

# Mesure de la déformation du sol par imagerie satellitaire en temps de crise

Erwan Pathier & Cécile Doubre

**ISDEFORM**  
Imagerie Satellitaire des Déformations de la Terre



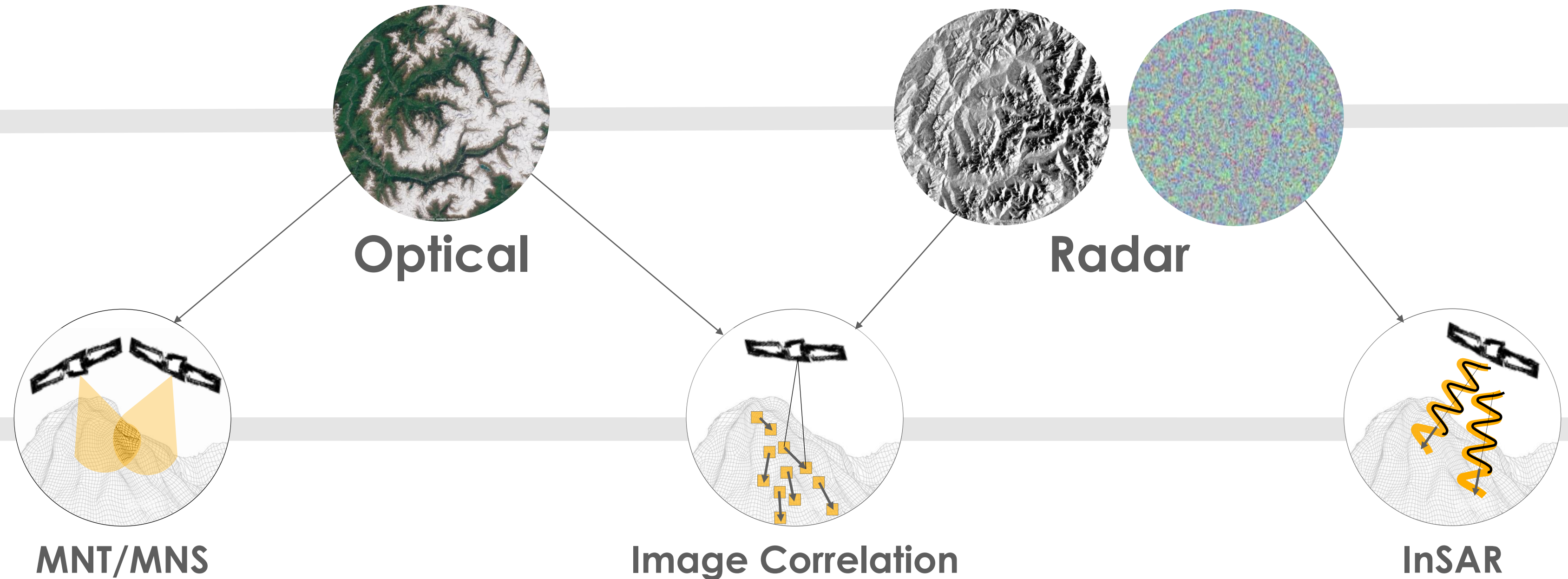
**FormaTerre**  
DATA TERRA



# Données et Méthodes | Applications risques telluriques

Satellite images

Processing techniques



Applications  
aux  
évènements  
telluriques



*Seismes*



*Volcans*



*Glissements  
de terrain*



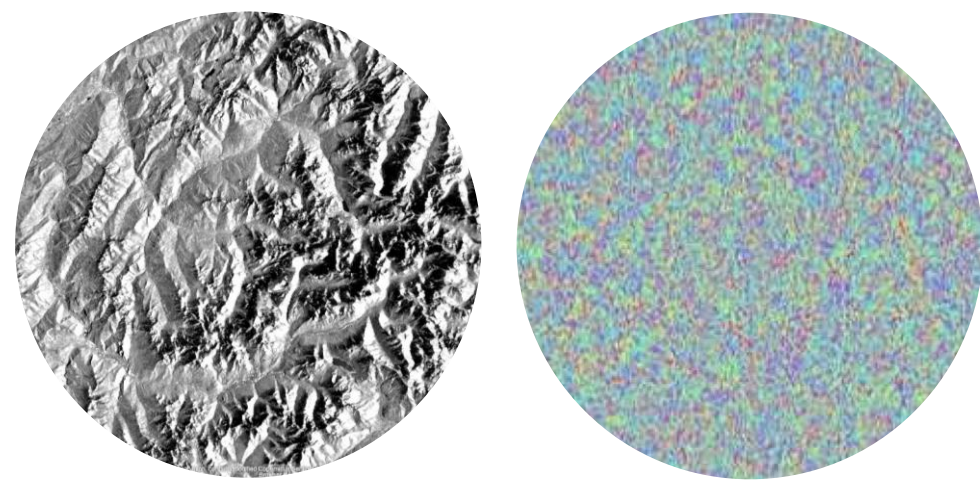
# Accès aux données | typologie de données



**Optical**

- **Résolution moyenne** (10 m) e.g. Sentinel-2, Landsat => accès libre et temps de revisite (qqe jours)
- **Haute résolution** (< 1m) : e.g. Pleiades (=> CO3D), acquisition non systematique, Planets (acteurs commerciaux)

Imagerie Optique : Problématique des nuages => temps de retour variable



**Radar**

- **Résolution moyenne** (10 m), acquisitions systématique, ex:  
Sentinel-1, NiSAR => accès libre et temps de revisite de plusieurs jours,  
ALOS2, ALOS4 => accès non libre, temps de revisite semaine.
- **Haute résolution (1m)** : e.g. TSX, CSK, ... acquisitions non systématiques et non libres.



# Accès aux données | Cas de zones non suivies au préalable

Il faut des images acquises avant et après.

- Images type Sentinel-1 / Sentinel-2 archives et acquisitions systématique => ok
- Imagerie optique haute résolution (< 1m) : **CIEST2**  
Pleiades => CO3D mais problème si taille de la zone très grande (quota)
- **Charte Internationale** : données issues de différentes agences spatiales. Mais acquisitions pas orientées vers la déformation du sol plutôt cartographie des dégâts.



CELLULE D'INTERVENTION ET  
D'EXPERTISE SCIENTIFIQUE ET  
TECHNIQUE NOUVELLE GÉNÉRATION...

Dispositif national

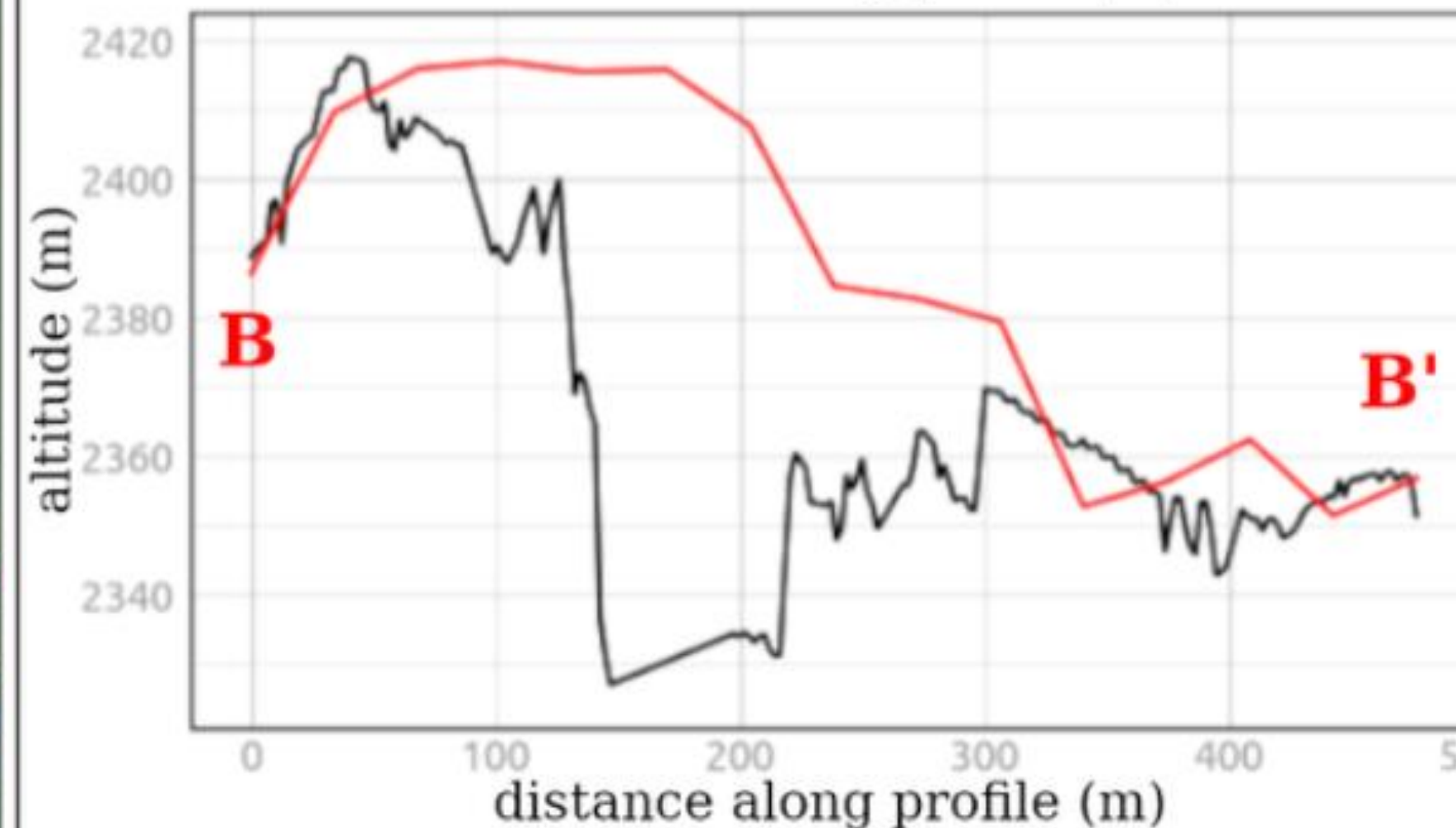
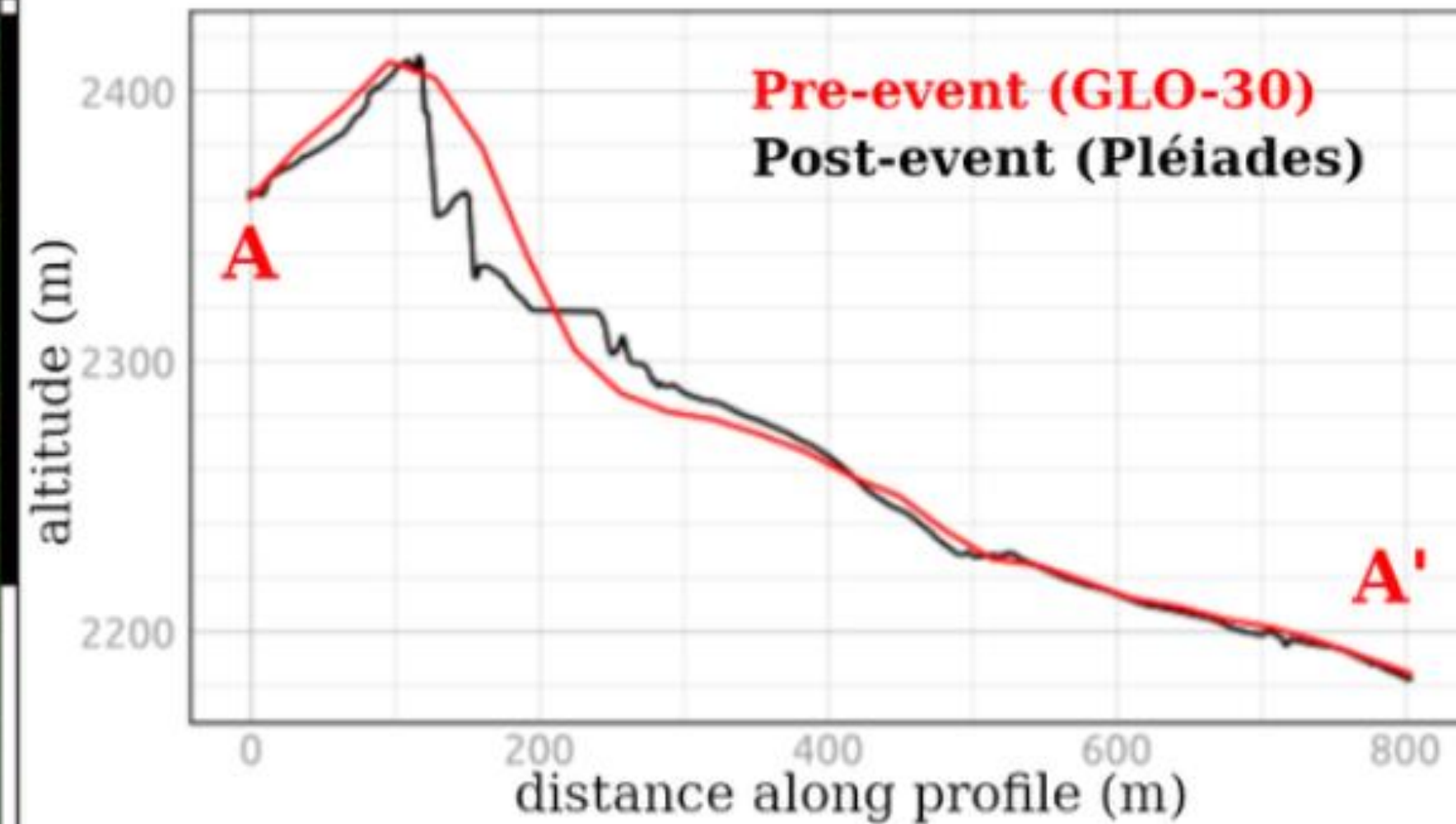
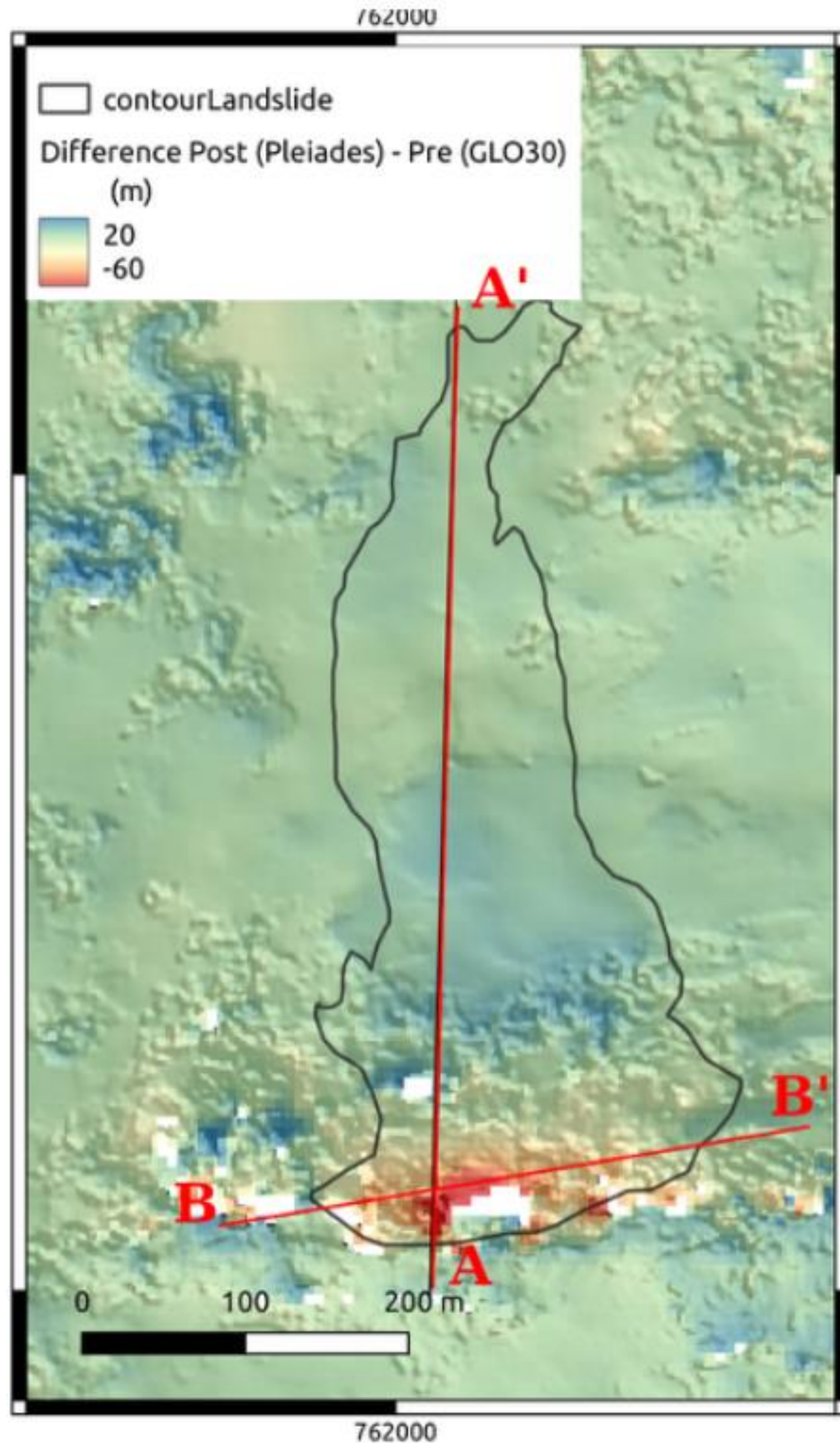


CHARTE INTERNATIONALE ESPACE ET CATASTROPHES MAJEURES

Des données satellitaires au  
service des interventions  
d'urgence à l'échelle mondiale.



# Accès aux données | Exemple d'activation de la CIEST2



Glissement de terrain en  
**Papouasie Nouvelle Guinée,**  
**24 mai 2024, (village de**  
**Yambali).**

Activation de la CIEST2 pour la  
programmation d'acquisition  
Pleiades (Optique haute  
résolution (< 1m))

Des images **Pleiades stéréo** ont  
été acquises le 2, 3 et 7 juin  
2024.

Différence d'altitude entre le MNT  
avant l'évènement et le MNT Pleiades  
post-évènement. (Lacroix Pascal).



# Accès aux données | Cas de zones bénéficiant d'un suivi

- Données type Sentinel-1 / Sentinel-2 archives et acquisitions systématique => ok
- Imagerie optique haute résolution : **DINAMIS** accès aux archives et programmation Pleiades / SPOT6
- Pour données non libres d'autres agences spatiale : **CEOS**, appels à projet, achats.



ACCUEIL DISPOSITIF DONNÉES SER



DINAMIS & VOUS



ADHÉSION ET ACCÈS AUX SERVICES



DEMANDE D'IMAGERIE THRS



WGDisasters

Working Group on Disasters



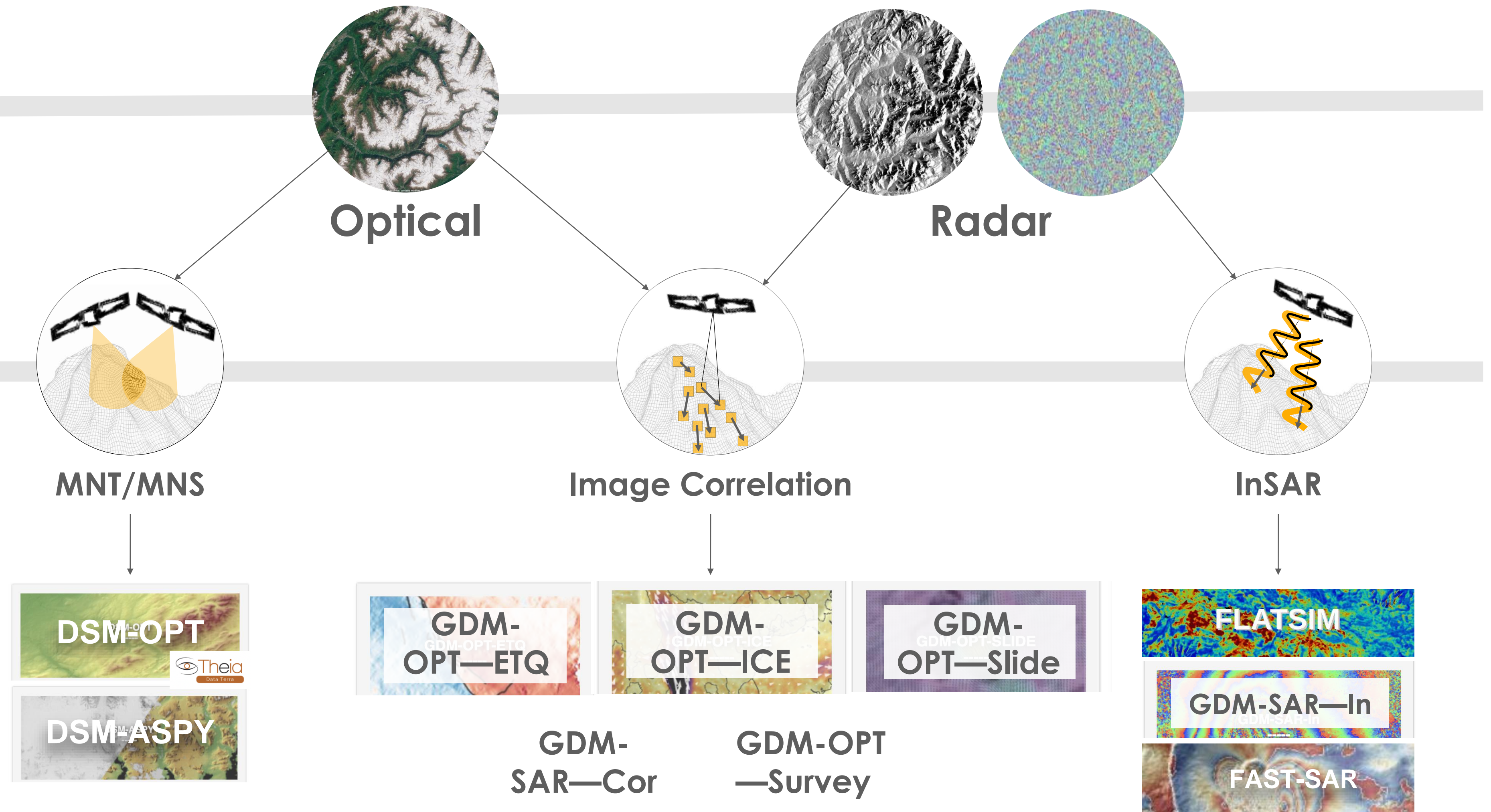
# Chaines de Traitement / services | FormaTerre & ISDeform

Satellite images

Processing techniques

FormaTerre  
Processing  
chains

<https://www.poletterre solide.fr/services-de-calculs-a-la-demande/#/>





# InSAR Sentinel-1 | ex. du séisme du Teil (vers Montélimar)

## GDM-SAR-IN

**À propos du service**

**À propos du quota de calculs**

**Recherche d'images**

**Emprise territoriale**  
Dessiner sur la carte ou saisir une zone géographique en évitant si possible les surfaces aquatiques et la végétation.

**Période d'acquisition**

De

À

**Filtrer par Mois**

**Paramètres du satellite**

SENTINEL-1

SAR INSTRUMENT C

**CHOISIR UNE ORBITE RELATIVE**

N° 37 D (2 images) N° 59 A (2 images) N° 139 D (1 image) N° 161 A (2 images) Toutes les orbites

Zone Couverte par 4 fauchées Sentinel-1 : information potentiellement améliorée au fil des jours, avec complémentarité des lignées de vue radar et optimisation du traitement et du déroulement de phase.



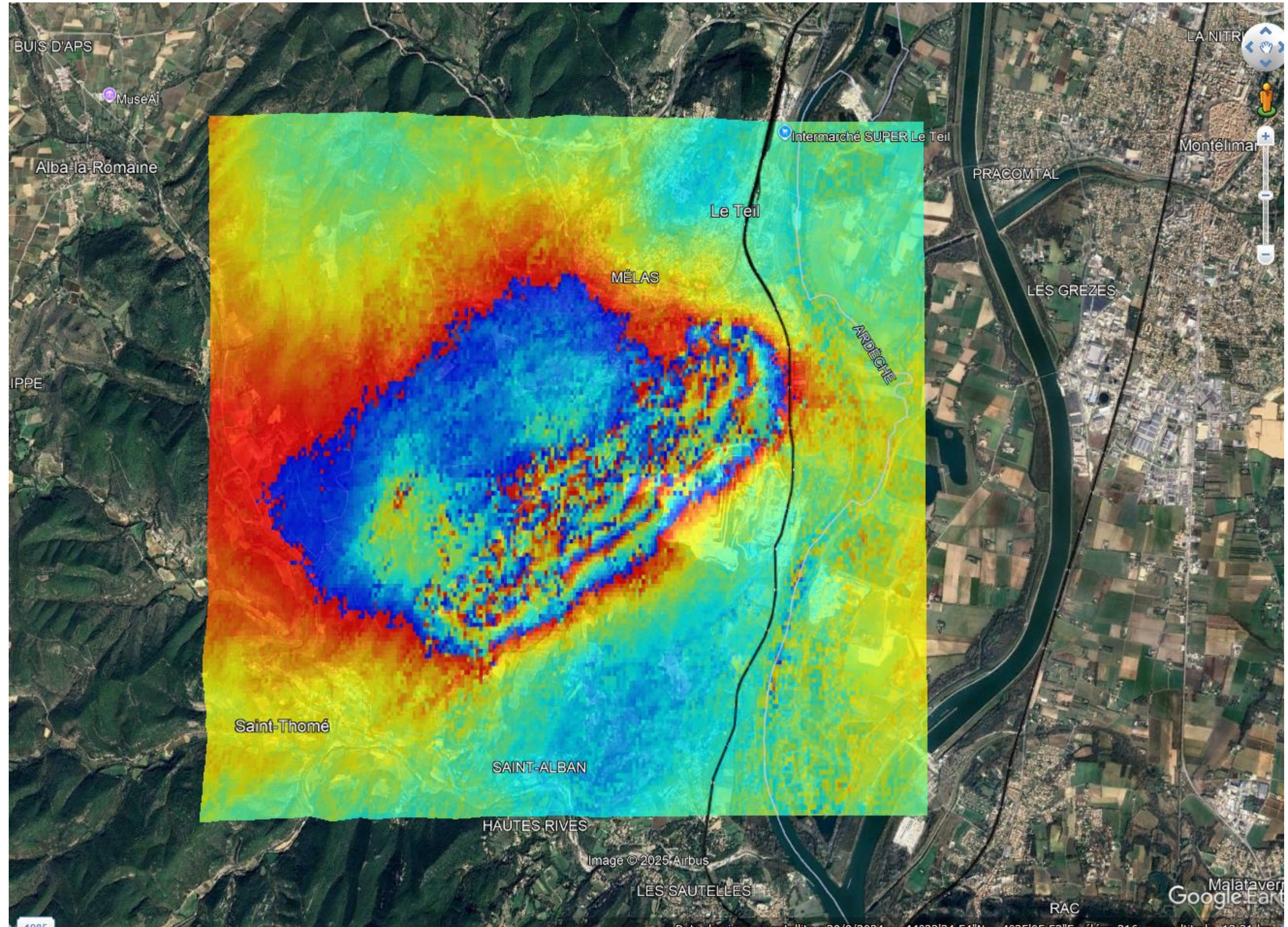
# InSAR Sentinel-1 | ex. du séisme du Teil (vers Montélimar)

## Séisme du Teil:

Main Shock : du 11 novembre 2019 (Mw 5),

Acquisition Sentinel-1 dès le lendemain et envoi des informations aux personnes sur le terrain dès le soir (12 nov.)

=> Traitement non optimisé mais guide utile pour rechercher la trace de la faille sur le terrain et pour positionner les sismomètres.



fichier kml envoyé le 12 nov. en soirée aux équipes sur place en fin de journée



# InSAR Sentinel-1 | ex. du séisme de la Laigne (vers Niort)

**Séisme de la Laigne** Main  
Shock : **vendredi 16 juin**  
2023 Mw 4.9 à 16h38 UTC

Analyse des données S1 à  
venir faite le jour même: 4  
fauchées possibles, avec  
acquisitions post-seisme :

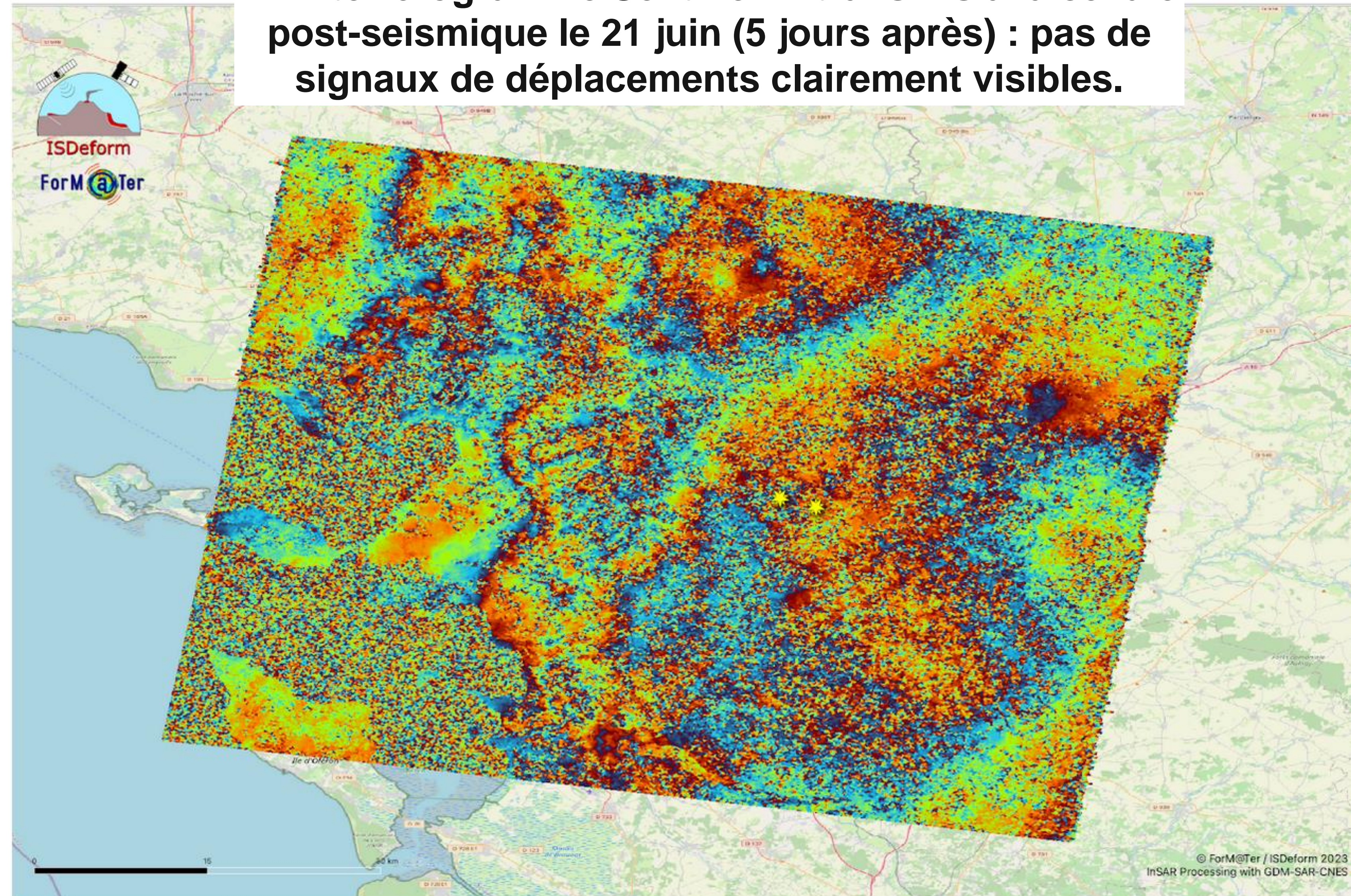
A132 : attendue **samedi 17 juin**  
(un peu trop en bordure Est de la  
zone epicentrale )

D008 : attendue **mercredi 21 juin**

A030 : attendue **jeudi 22 juin**

D081 : attendue **lundi 26 juin**

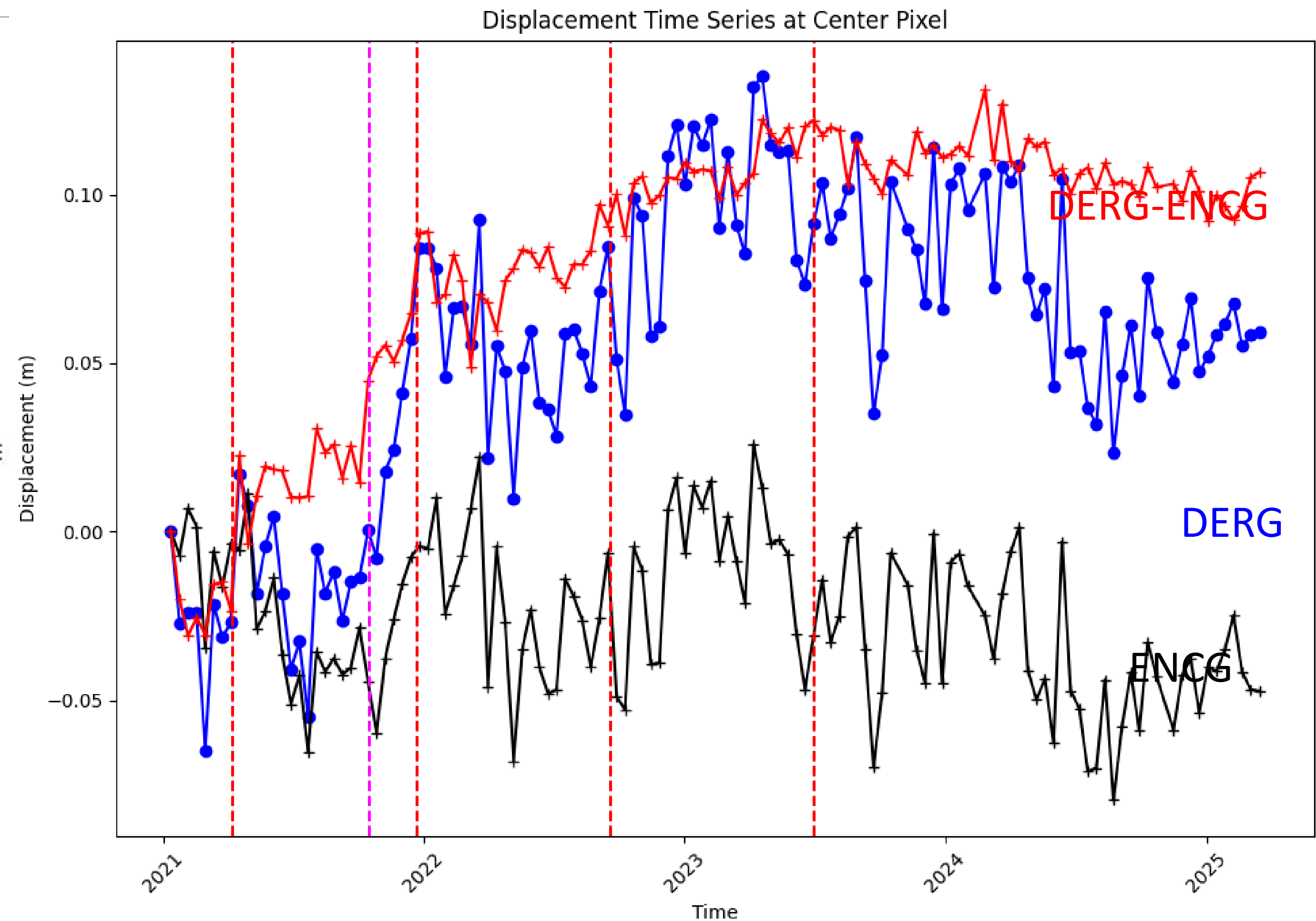
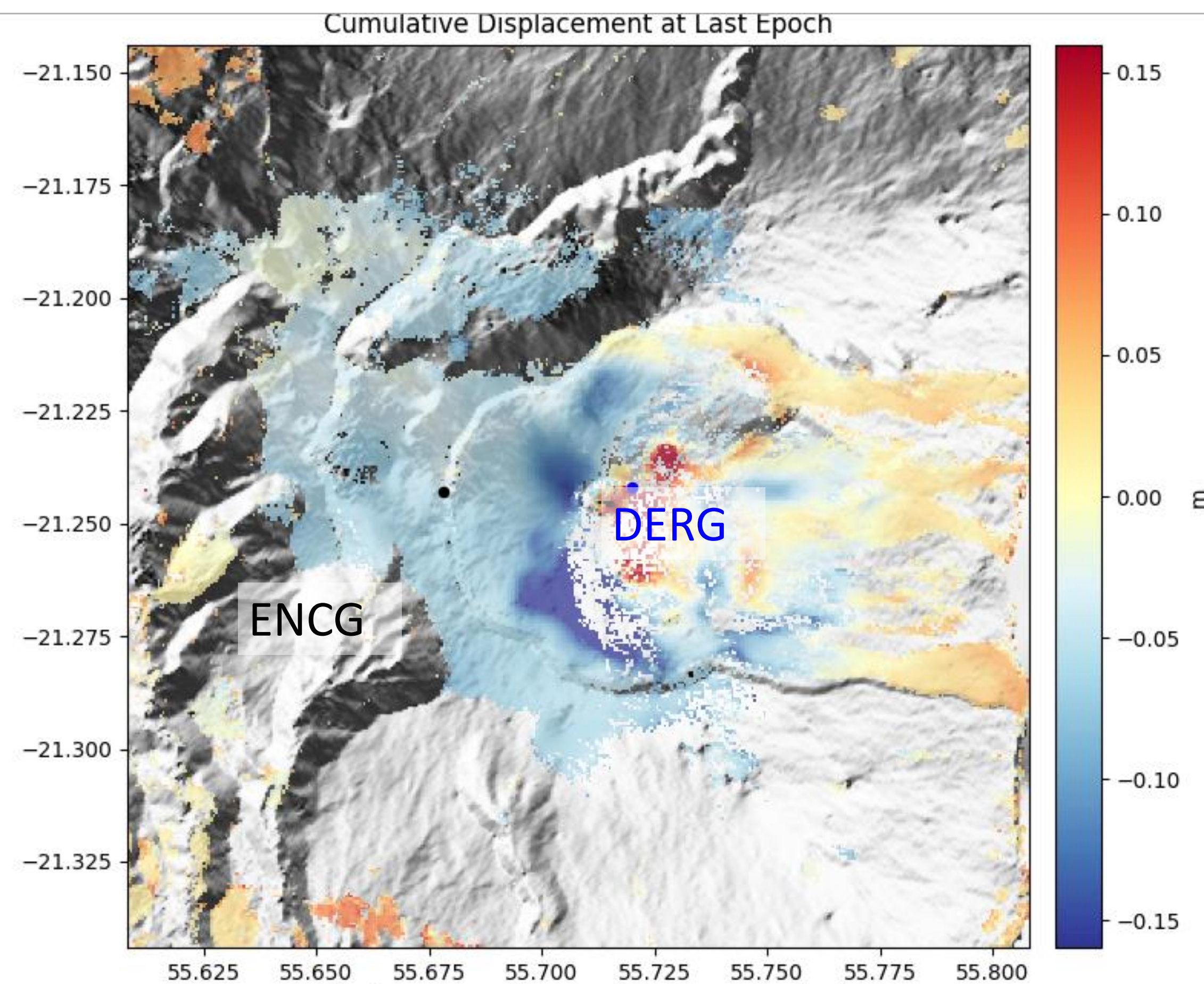
**1<sup>er</sup> interférogramme Sentinel-1 transmis à la cellule  
post-seismique le 21 juin (5 jours après) : pas de  
signaux de déplacements clairement visibles.**





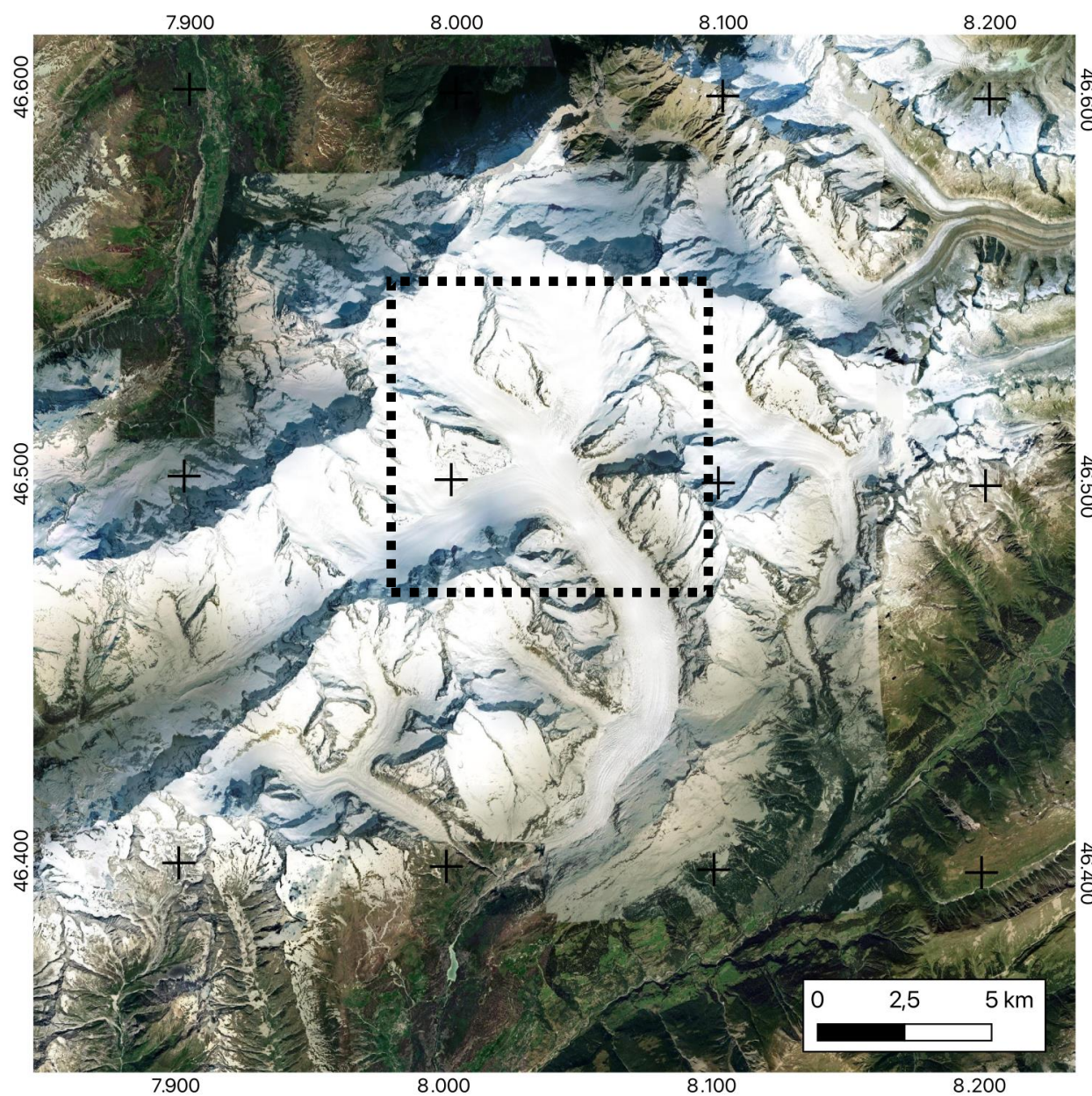
# FAST-SAR: Fully Automated processing on Small Targets using SAR data

- Calcul en routine de produits SAR sur des cibles identifiées (ex. Volcan Piton de la Fournaise), avec mise à jour automatique..





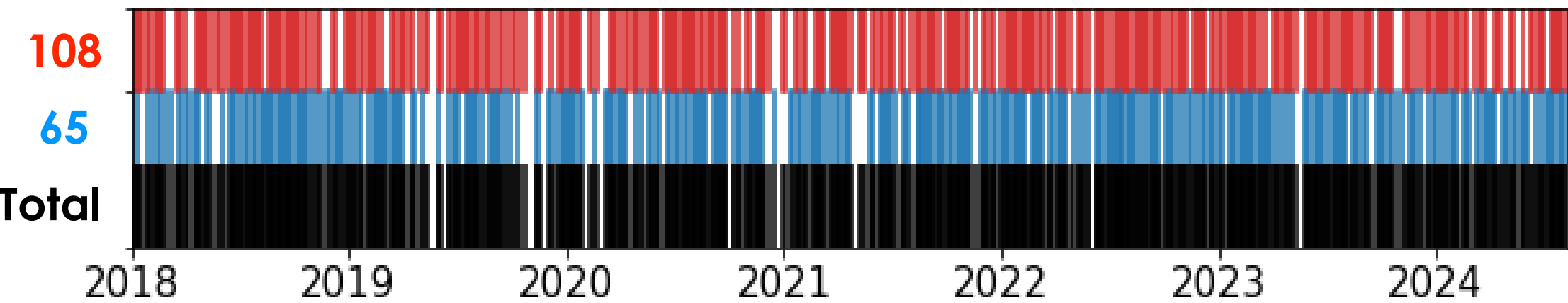
# GDM-OPT-Survey | Continuous monitoring by image correlation



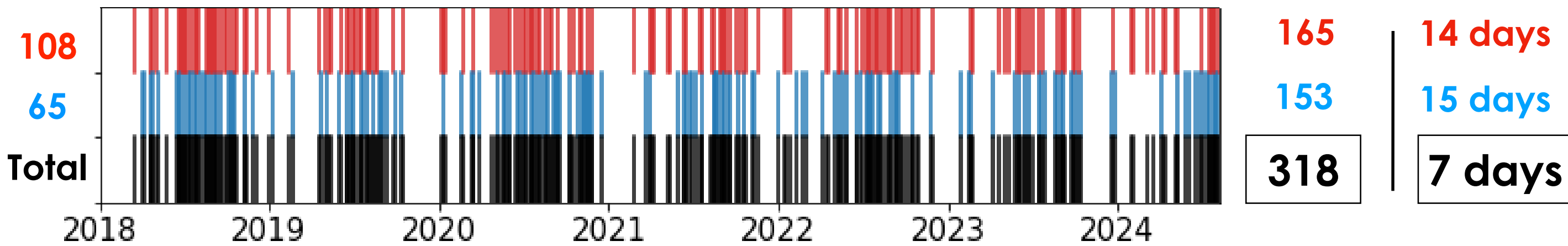
Sentinel-2 L1C

## 1. GDM-Survey is « multi-file », « multi-orbit »

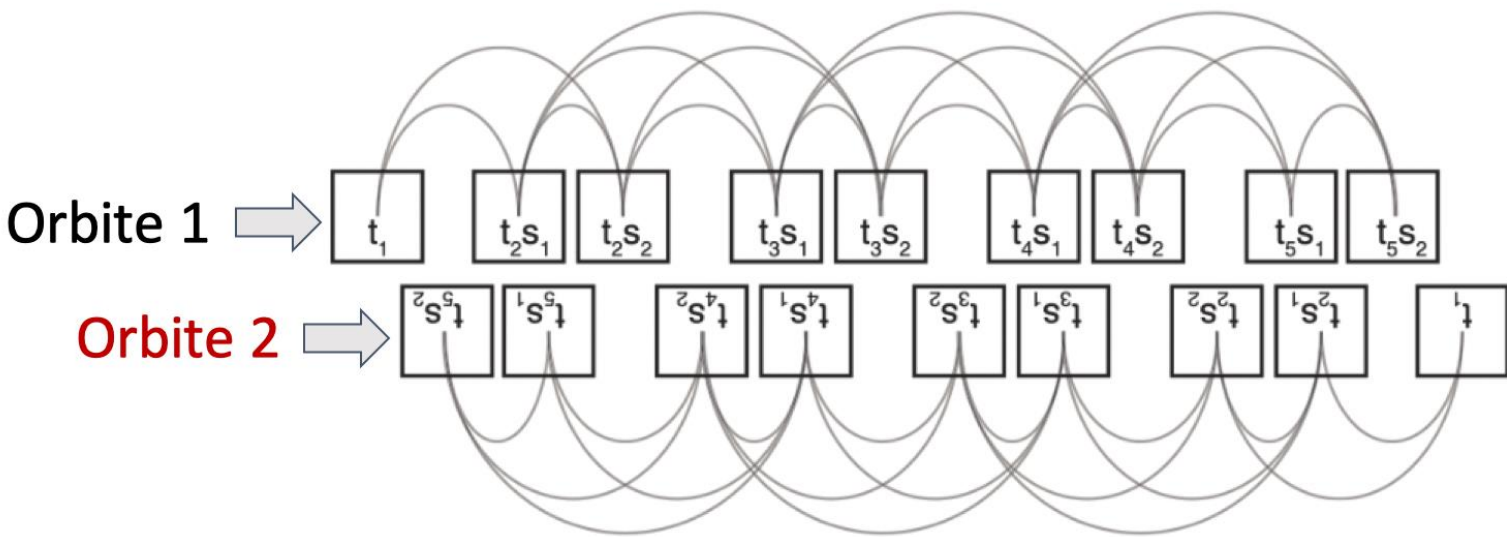
Relative Orbit



## 2. Cloud-coverage is computed on the AOI



## 3. Paires are created per orbit





## Plusieurs problématiques :

- Niveau de validation, (test automatique, humain) vs rapidité
- Gestion de l'arrivée progressive de données pouvant améliorer les résultats (orbites précises, DEM, correction atmo), combinaison de données (optique + radar + GNSS +...) => différentes versions de traitement.
- Adaptation du niveau de traitements au niveau d'expertise des destinataires (à anticiper, ainsi que les canaux de diffusion)
- Ressources humaines limitées pour la supervision du processus de réponse (cf. vacances / week-end, ...)
- => Automatisation des traitements et de la diffusion.



# InSAR Sentinel-1 | ex. d'un service déjà opérationnel pour séismes

Service de l'INGV et du CNR IREA en lien avec EPOS

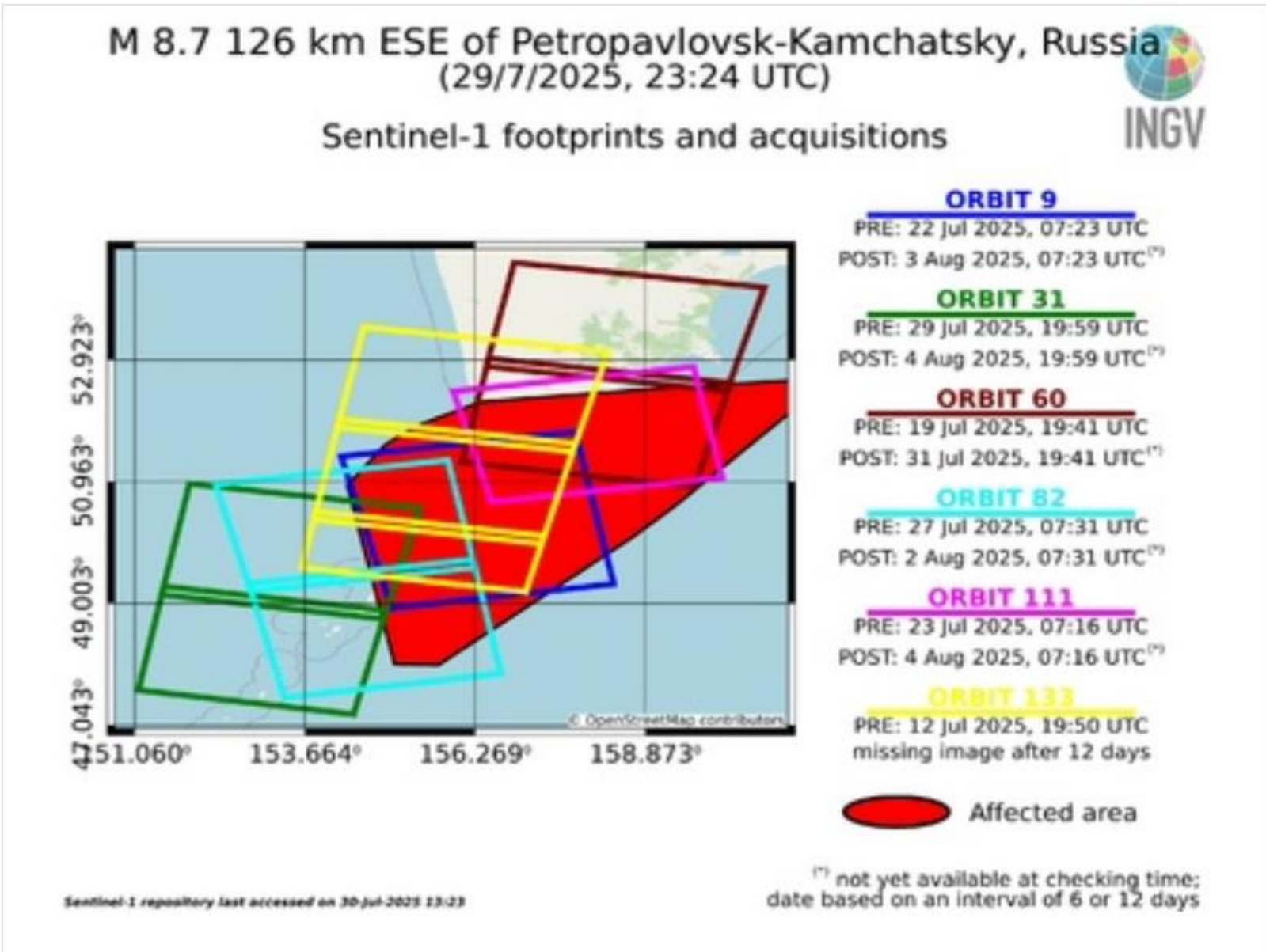


Automatic seismic source modeling of InSAR displacements  
<https://terremoti.ingv.it/en/finitesource>

Sar Image Footprints and Acquisitions

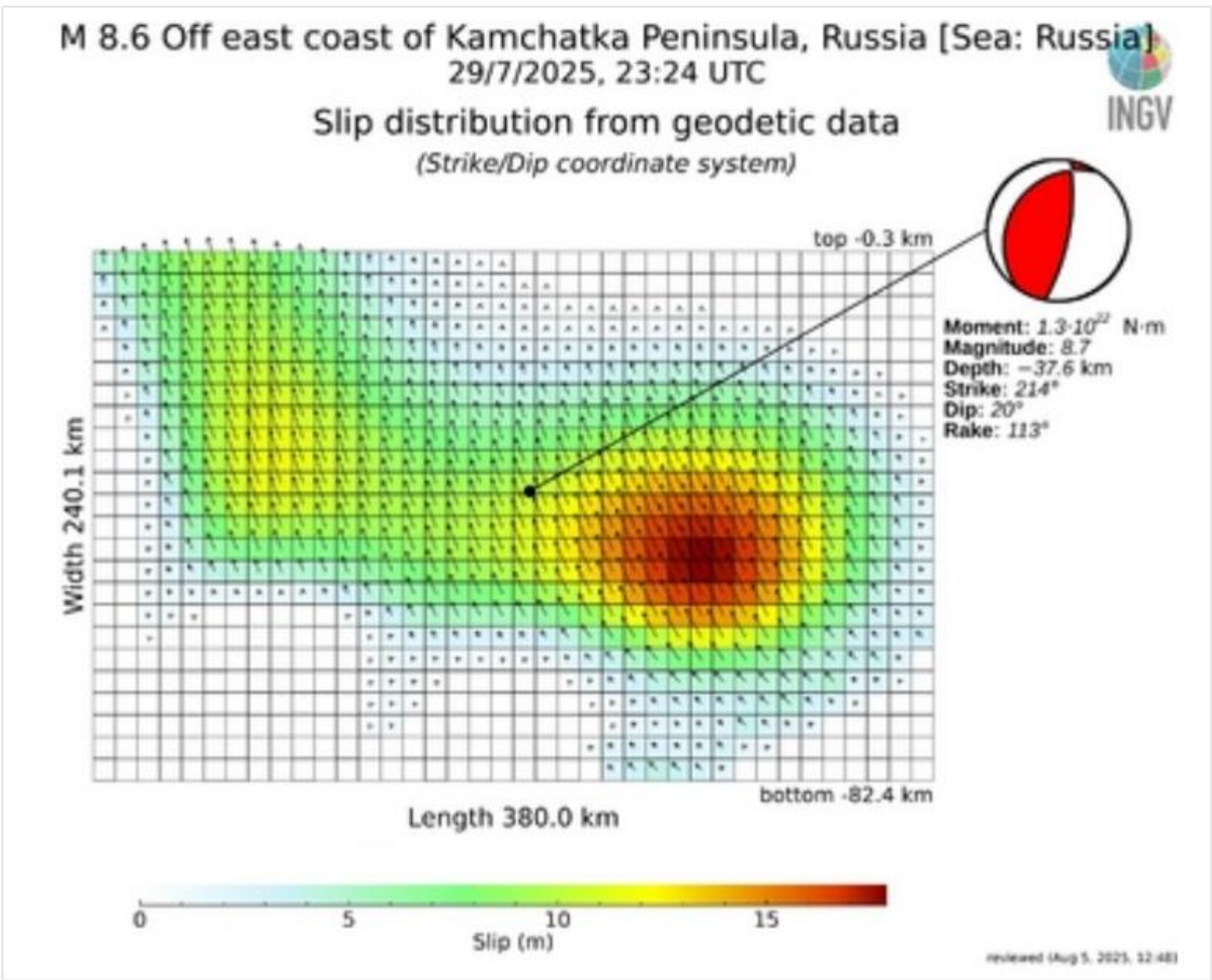
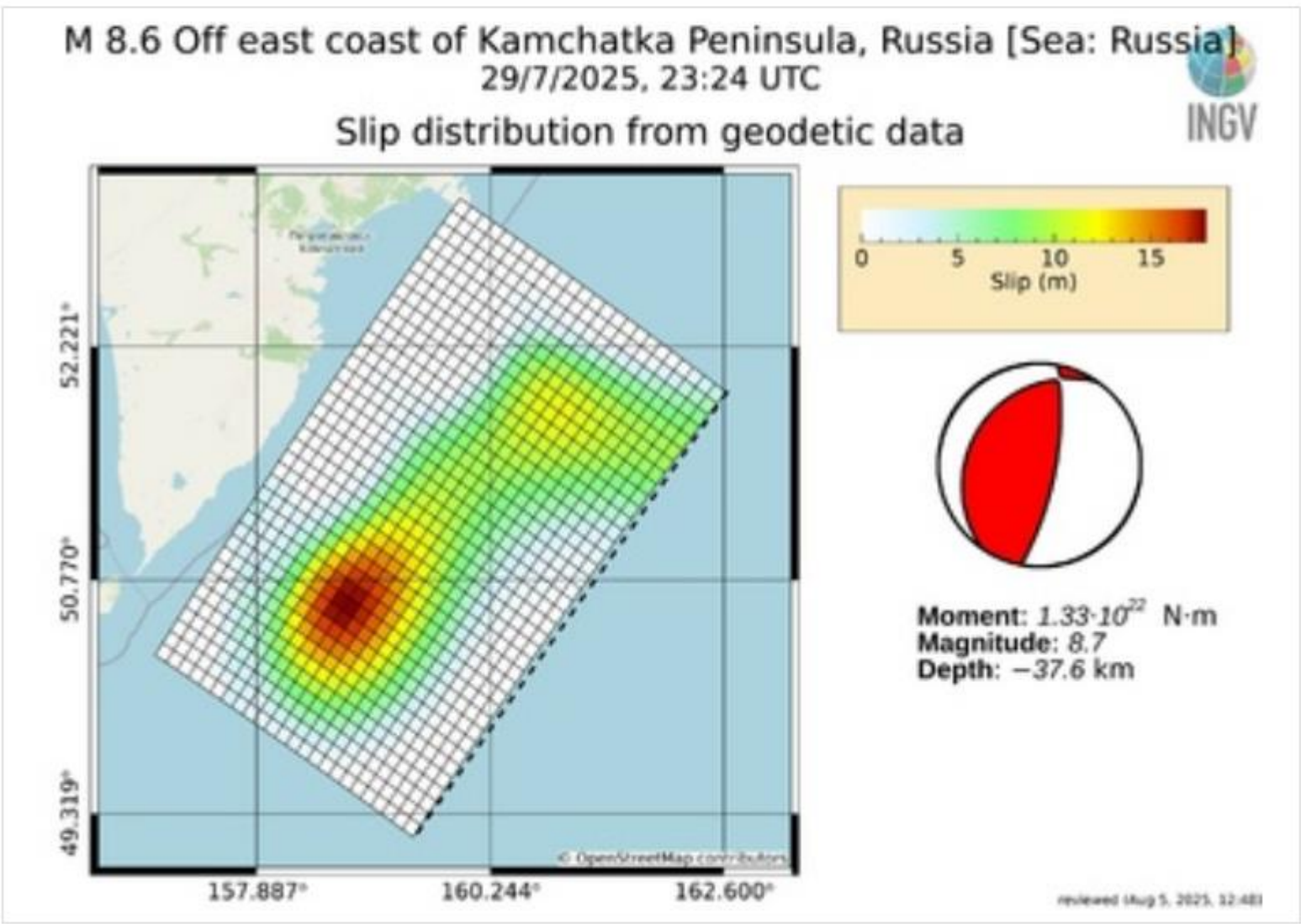
Finite source from geodetic data

SAR image footprints and acquisition time for the Sentinel-1 (European



Rupture distribution along the seismic source derived from the analysis of displacement maps obtained from Sentinel-1 (Copernicus Project) satellite images. Displacement data, from InSAR, produced by EPOSAR service run by CNR IREA.

Focal Plane FP1





# SERVICE slsmo-Satellitaire pour les Tremblements de tErre Mondiaux (SeiSTeM)

**Projet en cours en réponse à un appel à Service de FormaTerre.**

*(B. Delouis, J-P Malet, E. Pathier)*

## **Objectifs:**

1) Mettre en place un système (sur la base d'un déclenchement type séisme) pour **générer automatiquement des cartes de déformations du sol suite à un évènement tellurique exceptionnel** :

- Données satellitaires optiques : GDM-OPT-ETQ
- Données satellitaires SAR : GDM-SAR-in

2) Déterminer et diffuser une **estimation de la distribution de glissement et de la directivité de la rupture sismique** avec le code SLIPNEAR :

(1) données sismologiques seule (1ère estimation)

(2) données sismologiques + données satellitaires (2ème estimation).



# SERVICE slsmo-Satellitaire pour les Tremblements de tErre Mondiaux (SeiSTeM)

Déclencheur :  
ex. Alerte USGS



Service de Traitements  
Imagerie (GDM-OPT / GDM-SAR)



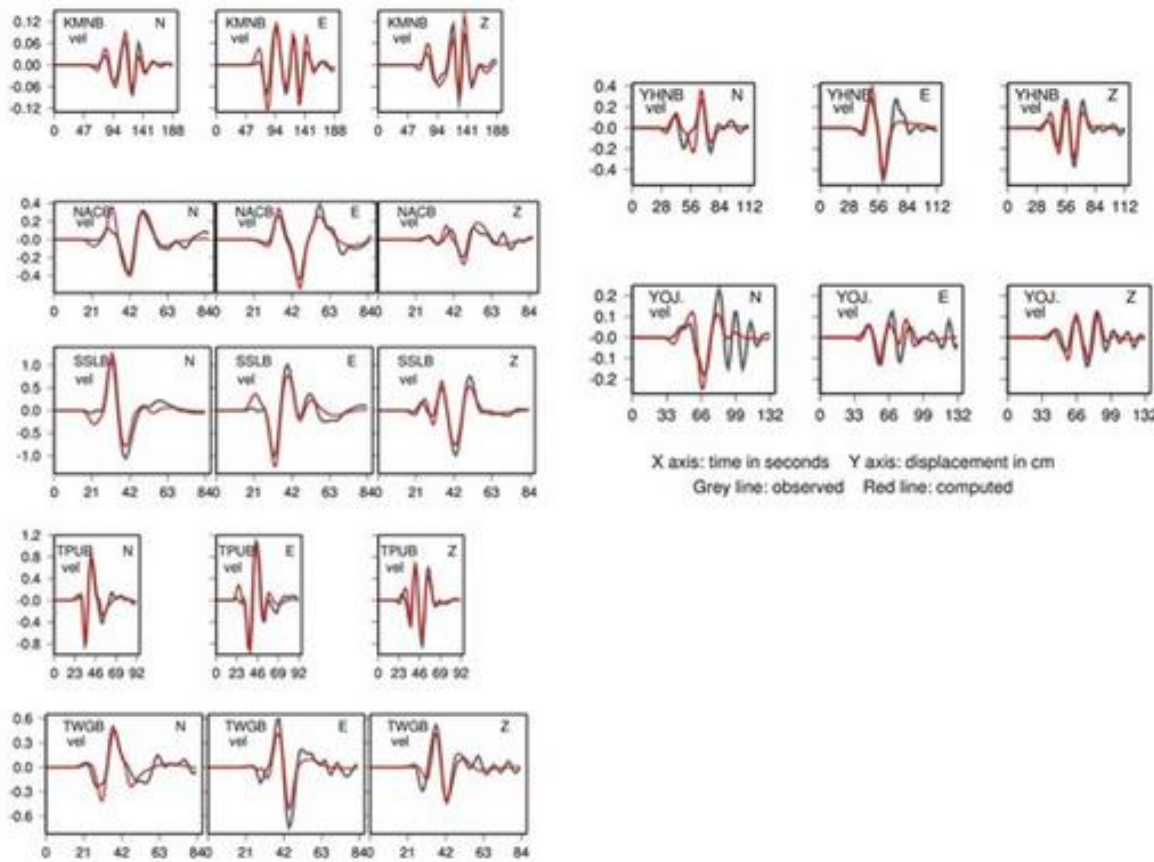
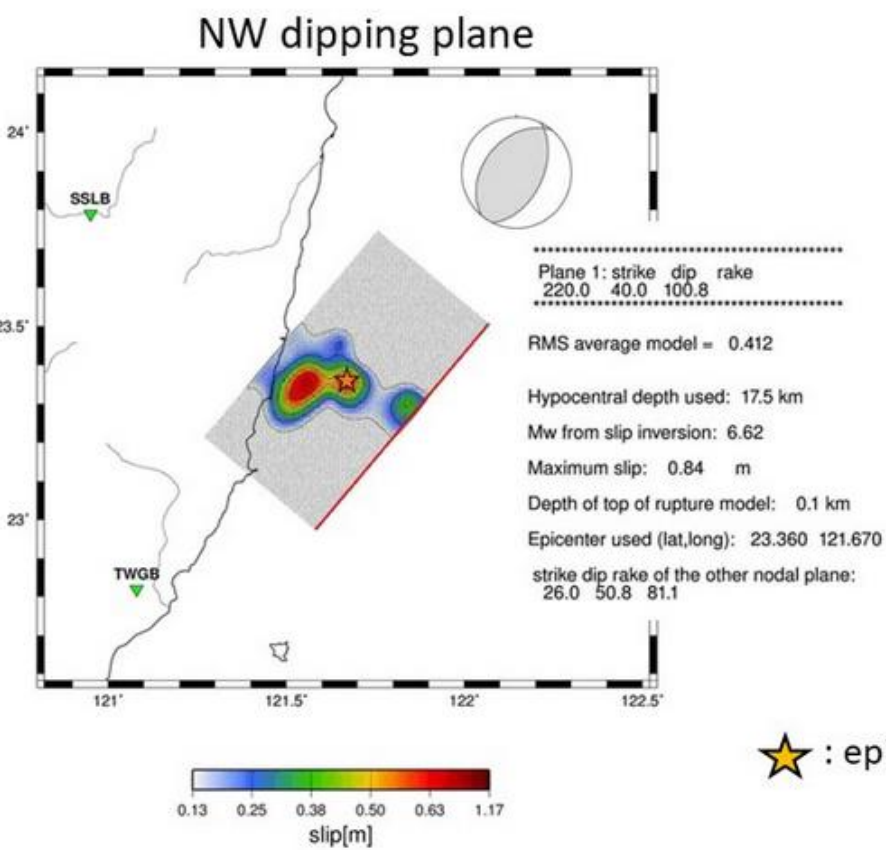
Etape de tests  
de validation



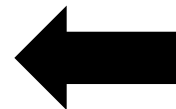
(1ère estimation)



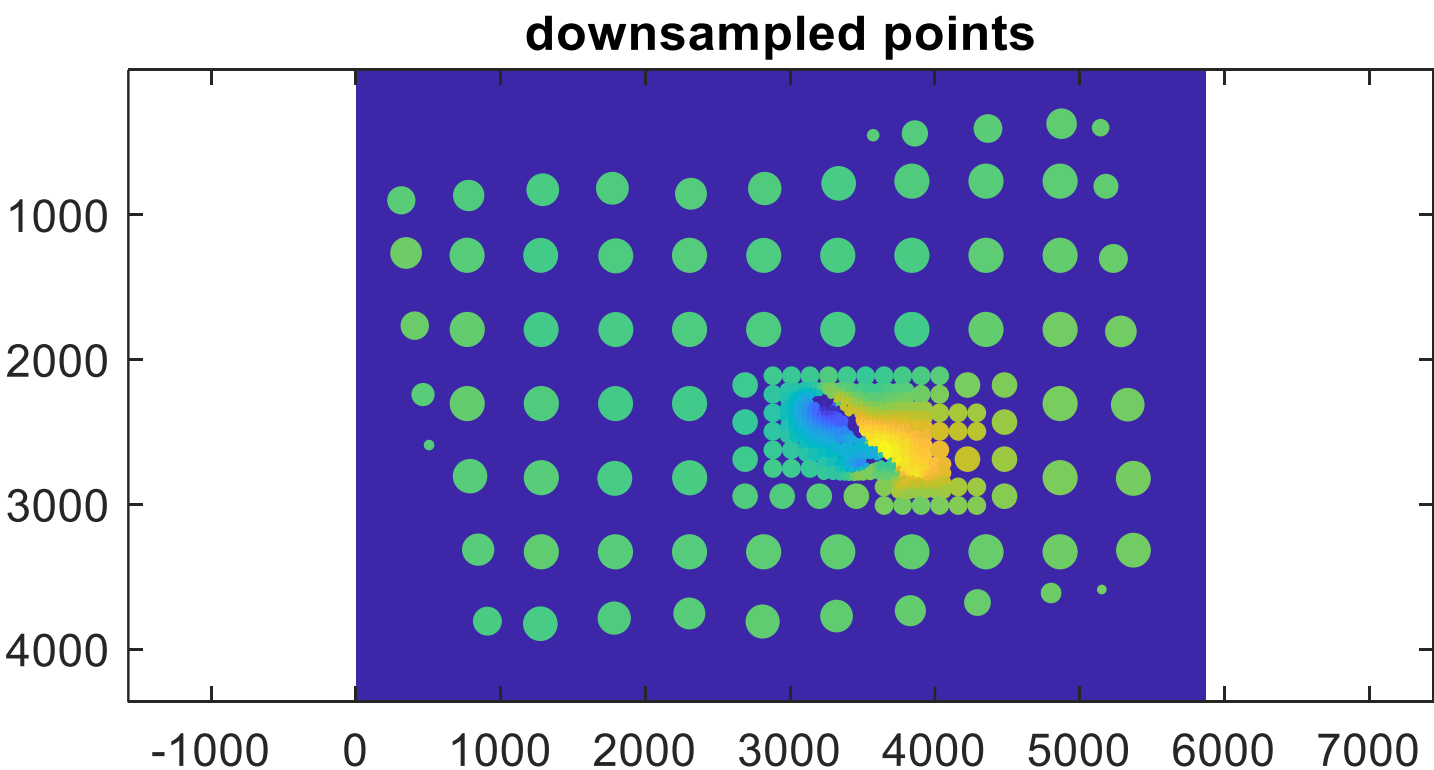
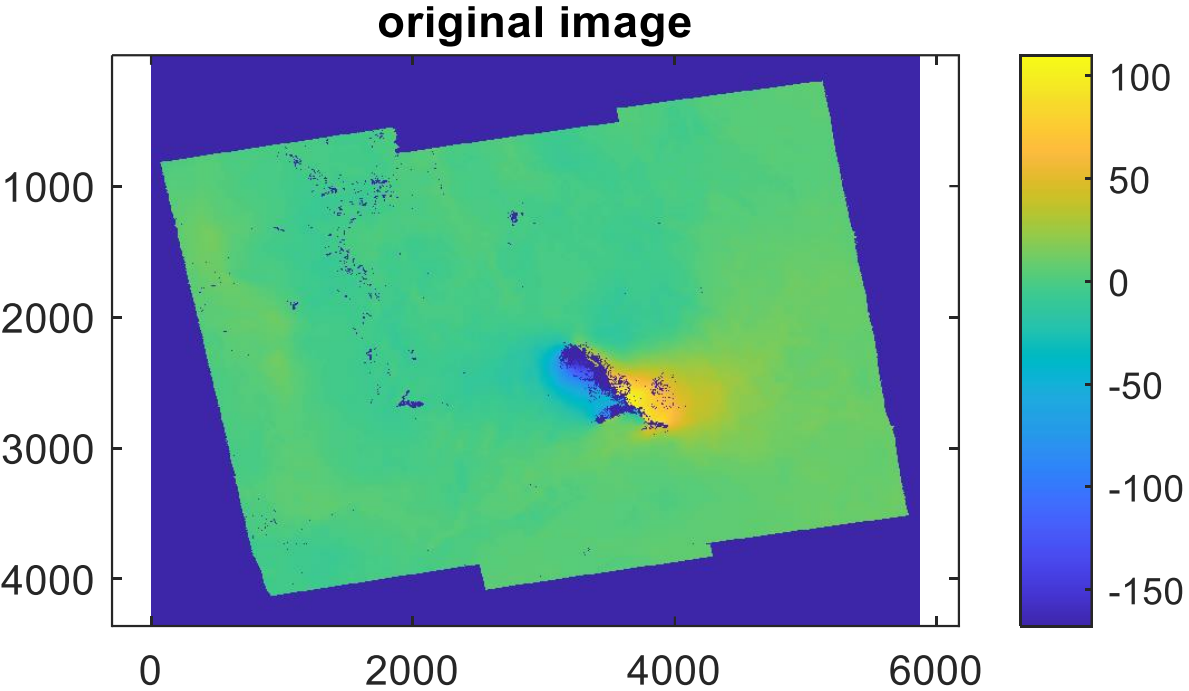
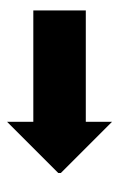
Inversion source SLIPNEAR (Geoazur)



(2e estimation)



Post-traitement





- L'imagerie satellitaires ne peut seule permettre des réponses systématiques en raison de plusieurs limitations liées aux données et méthodes utilisées. Intégration à d'autres données importantes.
- Une stratégie d'automatisation sur le long terme est cruciale pour assurer une meilleure rapidité / robustesse de la réponse.
- Les niveaux de traitement et les modes de diffusion en fonction des usages doivent avoir été bien anticipés en amont de la crise.
- Les infrastructures Epos-Fr et DataTerra/Formaterre ont un rôle important pour la structuration multidisciplinaire de la réponse en temps de crise.

