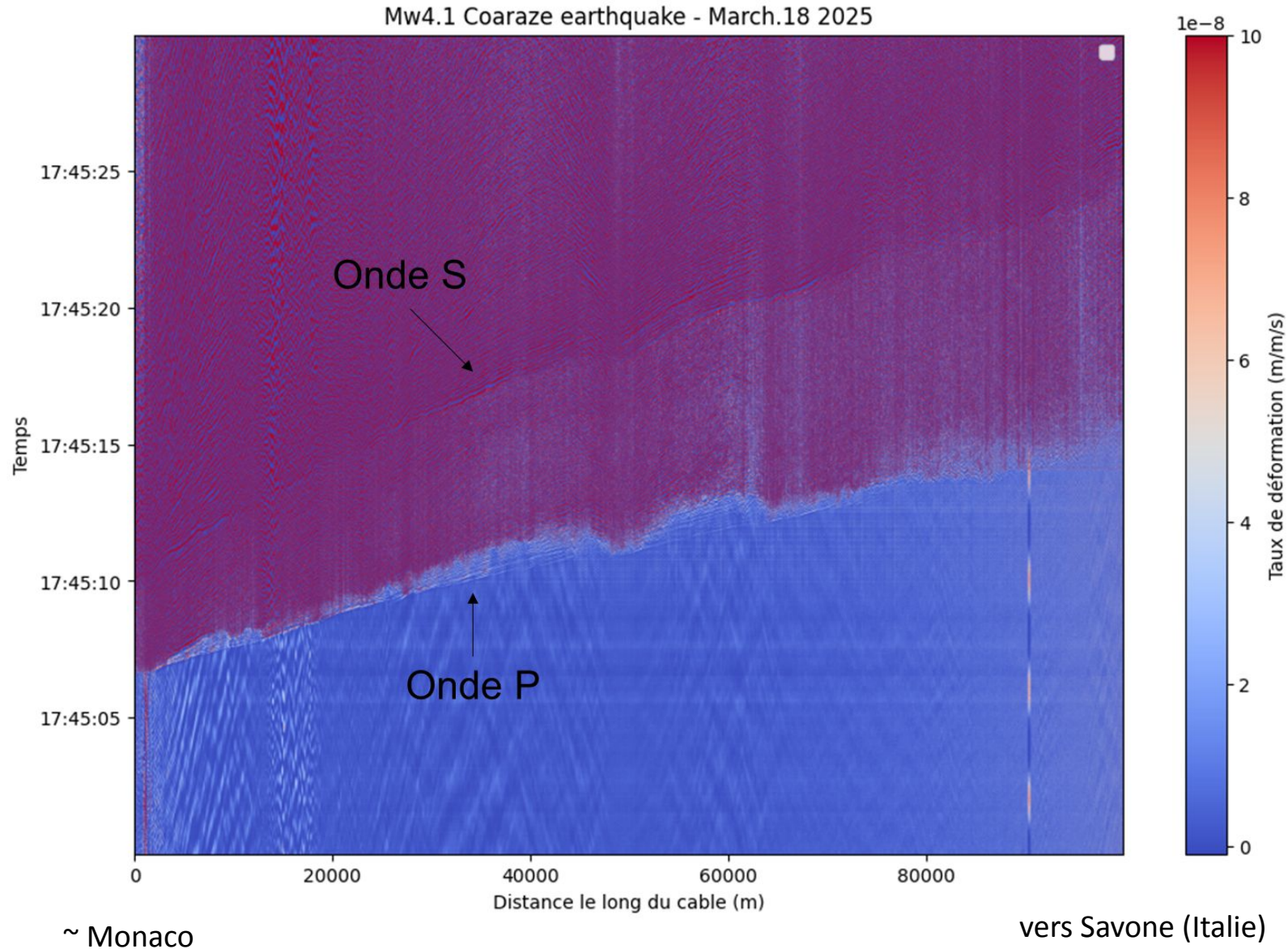
Localisation Renass <https://renass.unistra.fr/fr/zones/france/>

# Enregistrement du premier choc (Ml 4.1) par la fibre optique localisée en mer Ligure entre Monaco et Savone



Position de la fibre Ligure (trait jaune), tracé des failles en mer (traits rouge) et deux exemples de points de mesure (losanges violets) DAS (Distributed Acoustic Sensing) sur la fibre avec les “sismogrammes” associés où on repère bien l’arrivée de l’onde P et de l’onde S. Le cercle violet marqué 18/03/25 montre la localisation du séisme de M 4.1.

# Enregistrement du premier choc (Ml 4.1) par la fibre optique localisée en mer Ligure entre Monaco et Savone



On voit nettement les fronts de l'onde P et de l'onde S, qui s'écartent au fur et à mesure que les points de la fibre s'éloignent vers l'Italie, ce qui reflète l'augmentation de la distance à l'épicentre du séisme.



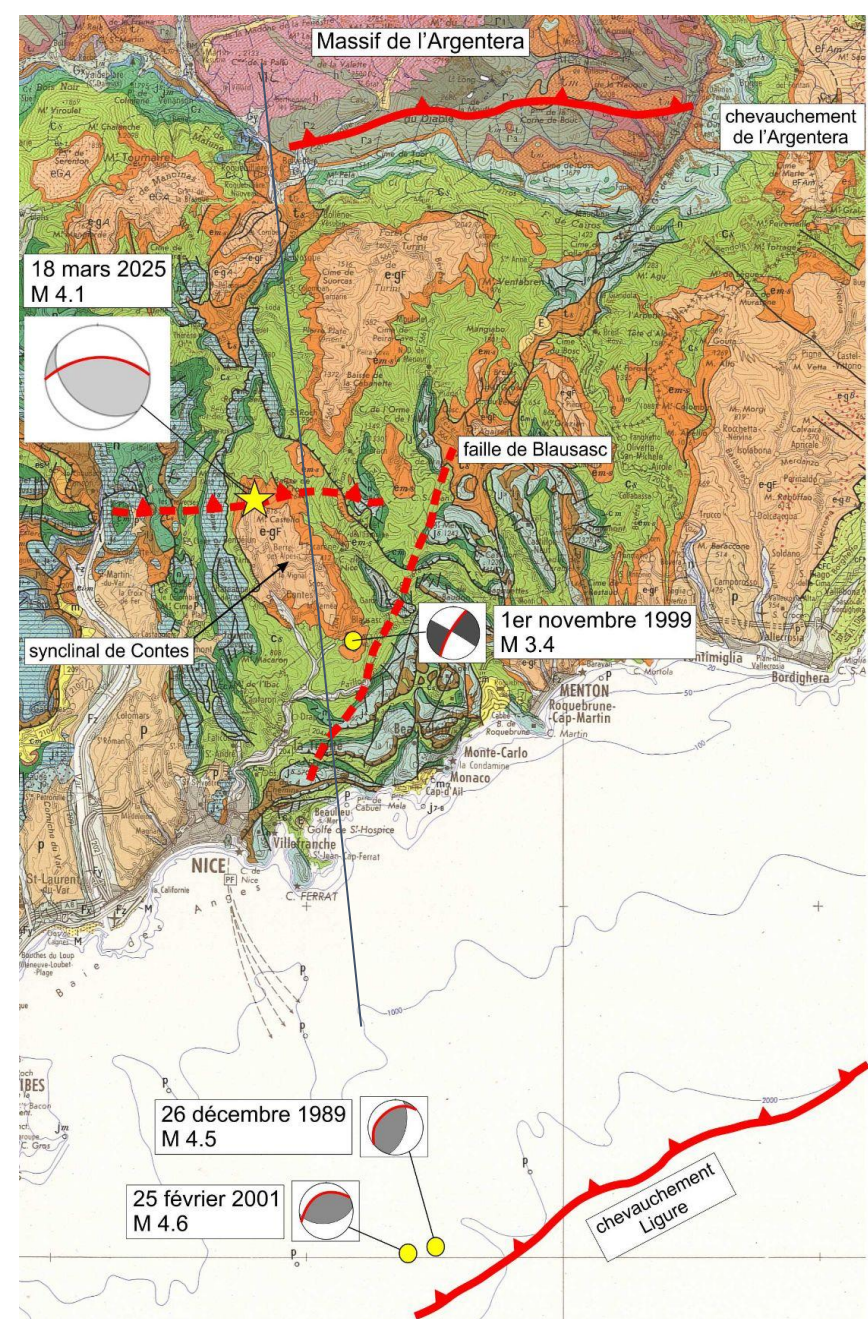
## Contexte géologique du séisme.

L'épicentre (étoile jaune) du séisme du 18 mars 2025 est localisé au sud du village de Coaraze, dans la chaîne subalpine de l'Arc de Nice. Cette chaîne, plissée et chevauchante s'étend du massif de socle cristallin de l'Argentera (en rose et gris) jusqu'à la mer. Elle est constituée par une couverture sédimentaire méso-cénozoïque de 1 à 2 km d'épaisseur et décollée du socle cristallin sous-jacent à partir du niveau du Trias.

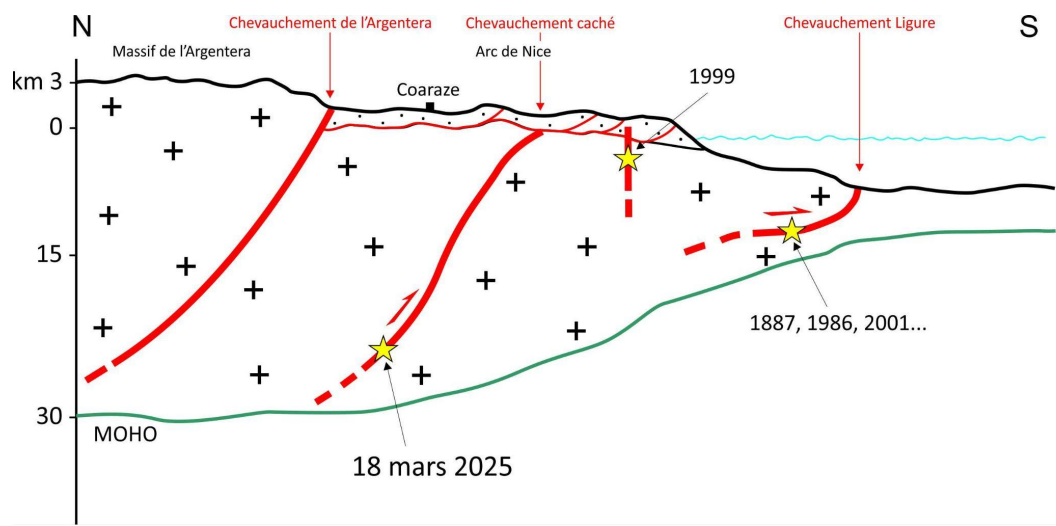
La mise en place de cette chaîne par glissement vers le sud s'est déroulée de l'Oligocène supérieur (35 millions d'années) au Pléistocène (1 Ma) et a entraîné la formation de plis chevauchants étroits visibles au sud dans les couches d'âge jurassique et crétacé (bleu et vert) ainsi que la formation de plis très large au nord (orange, couches d'âge Eocène-Oligocène).

Le séisme de Coaraze est précisément localisé dans la partie nord du synclinal de Contes. La profondeur du foyer, supérieure à 20 km, indique que la faille activée se trouve dans la partie inférieure de la croûte continentale. Suivant les plans du mécanisme au foyer en compression, le plan de faille pourrait donc correspondre à une rampe de chevauchement située dans la croûte continentale inférieure sous la partie centrale de l'arc de Nice.

Cette hypothèse est cohérente avec le séisme décrochant du 1er novembre 1999 sur la faille de Blausasc qui a aussi été localisé à 3 km de profondeur dans le socle cristallin et qui attestait de déformation active sous la couverture sédimentaire. C'est aussi cohérent avec le chevauchement du massif cristallin de l'Argentera sur le nord de l'Arc de Nice, de même qu'avec le chevauchement Ligure actif plus au sud en mer (séisme de 1989 et 2001, par exemple) dans une région où le régime tectonique est compressif suivant une direction NW-SE.



Carte géologique Nice/Gap, 1/250 000e, BRGM). Les failles en rouges sont des failles cachées qui ne présentent pas d'indice d'activité en surface (document de travail).

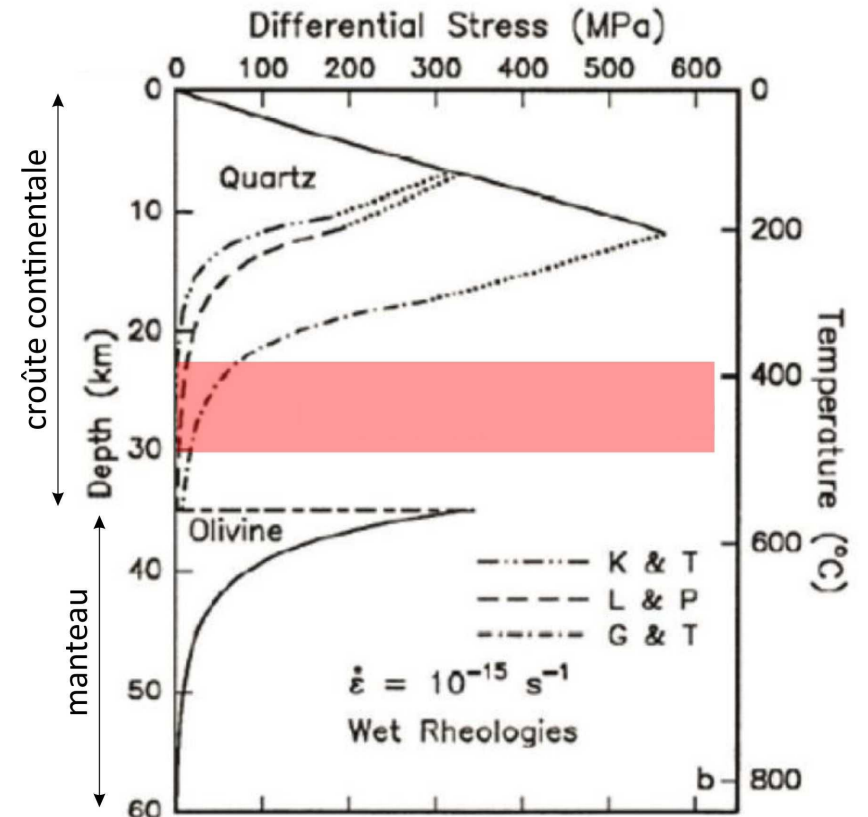


Coupe géologique schématique de la zone du séisme de Coaraze (cf trait bleu sur la carte géologique précédente). La croûte cristalline est représentée par des croix et les roches sédimentaire de l'arc de Nice par des points. La tracé des failles en profondeur est spéculatif (document de travail, échelle approximative).

Le séisme de Blausasc (1999-11-01, M3,4) avait activé une faille décrochante dextre avec un foyer situé à 3 km de profondeur attestant de l'existence de failles cachées actives sous la couverture sédimentaire de l'arc de Nice. Le séisme de Coaraze confirme cette observation et montre que la zone sismogène s'étend jusqu'à au moins 26 km de profondeur.

Le foyer se situe à 26 km de profondeur, ce qui est exceptionnellement profond pour un séisme en France métropolitaine (en dehors des zones de sous-charriage de la croûte européenne sous la croûte africaine dans les Alpes occidentales).

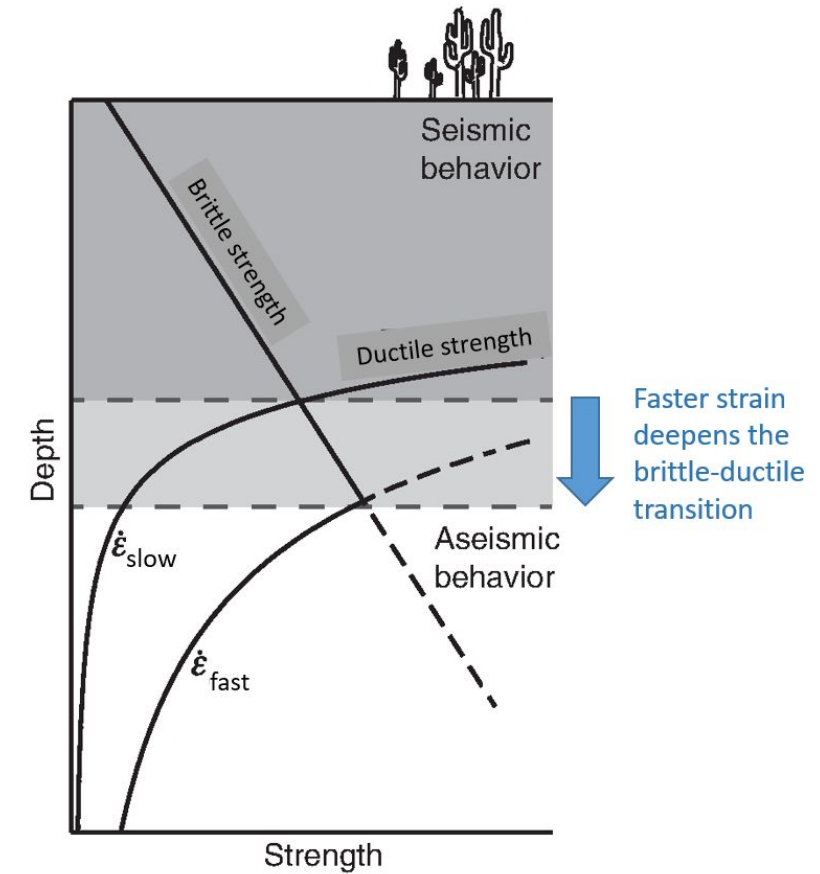
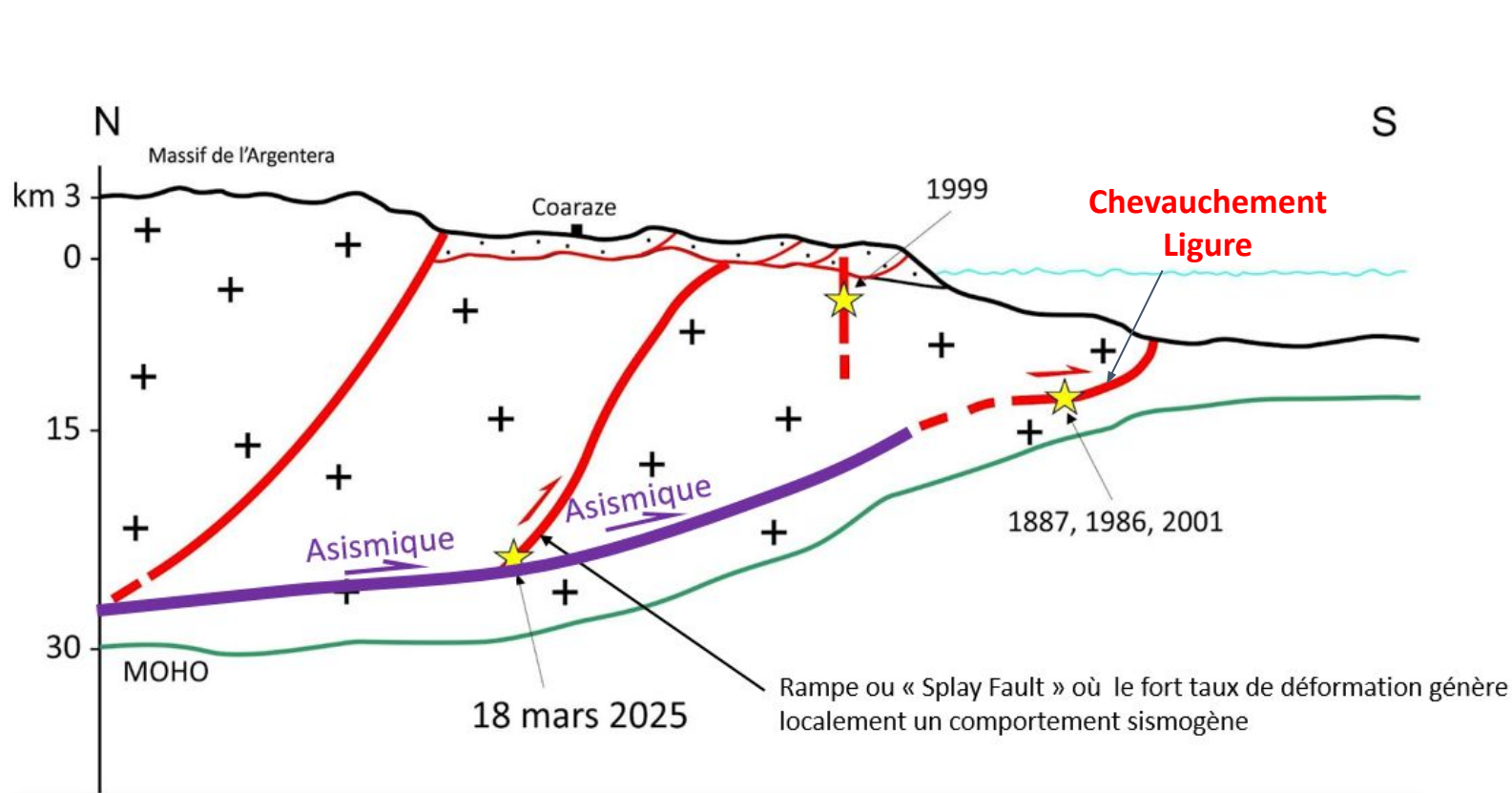
Le séisme de Coaraze apporte donc une information essentielle sur :  
 (1) l'occurrence d'une rupture sismique dans la croûte inférieure supposée ductile et (2) l'existence potentielle d'une faille sismogène cachée sous la couverture sédimentaire suivant la coupe interprétative et préliminaire ci-dessus et dans le contexte de régime tectonique compressif régional.



Profil rhéologique standard pour une lithosphère continentale dans une zone à faible taux de déformation ( $10^{-15} \text{ s}^{-1}$ ). K & T, L & P et G & T correspondent à différents géothermes (d'après Chapman, 1986). Le foyer du séisme de Coaraze se trouve 26 +/- 4 km de profondeur (zone rouge) dans une zone où la croûte continentale a normalement un comportement ductile.

Autre hypothèse pour expliquer la forte profondeur de la séquence initiée le 18 mars 2025:

Une rampe ou "Splay Fault" dans la croûte inférieure est rendue localement et temporairement sismogène par le fort taux de déformation induit par un glissement asismique transitoire le long du décollement asismique (trait violet) prolongation en profondeur du chevauchement Ligure (échelle approximative).



# Détection de séismes précurseurs et de répliques par template matching

Période d'analyse: 15 mars -20 mars 2025

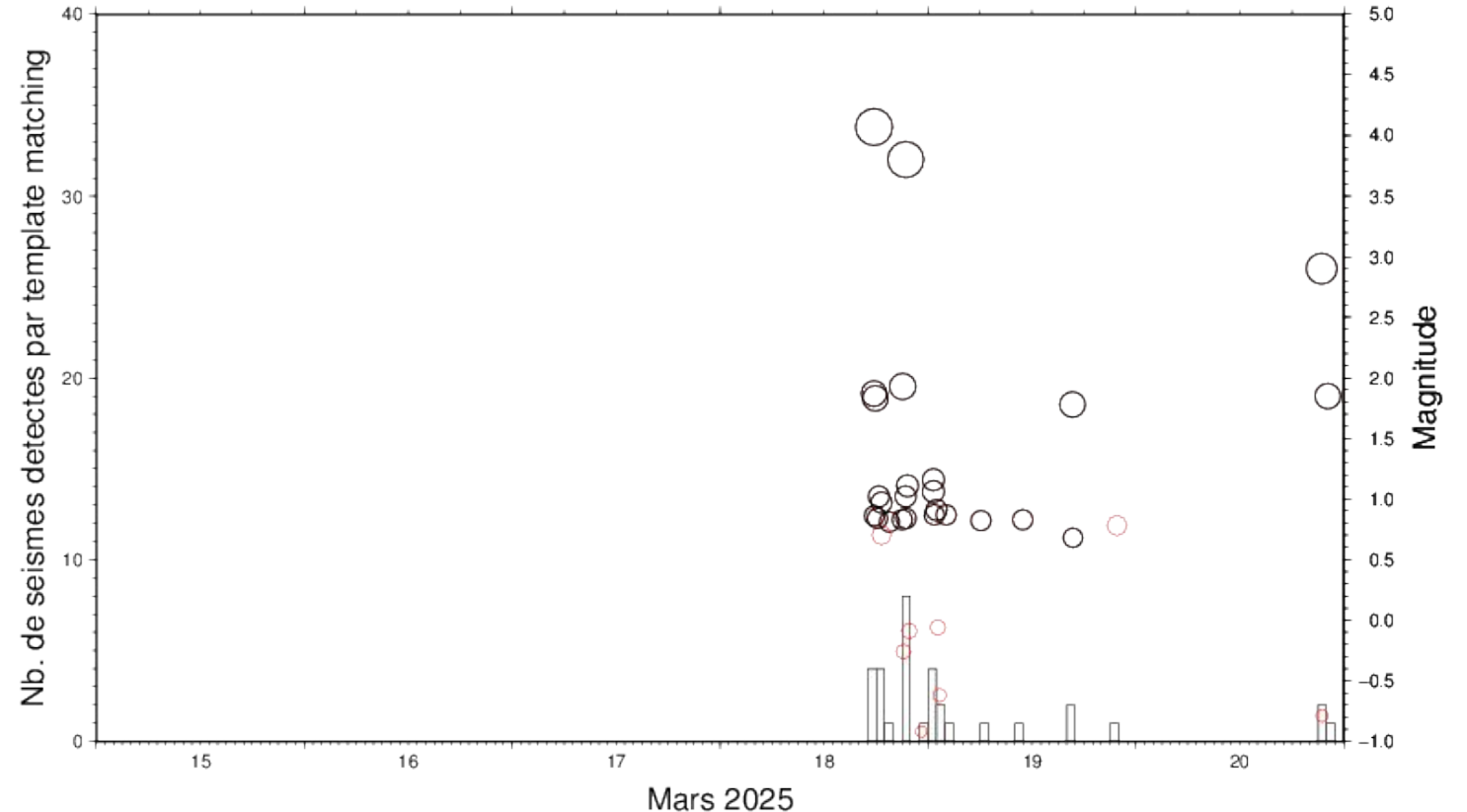
Stations utilisées: ESCA - MVIF - TURF

Templates utilisés: 25 séismes détectés par Sismoazur du 18 au 20 mars (le choc principal + 24 répliques ; Mag. 0.68 à 4.1)

## RESULTATS

- Pas de séisme précurseur dans les 3 jours précédents le choc principal
  - Seulement 8 nouvelles répliques détectées par template matching (Mag. -0.9 à 0.8)
- **une séquence avec très peu de répliques (32)**

## Sequence sismique de Coarraze



○ Template

○ Nouveau séisme détecté

Maxime Godano  
Geoazur  
21/03/2025

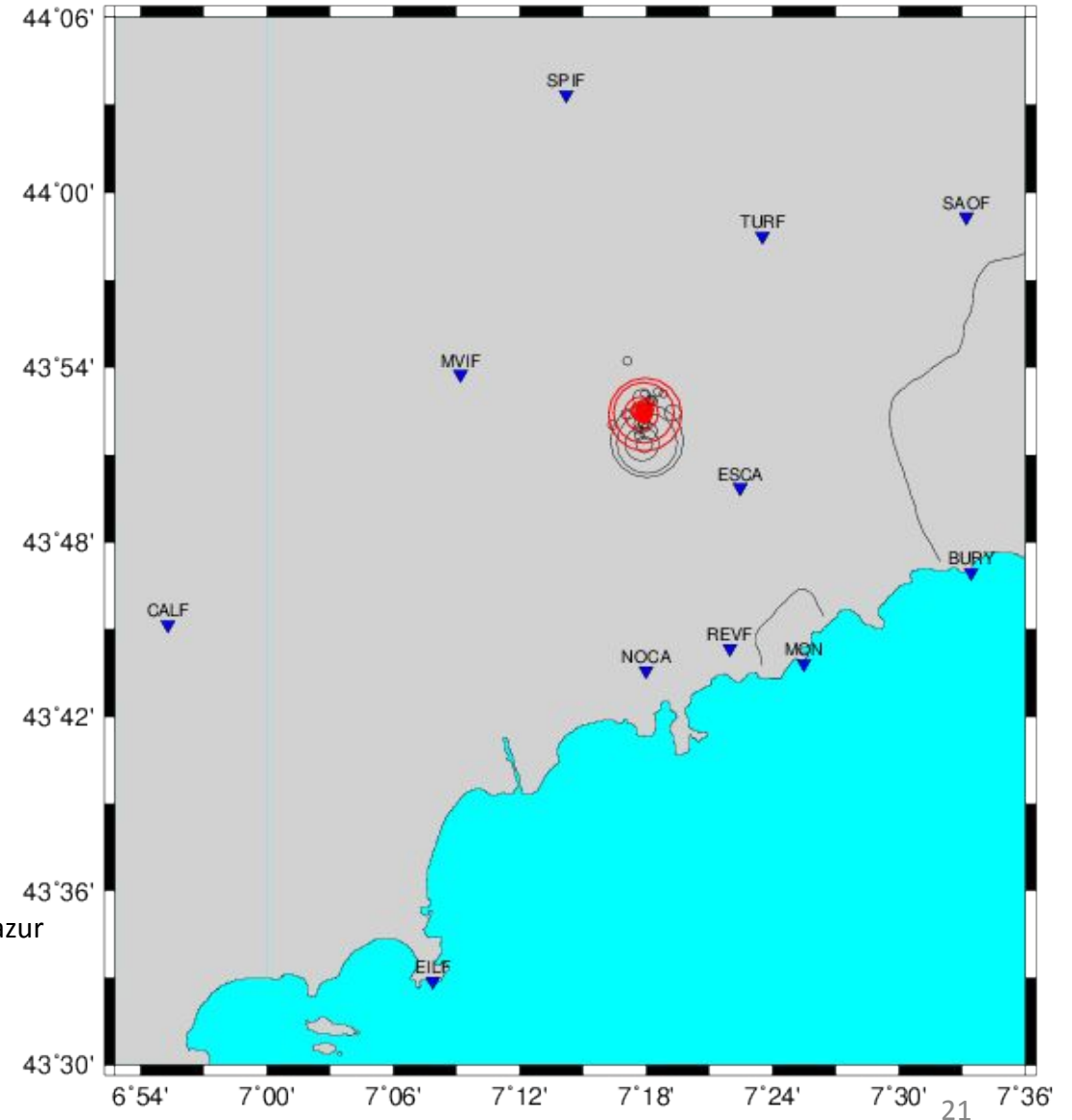
# Relocalisation doubles-différences des 25 séismes détectés par Sismoazur du 18 au 20 mars (choc principal + 24 répliques ; Mag. 0.68 à 4.1) - 1

- HypoDD (Waldhauser and Ellsworth, 2000):  
temps catalogues + temps cross-corrélation
- Profondeur initiale des séismes fixée à 26 km

Modèle de vitesse régional utilisé (Eva et al., 2001) -  $V_p/V_s=1.74$

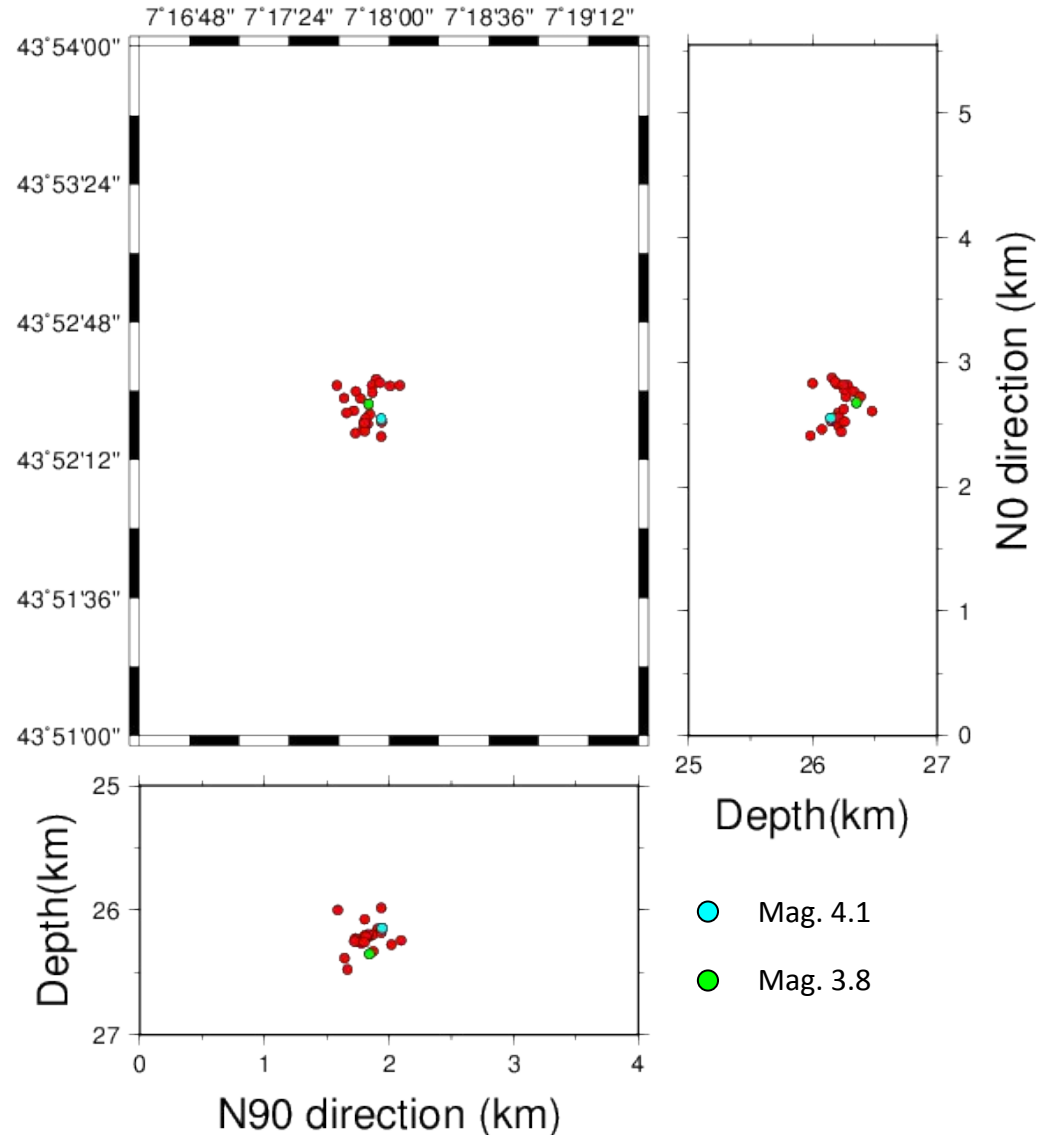
Depth of the layer (km)	P wave velocity (km/s)
0	4.99
1	5.71
3	5.77
5	6.04
10	6.10
25	7.50
32	7.79
40	8.11

Carte des stations utilisées pour la relocalisation



# Relocalisation doubles-différences des 25 séismes détectés par Sismoazur du 18 au 20 mars (choc principal + 24 répliques ; Mag. 0.68 à 4.1) - 2

## Relocalisations doubles-différences



- Cluster de sismicité de taille approximative 500 m x 500 m x 500 m
  - Sur la coupe N-S, on observe 2 branches:
    - 1 branche à pendage 60°Nord compatible avec les trois mécanismes au foyer calculés (Ml 4.1, 3.8, 2.9). Ce plan est celui considéré comme le plan de faille sur les coupes interprétatives des diapos 18 et 19.
    - 1 branche à pendage 60°Sud qui n'est pas associable aux mécanismes au foyer déterminés pour le moment.
- compatibilité de l'un des plans avec les mécanismes au foyer

### Résultats préliminaires à préciser:

- retravailler les localisations initiales en les relocalisant dans le modèle régional de Eva et al., (2001)
- intégrer les répliques du 21 et 23 mars dans la relocalisation
- intégrer les répliques supplémentaires détectées par template matching dans la relocalisation

### **Une séquence atypique :**

- ❑ Une séquence sismique dans l'arrière pays proche de Nice, où rien d'aussi significatif n'avait été observé depuis que l'on dispose d'un réseau sismologique dans la région, c'est à dire depuis plusieurs décennies.
- ❑ Un deuxième choc anormalement fort, MI 3.8, pour une réplique du choc principal de MI 4.1
- ❑ Un faible nombre de répliques pour un choc principal de MI 4.1
- ❑ Une profondeur des foyers bien plus élevée que ce qu'on observe d'habitude, qui place les séismes dans la croûte inférieure.

### **Ce que cette séquence nous apprend :**

- ❑ La confirmation de la prolongation jusque dans l'arrière pays niçois du domaine en compression ~ NW-SE observé sur la marge.
- ❑ Le plan de faille le plus probablement activé est à fort pendage (~60°) vers le Nord, présent sur les trois mécanismes au foyer calculés et imagé par la relocalisation relative.
- ❑ La grande profondeur des foyers reflète la capacité de la croûte inférieure à générer au moins localement et temporellement des séismes dans un domaine inférieur de la croûte supposé asismique. Une possibilité serait de supposer un modèle rhéologique particulier pour la croûte à cet endroit. Une autre explication serait le chargement rapide et localisé d'une faille relativement raide par du glissement asismique sur un niveau de décollement profond.