



HAL
open science

Mise en place d'une méthode de détection, localisation et caractérisation rapide des événements sismiques et détermination des incertitudes associées

Marine Menager, Aurélie Guilhem Trilla, Bertrand Delouis

► To cite this version:

Marine Menager, Aurélie Guilhem Trilla, Bertrand Delouis. Mise en place d'une méthode de détection, localisation et caractérisation rapide des événements sismiques et détermination des incertitudes associées. 5èmes Rencontres Scientifiques et Techniques Résif, Nov 2021, Obernai (67210), France. hal-03442596

HAL Id: hal-03442596

<https://hal.science/hal-03442596v1>

Submitted on 23 Nov 2021

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

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

M. Menager (thèse)^{1,2}, A. Guilhem Trilla¹, B. Delouis²

¹CEA, DAM, DIF, 91297 Arpajon, FRANCE (contact : marine.menager@cea.fr)

²Université Côte d'Azur, IRD, CNRS, Observatoire de la Côte d'Azur, Géoazur, Valbonne

1 - Résumé

Le CEA a une mission d'alerte aux forts séismes ($M > 3.5$) en France métropolitaine qui consiste à prévenir **rapidement** les autorités françaises de l'occurrence d'un évènement majeur. Dans ce cadre, le CEA souhaite mettre en place la méthode GRID MT.

La méthode GRID MT se base sur un **unique** algorithme automatique d'inversion du tenseur des moments sur grille qui permet simultanément la **détection**, la **localisation** et la **caractérisation rapides** des évènements sismiques. Nous présentons ici les résultats de la méthode appliquée aux évènements de la région du Sud-Est de la France.

De plus, grâce au nombre important de résultats obtenus sur la grille de sources virtuelles et dans le temps, nous montrons qu'il est possible de déterminer **statistiquement** les **incertitudes** sur les **paramètres de la source**.

Des études sont en cours afin d'apporter des précisions sur le choix des stations sismiques RESIF à prendre en compte et sur l'estimation du niveau de confiance des solutions.

A terme, cette étude vise à faciliter la mise en place de la méthode GRID MT dans d'autres régions d'intérêt et pour d'autres sources sismiques, mais également d'obtenir un catalogue de mécanismes au foyer dans ces régions.

3 - Application à la région du Sud-Est

Combinaison de quatre stations : LOR, MTLF, ORIF, PGF

Filtre causal d'ordre 3, 0.03-0.08 Hz (12.5-33 s)

Modèle de vitesse 1D à 2 couches et un demi-espace infini (modèle LDG, Vallage et al., 2021)

Dimension de la grille : 1365 points, avec un pas de 0.1°

en latitude et en longitude

Profondeurs : 2, 5, 10, 15, 20, 30 km

8190 points pour un temps donné

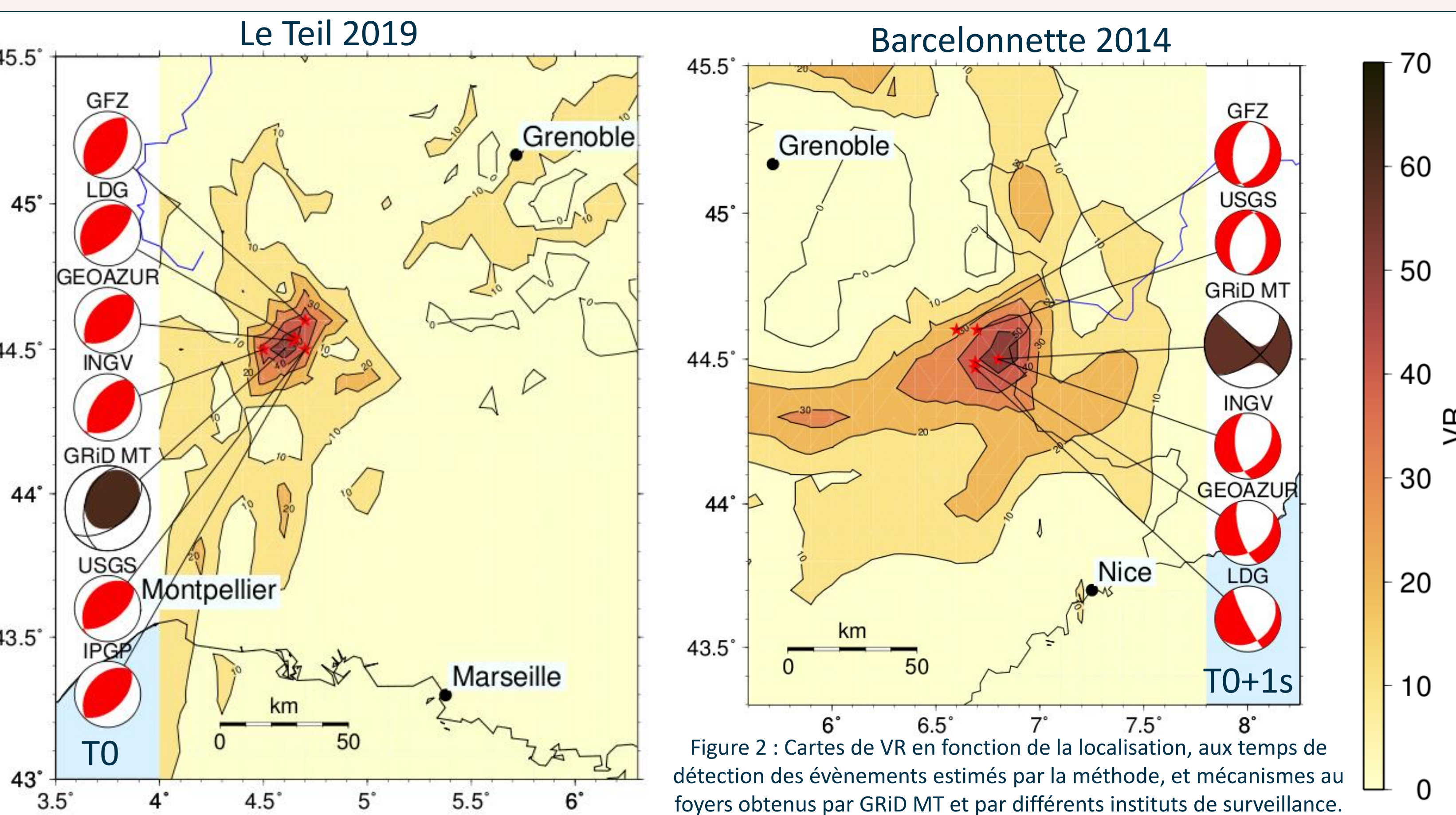


Figure 2 : Cartes de VR en fonction de la localisation, aux temps de détection des évènements estimés par la méthode, et mécanismes au foyer obtenus par GRID MT et par différents instituts de surveillance.

Valeurs de localisation, magnitude et mécanisme au foyer proches des autres instituts de surveillance

2 - Méthode GRiD MT (Grid-based Real-time Determination of Moment Tensors)

Méthode **automatique** et en **temps réel** de recherche en grille du **tenseur des moments** (Kawakatsu, 1998, Tsuruoka et al., 2009, Guilhem et al, 2011 et 2013) :

- Réception **continue** des données d'un nombre restreint de stations (contrainte de stockage et de temps de calcul)

$$d = G \cdot m \Rightarrow m = (G^T G)^{-1} G^T d$$

- Calcul de la réduction de variance (VR) (ressemblance entre les signaux réels et synthétiques) à chaque inversion

$$VR = \left[1 - \frac{\sum_i (données_i - synthétiques_i)^2}{\sum_i données_i^2} \right] \times 100$$

- Résultats optimaux (temps d'origine, localisation, magnitude et mécanisme au foyer) associés à la **VR maximale**

Avantages : méthode rapide de détection, localisation et caractérisation des séismes, qui donne l'ensemble des informations utiles à partir d'un unique algorithme

Inconvénients : localisation approximée et paramètres de mise en place de la méthode fixes

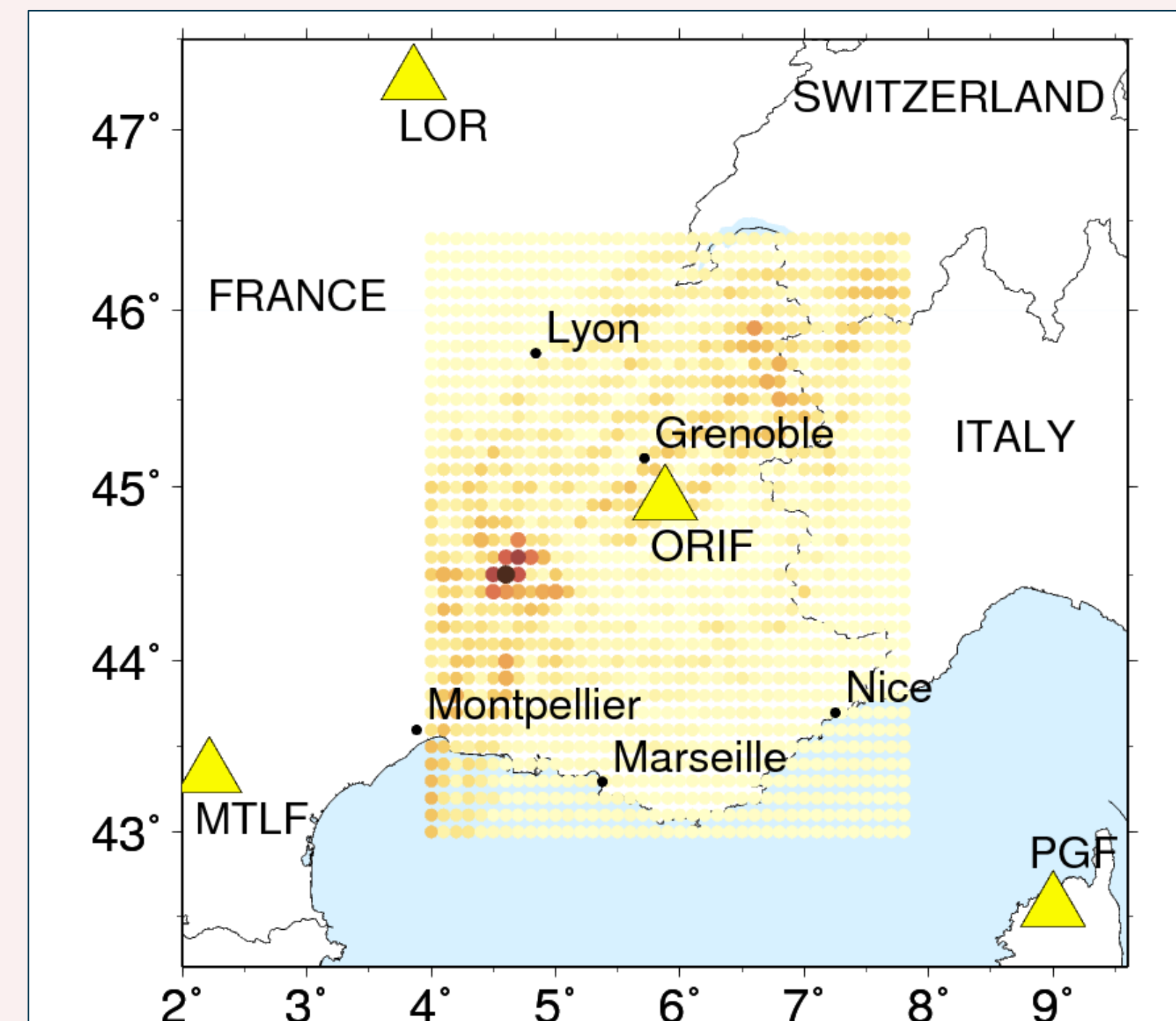


Figure 1 : Grille de points sources déterminée pour la région du Sud-Est France et localisation des stations utilisées dans l'inversion du tenseur des moments

4 - Incertitudes (Le Teil 2019)

Incertain de localisation en latitude, longitude et profondeur

- Ellipse de VR en latitude et longitude : écarts-type de 0.235° (lon.) et 0.22° (lat.)
- Comparaison des ellipses de VR à chaque profondeur

Incertain de magnitude

- Magnitude moyenne et erreur standard: $M_w 4.77 \pm 0.018$
- Loi de probabilité et **test de Student**

Incertain de mécanisme au foyer (strike, dip, rake)

- Mécanisme moyen et erreur standard : strike $57.75 \pm 2.51^\circ$, dip $102.44 \pm 3.39^\circ$, rake $55.5 \pm 3.48^\circ$
- Volume de l'espace des solutions
- Loi de probabilité et **test de Student**

Idee : ne sélectionner que les valeurs associées à une valeur de VR supérieure à un certain seuil et incluses dans l'ellipse d'incertitude en localisation et pondération par la VR

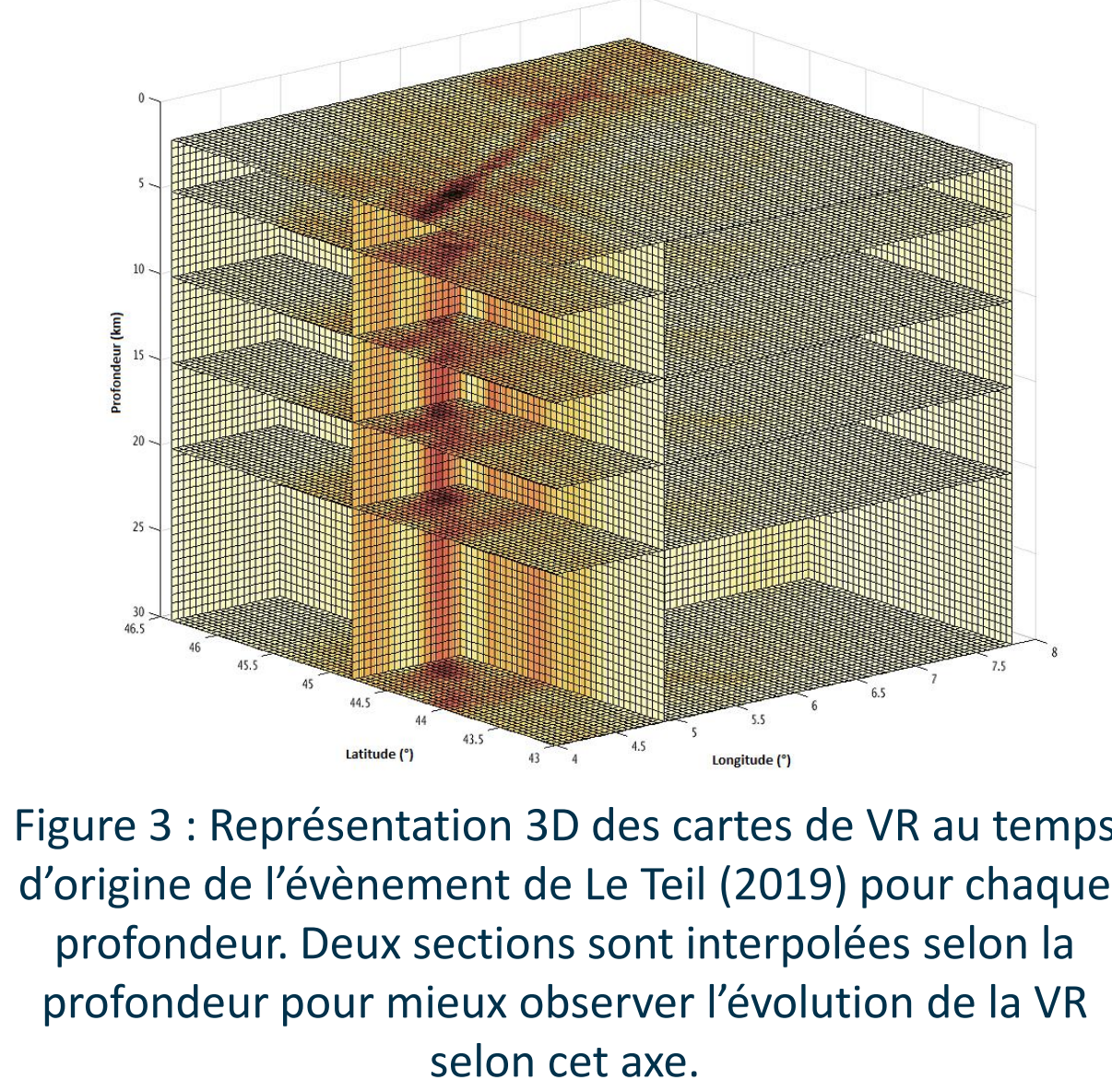


Figure 3 : Représentation 3D des cartes de VR au temps d'origine de l'évènement de Le Teil (2019) pour chaque profondeur. Deux sections sont interpolées selon la profondeur pour mieux observer l'évolution de la VR selon cet axe.

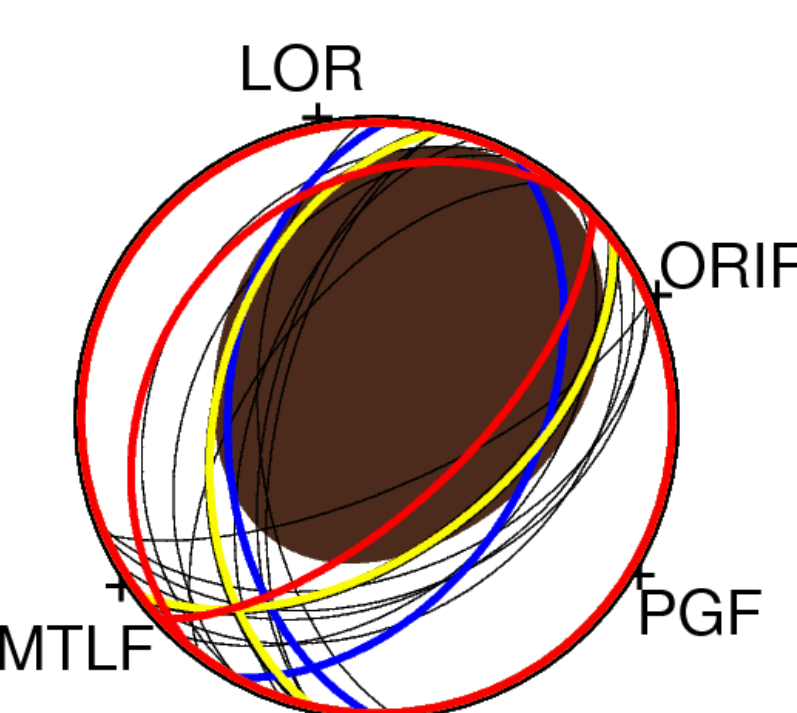


Figure 4 : Mécanismes au foyer associés à une VR supérieure à 80% de la VR maximale sur 10 s avant et 10 s après la détection (en noir), mécanisme de VR maximale (en jaune), mécanisme moyen (en bleu), et mécanisme de référence obtenu par le LDG (en rouge).

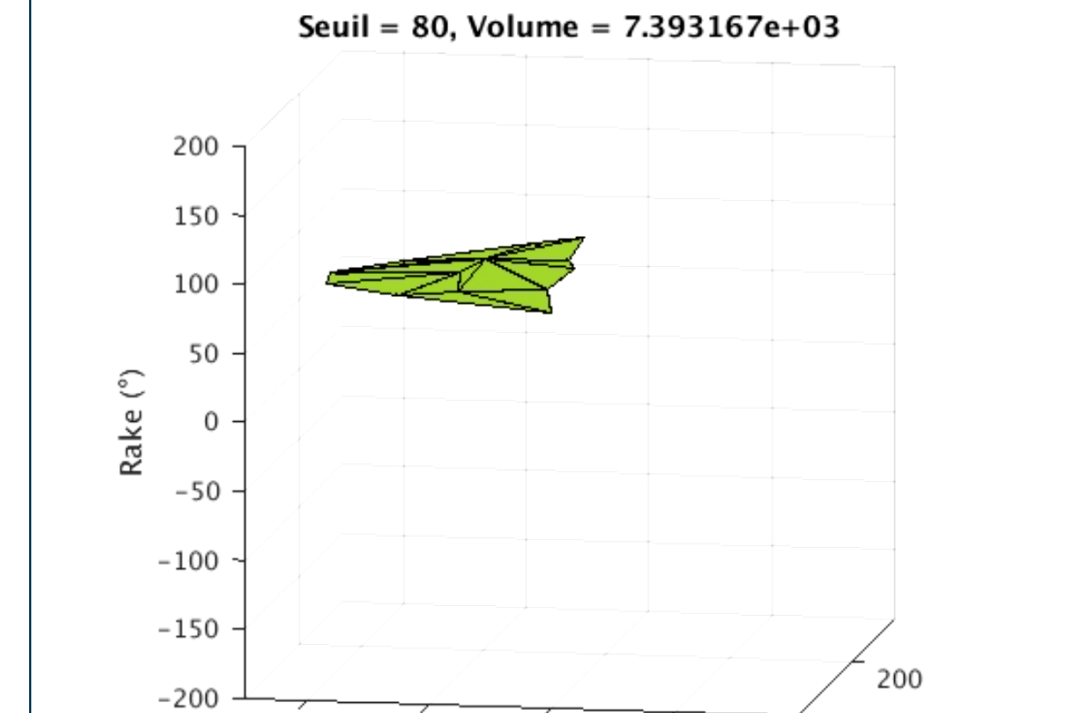


Figure 5 : Volume des valeurs de strike, dip et rake associées à une VR supérieure à 80% de la VR maximale sur 10 s avant et 10 s après la détection (chaque point représente un mécanisme au foyer).

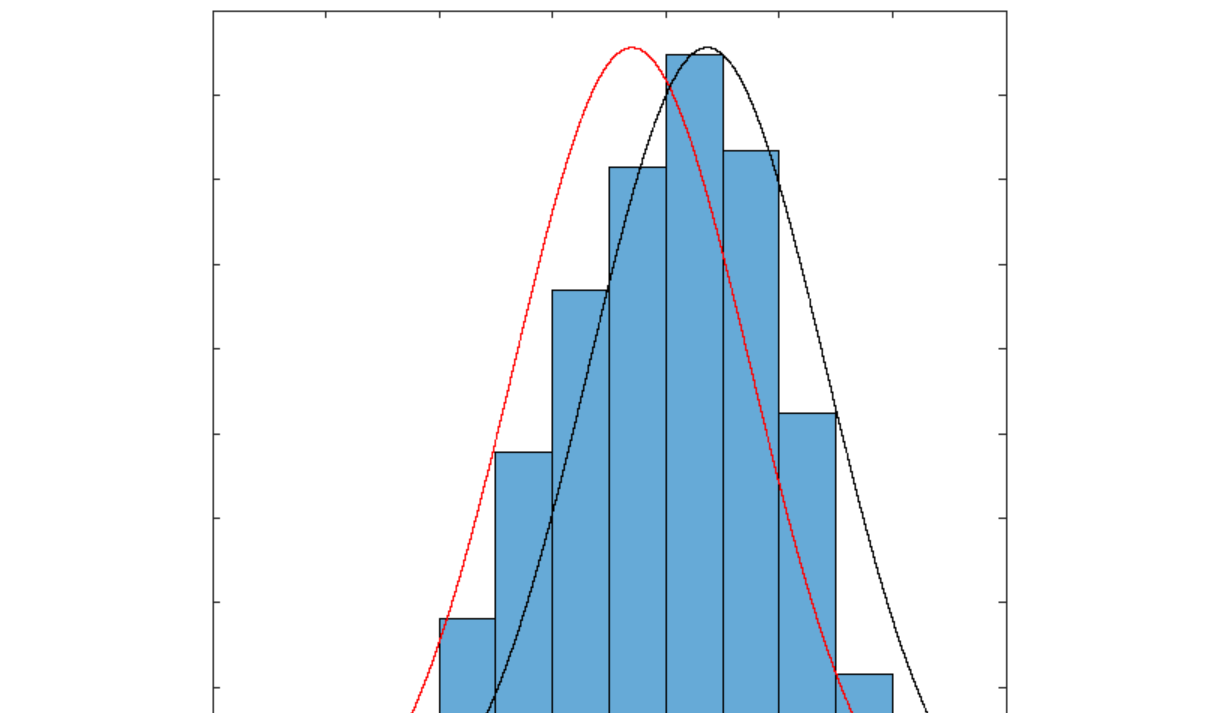


Figure 6 : Fréquence de distribution de la magnitude à partir de 171 990 valeurs (1365 points de la grille aux 6 profondeurs et 10 s avant et 10 s après la détection)

5 - Automatisation de la sélection des paramètres

Objectif : Proposer une méthode **automatique** pour une **région d'intérêt** et une **gamme de magnitude** données

- Calcul du **rapport signal/bruit** pour définir la qualité de l'enregistrement à la station filtré dans une bande de fréquence donnée

- Sélection d'une **combinaison de stations** et d'une **bande de fréquence** optimales

$$SNR = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n s_i^2}}{\sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=0}^m n_i^2}}$$

Avec s_i les points de la fenêtre de signal, n_i les points de la fenêtre de bruit, et $n = m$

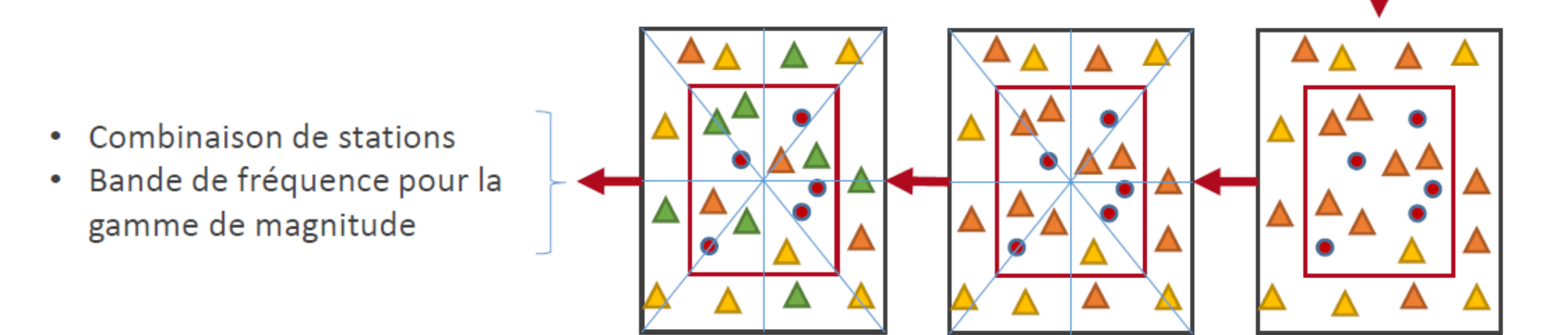
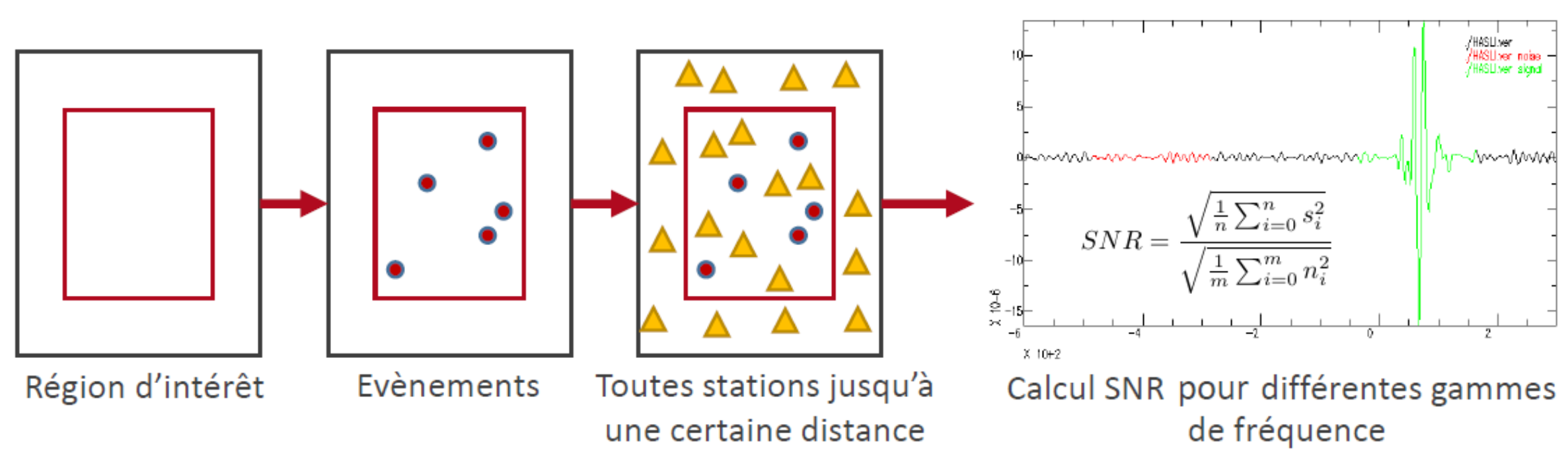


Figure 7 : Principe de la méthode automatique de sélection des paramètres (Jeu de stations et bande de fréquence) selon les évènements donnés en entrée (localisation et magnitude)

7 - Conclusions

Résultats très intéressants pour les évènements de la région du Sud-Est de **magnitudes supérieures à 4** : **similaires** aux autres instituts en terme de détection, de localisation et de caractérisation de la source.

Méthode à mettre **en parallèle** avec une **bande de fréquence différente** pour caractériser les séismes de **magnitudes plus faibles** ($3.4 < M_w < 4$).

Nombreuses possibilités d'**estimation des incertitudes** au vu du grand nombre de résultats.

Estimation en cours des ellipses de VR afin de réaliser les différentes estimations des incertitudes sur un ensemble de valeurs plus restreintes caractérisant au mieux le séisme.

Redéfinir des paramètres (jeu de stations et bande de fréquence) et correction du calcul de VR pour **améliorer les incertitudes**.

Possibilité de mise en place de la méthode GRID MT dans d'autres **régions d'intérêt** pour la **mission d'alerte séisme** mais aussi **alerte tsunami** (région Euro-Méditerranéenne).

Possibilité de constitution d'un catalogue de mécanismes au foyer pour la région d'intérêt

6 - Amélioration du calcul de VR

Niveau de confiance attribué par la VR : l'augmentation de la VR hausse le niveau de confiance et **influe sur les incertitudes**.

Inversion et calcul de la VR initialement réalisés sur une **fenêtre de temps fixe et identique** pour chaque station (Dreger, 2003).

Calcul de la VR sur une **fenêtre de temps variable** selon le **temps d'arrivée des ondes** pour ne prendre en compte que le signal.

Idee : inversion du tenseur des moments sur une fenêtre de temps variable

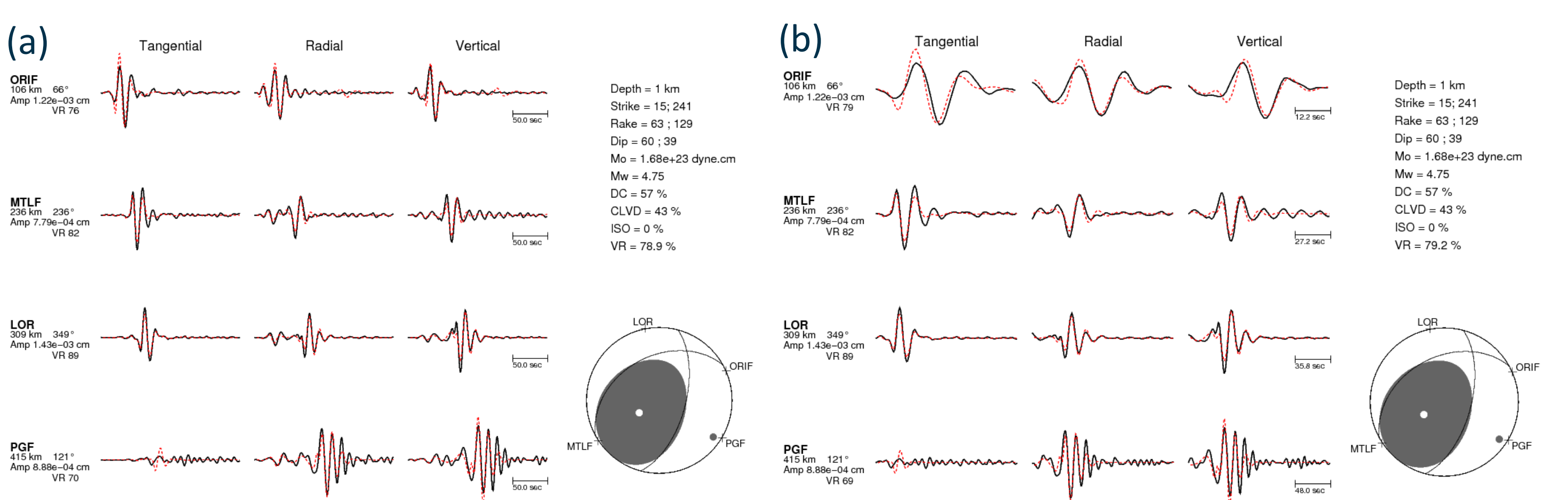


Figure 8 : Résultats de l'inversion manuelle (TDMT, Dreger 2003) du séisme de Le Teil 2019 avec calcul de la VR. Les données réelles sont représentées en noir et les données synthétiques en rouge. (a) Fenêtres de temps fixes et identiques (150 s). (b) Fenêtres de temps dépendantes de la vitesse des ondes (par exemple entre 8 et 1,7 km/s).

8 - Références

Kawakatsu (1998), On the realtime monitoring of the long period seismic wavefield. *Bulletin of the Earthquake Research Institute University of Tokyo*, 73:267-274

Dreger (2003), TDMT_INV: Time domain seismic moment tensor inversion. *International geophysics*

Tsuruoka et al. (2009), Grid mt (grid-base real-time determination of moment tensors) monitoring the long-period seismic wavefield. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 175:8-16

Guilhem et al. (2011), Rapid detection and characterization of large earthquakes using quasi-finite-source green's functions in continuous moment tensor inversion. *Geophysical Research Letters*, 192:759-772

Guilhem et al. (2013), Moment tensors for rapid characterization of megathrust earthquakes: the example of the 2011 m 9 tohoku-oki, japan earthquake. *Geophysical Journal International*, 192:759-772

Vallage et al. (2021), Multi-technology characterisation of an unusual surface rupturing intraplate earthquake: The ML 5.4 2019 Le Teil event in France. *Geophysical Journal International*, 226:803-813