

Interférométrie Radar au BRGM: applications, types d'aléas, besoins  
dans le cadre de nos missions

Raucoules D., de Michele M., Foumelis M.



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

Le BRGM est le **Service Géologique National** – Il est placé sous la tutelle du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, du ministère de la Transition écologique et solidaire, et du ministère de l'Économie et des Finances.

Missions du BRGM:

- 1) **Recherche et Développement;**
- 2) **Appui aux Politiques Publiques (APP, expertise);**
- 3) **Surveillance Après-Mine (DPSM);**

→ Techniques interférométriques radar: risques naturels et anthropiques se traduisant par de la déformation de surface

naturels:

- **RGA – retrait/gonflement des argilles**
- **Glissements de terrains**
- **Dissolution sel / gonflement anhydrites**
- **Vulnérabilité, Risque submersion côtière**
- **Tectonique/Volcanisme**

anthropiques:

- **après-mine**
- **subsidence urbaine (travaux, pompages)**
- **géothermie**

## INTERFÉROMÉTRIE DIFFÉRENTIELLE

Phénomènes: Dissolution de sel / gonflement d'anhydrites

→ Peu étendu, rapide

→ Contextes urbain+agricole (intérêt des données bande L)

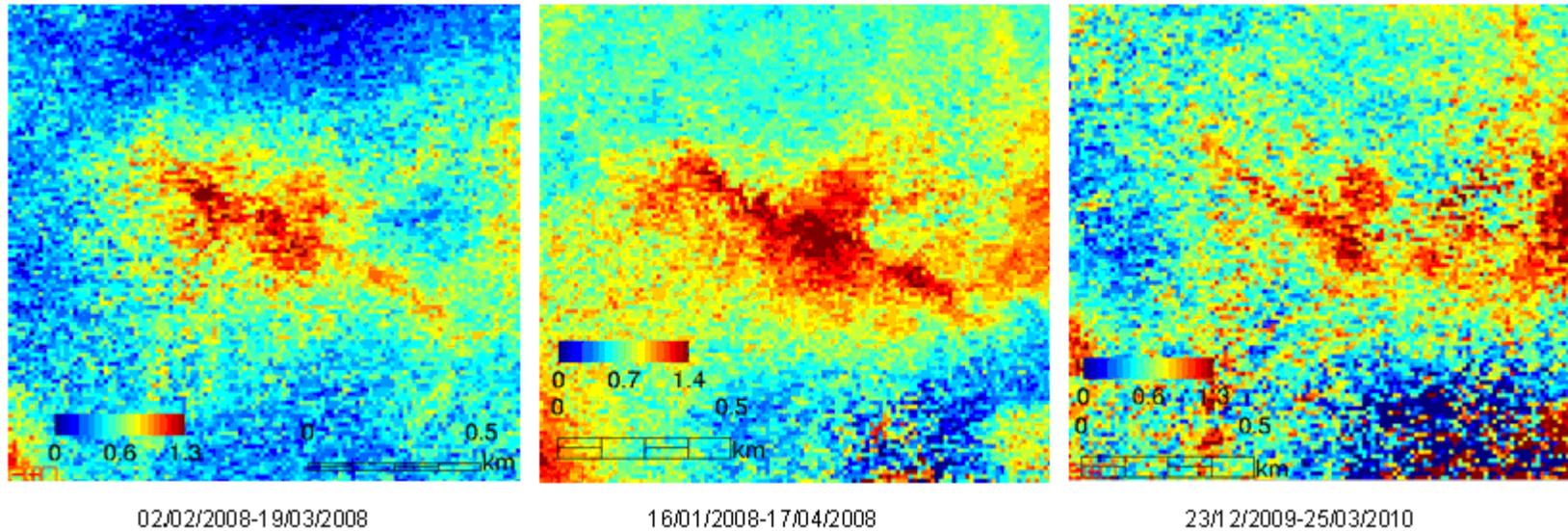
→ Besoin: évolution spatiale et temporelle (souvent déjà suivie par nivellement) mais surtout *géométrie*

→ *Perspective d'implantation d'outils géophysiques/géodésiques*



## INTERFÉROMÉTRIE DIFFÉRENTIELLE : ALOS PALSAR 2

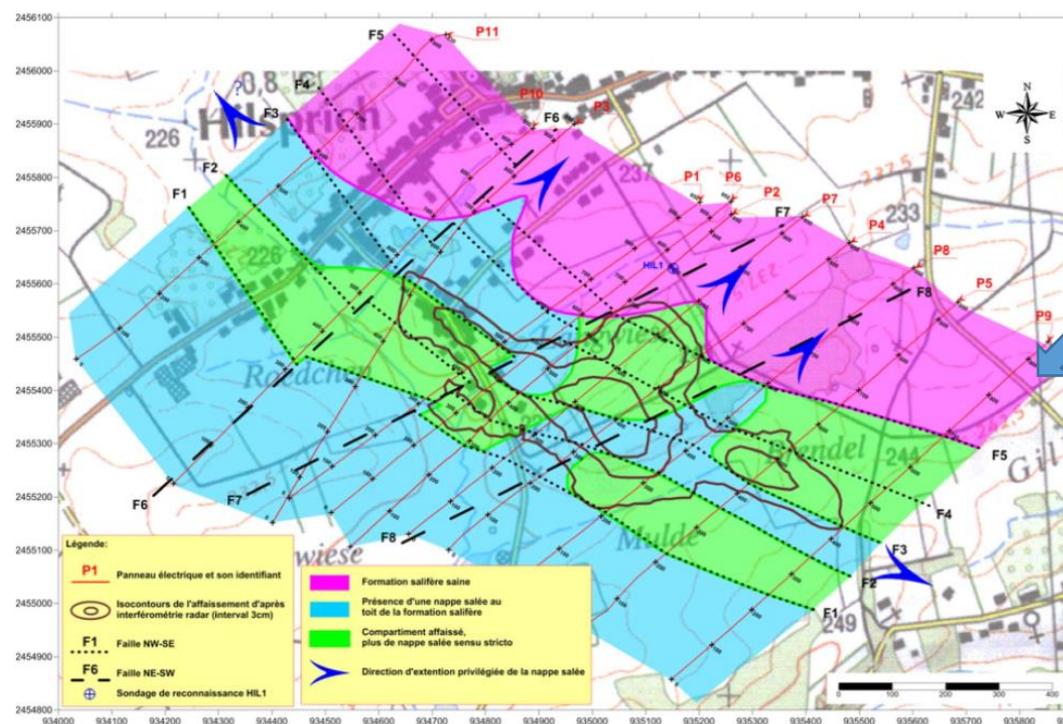
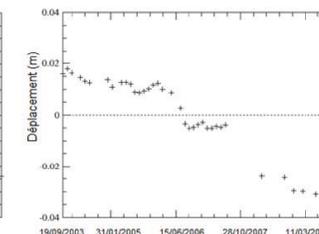
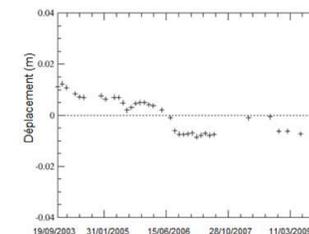
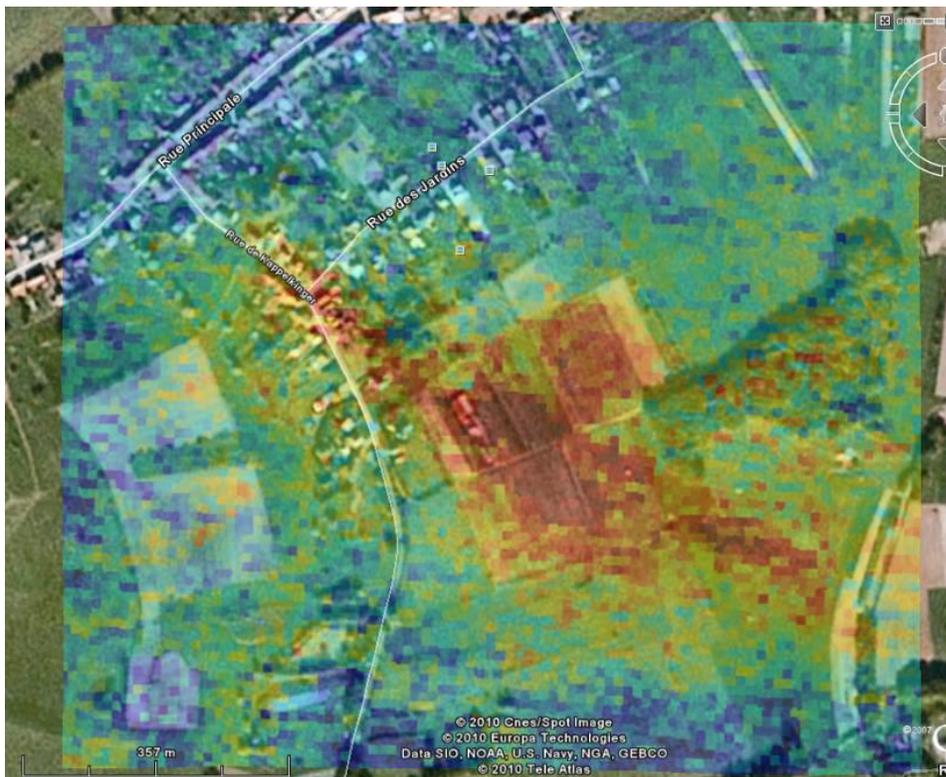
Nous avons acquis 2 séries de 4 images PALSAR sur la zone afin de produire les interférogrammes.



Raucoules et al. 2013

*3 interférogrammes indépendants les plus significatifs montrant des signatures semblables au niveau étendue et orientation. Valeurs de phase en radians ( - 2pi radian correspond en environ 15 cm de subsidence dans ce cas).*

# Intérêt de ces interférogrammes ? ... la géométrie de la cuvette de subsidence



Optimisation de l'implantation de mesures au sol

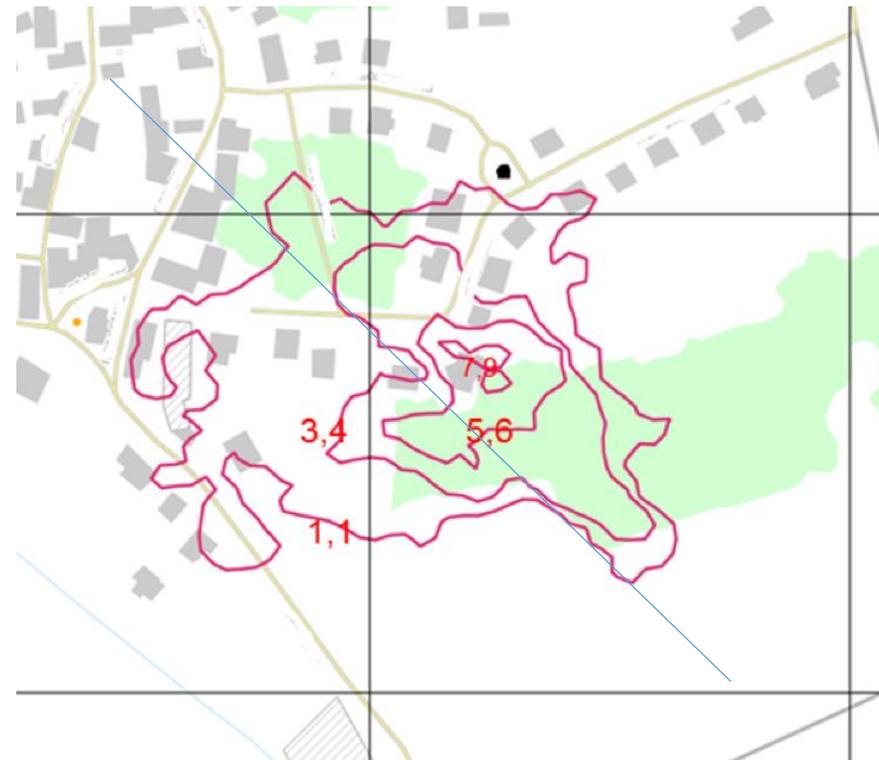
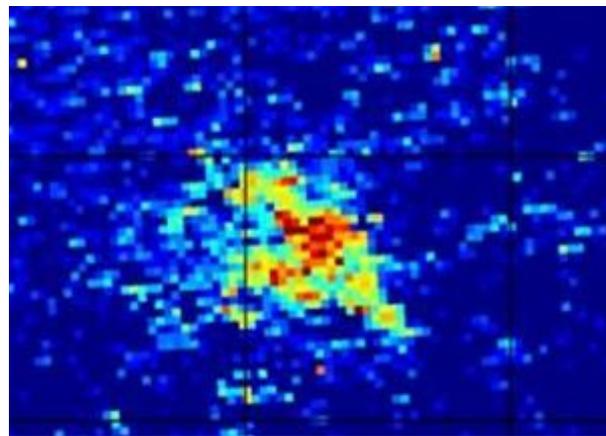


(a aussi permis de revoir le réseau de nivellement)

(source: Matthieu, 2011)



## Stacking de 10 images ALOS-2



© Raucoules, BRGM, 2018



## INTERFÉROMÉTRIE DIFFÉRENTIELLE

**Après mine** : en France il n'y a plus de mines actives depuis 2004.

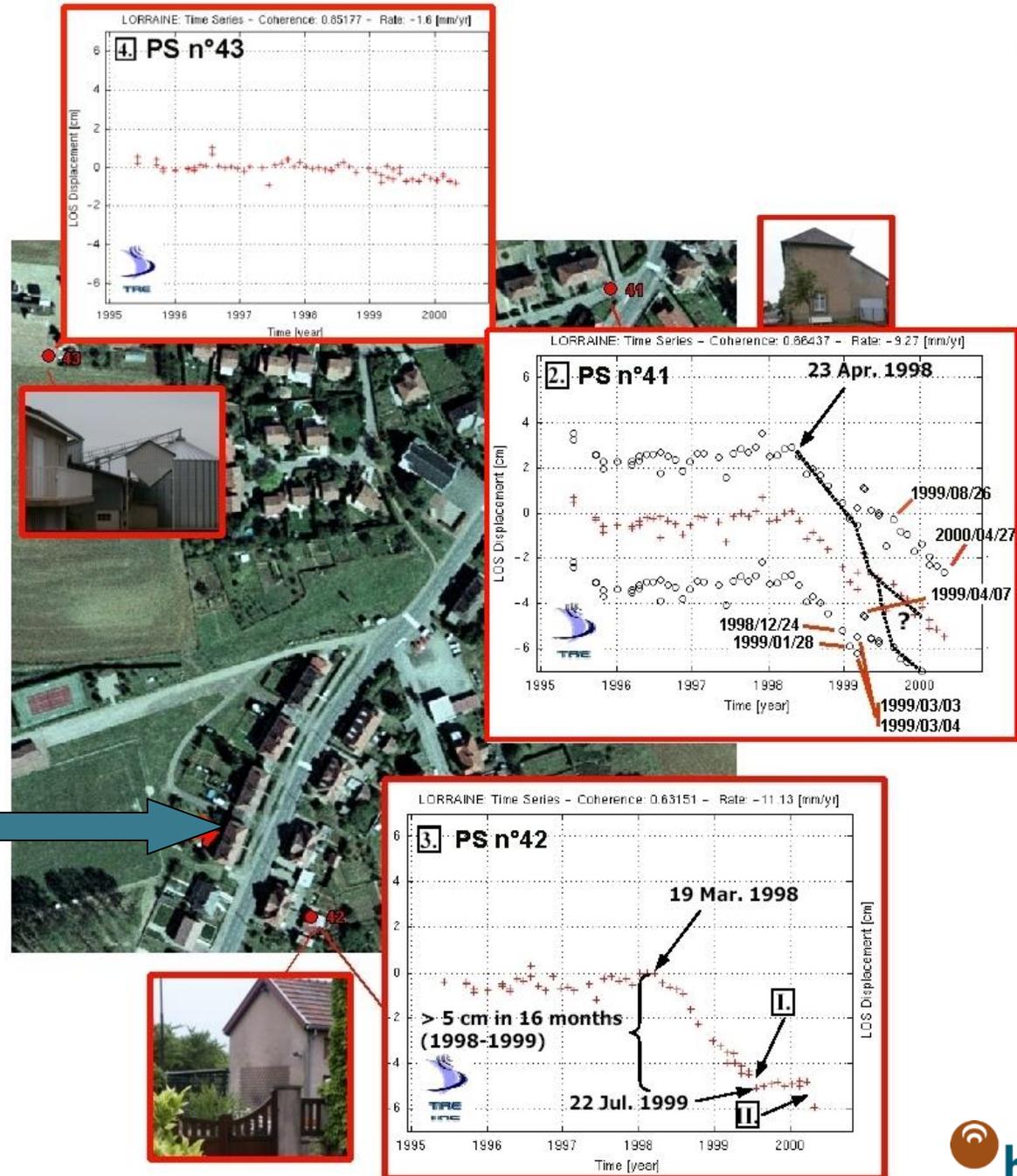
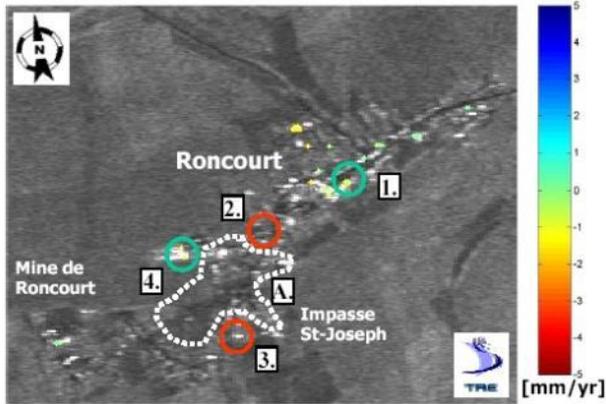
Besoin initial: compléter ou remplacer nivellement au sol

Autre besoin important : distinction entre l'origine anthropique/naturel

- Peut être localisé et rapide (dm/an). e.g. subsidence sur le bassin ferrifère Lorrain
- Étendus et lents. e.g. mouvements résiduels, notamment lié à l'ennoyage.

# RONCOURT : INSAR ERS1-2 (1992-2001)

Subsidence rapide sur ancienne exploitation par chambres et piliers



# INTERFÉROMÉTRIE DIFFÉRENTIELLE : EXEMPLES

## INSAR SENTINEL 1

Mouvements résiduels sur le NPC (2015-2019)

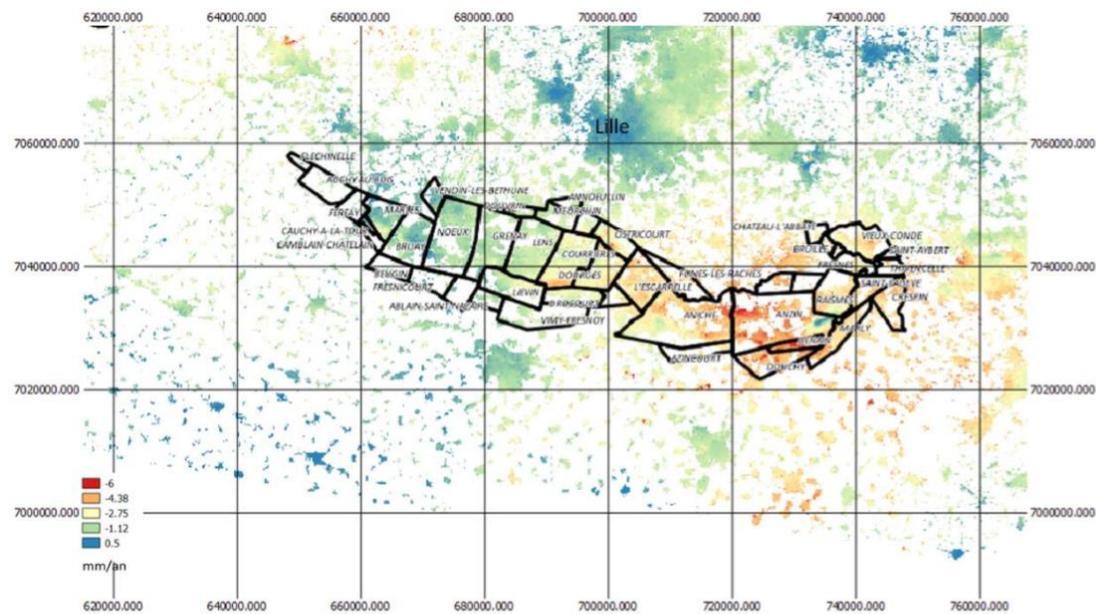


Figure 1 : vue d'ensemble de la carte de vitesses obtenue à partir des données Sentinel-1 en mode descendant. Les concessions minières sont représentées. Coordonnées Lambert 93.

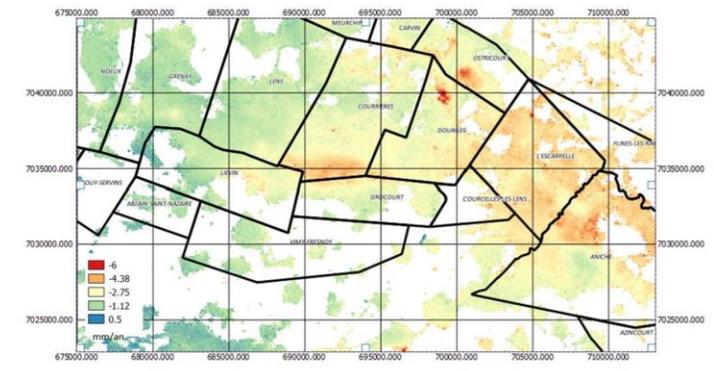


Figure 2 : Mouvements résiduels sur le secteur de Lens/Billy Montigny (de l'ordre de 4 mm/an) et Ostricourt (jusqu'à 6 mm/an)

Foumelis and Raucoules, 2019

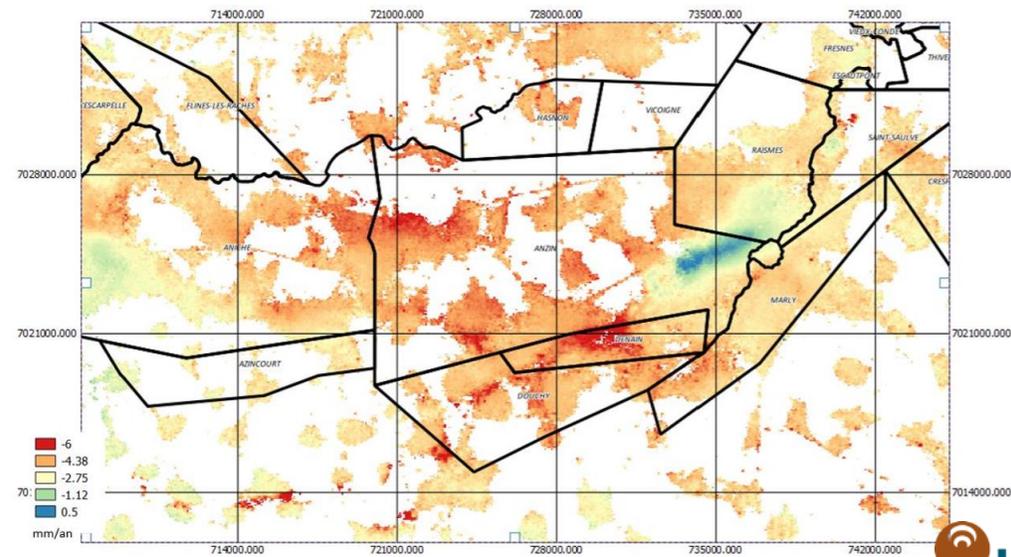


Figure 3 : Mouvement local observé sur la partie Est.

## Comparaison / problème du nivellement

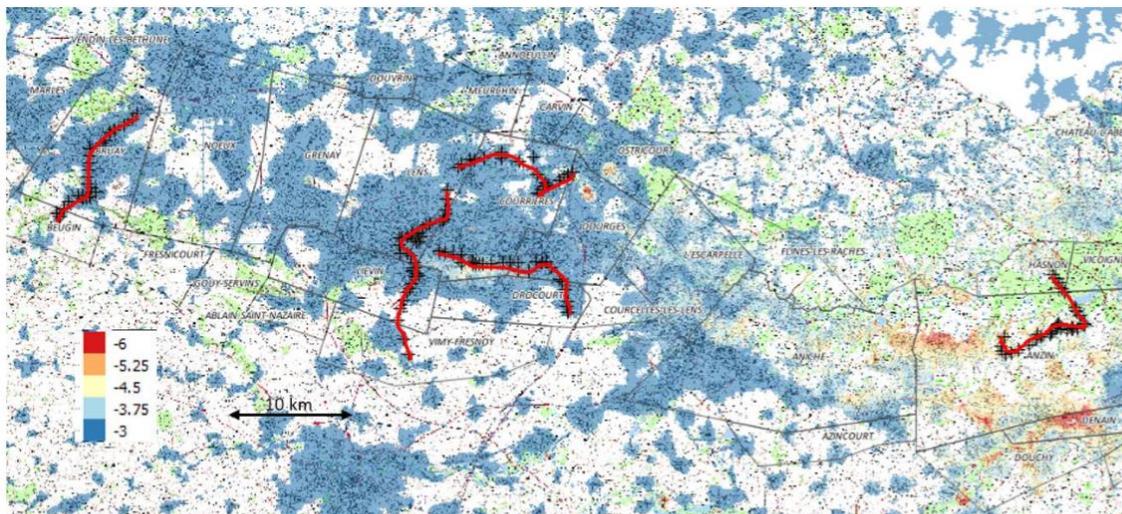


Figure 14 : localisation des lignes de nivellement et résultat interférométrique (seules les valeurs de subsidence > 3 mm/an sont représentées).

Relative offset at starting point **-2,6 mm/yr**

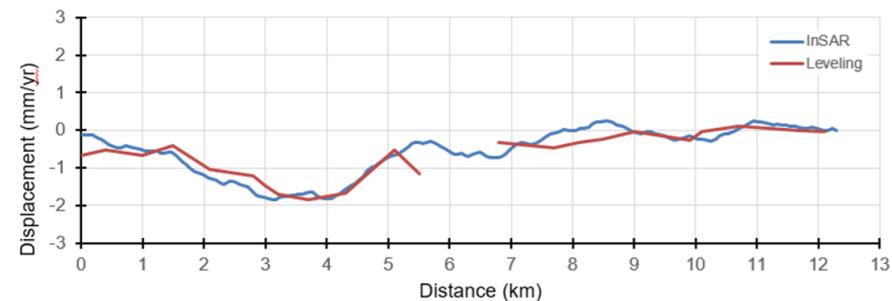


Figure 15 : comparaison interférométrie/nivellement Billy-Montigny

Relative offset at starting point **-0,6 mm/yr**

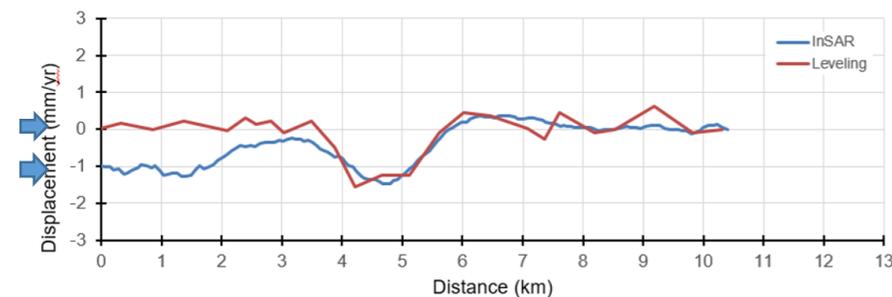


Figure 16 : comparaison interférométrie/nivellement Bruay

→ Pour ce besoin: le service EGMS (Copernicus) pourrait être utile ?

## INTERFÉROMÉTRIE DIFFÉRENTIELLE : EXEMPLES

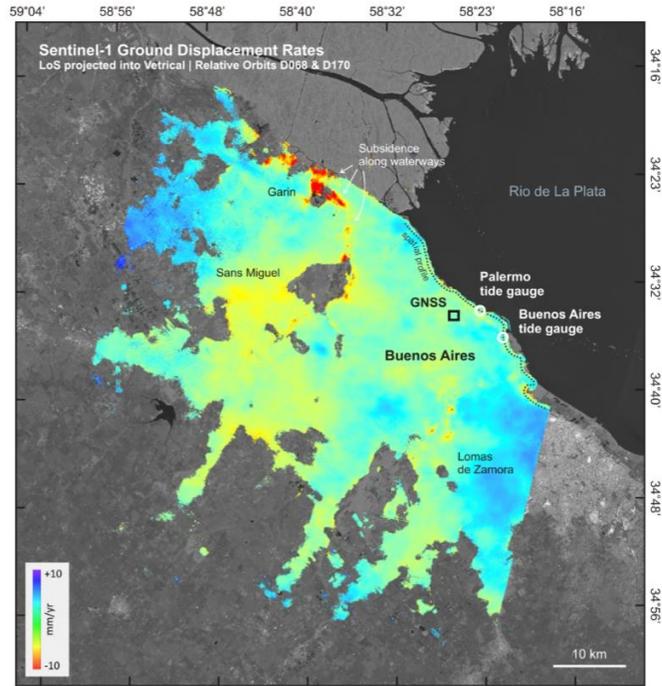
Phénomène: Subsidence côtière

### 2 aspects :

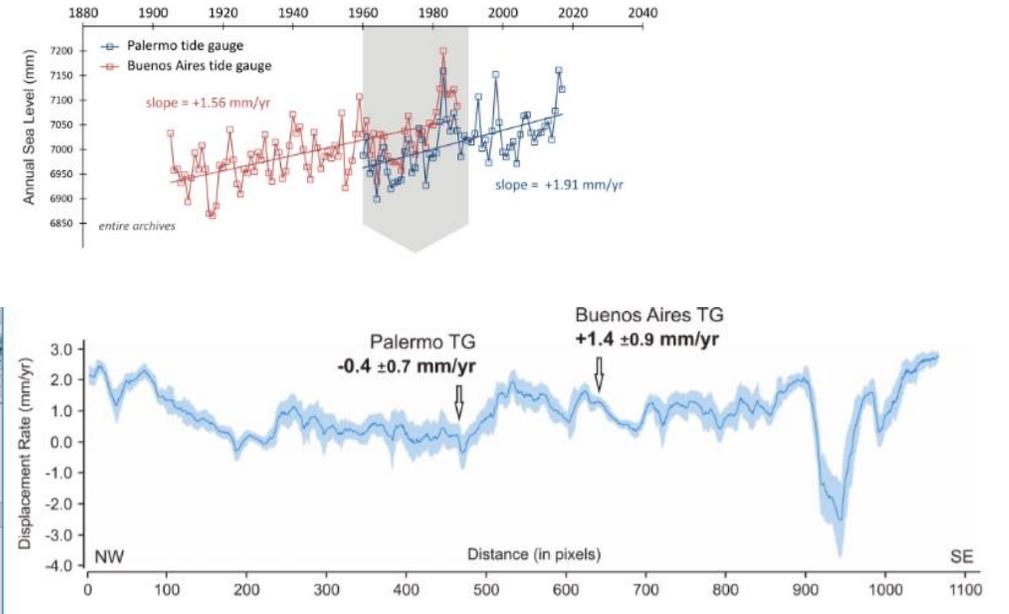
- Remontée du niveau de la mer/Changements Climatiques – corrections/validation de séries marégraphiques
  - Niveau de la mer local – vulnérabilité risque submersion
- besoin principal: vitesses sur le long terme avec précision submillimétrique / an

# INSAR SENTINEL 1

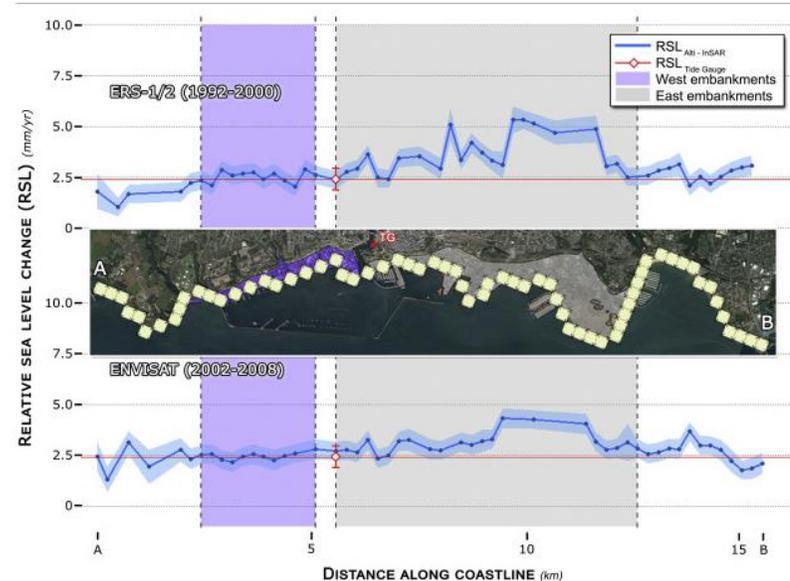
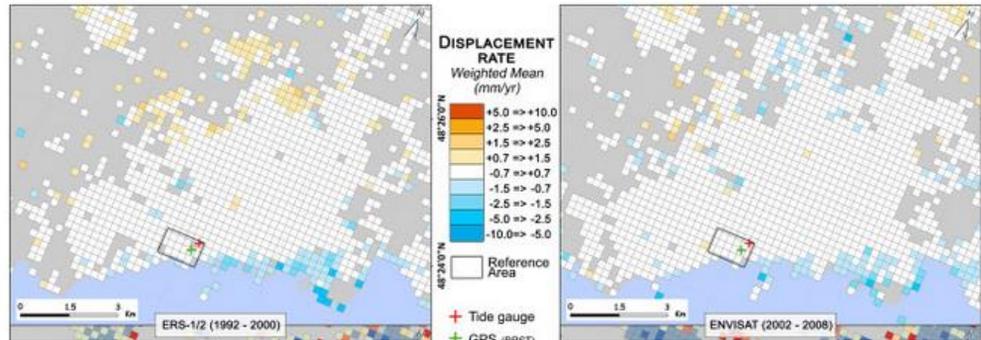
Buenos Aires  
(Foumelis, le Cozannet and Raucoules, 2019)



## Local Sea-Level Rise Observations



## Brest



(Poitevin et al., 2019)



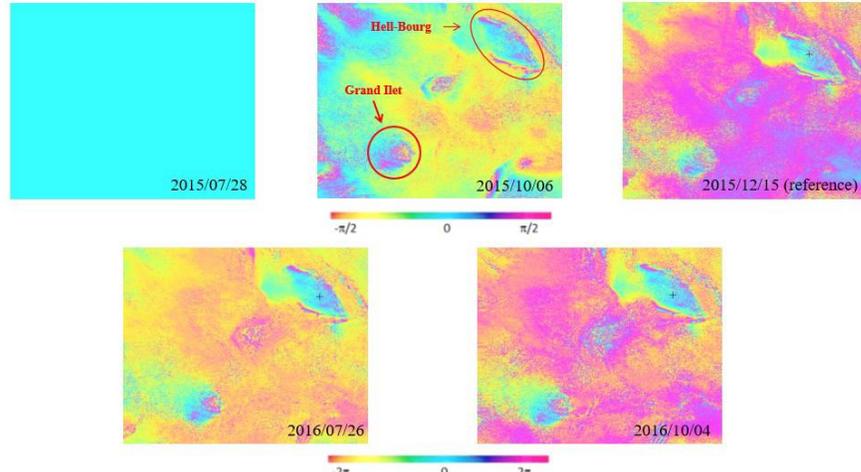
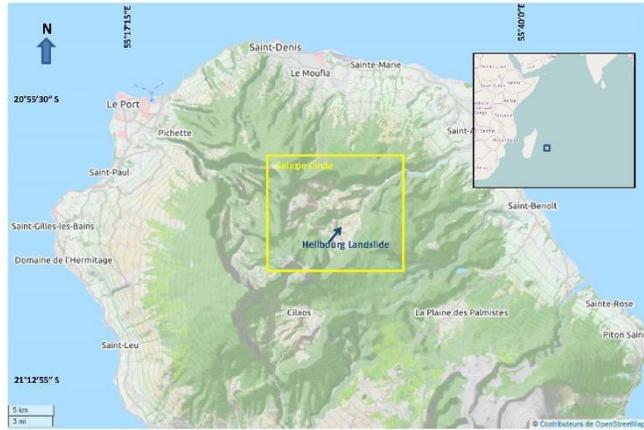
## INTERFÉROMÉTRIE DIFFÉRENTIELLE

Phénomène: Glissements de terrain

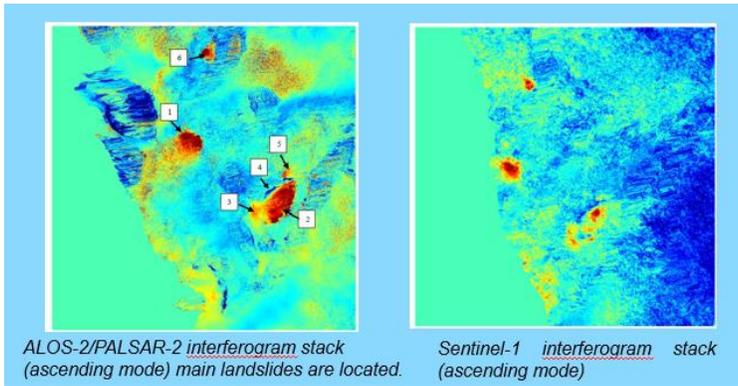
- Mouvements rapides ou lents
- 3D (ne peuvent pas être caractérisés avec une seule composante du mouvement)
- Souvent végétalisé (difficulté en bande C / PSI)
- Besoins:
  - **Inventaire** (identification de mouvements inconnus → simple cartographie des vitesses)
  - **Caractérisation** de glissements connus (géométrie, évolution)



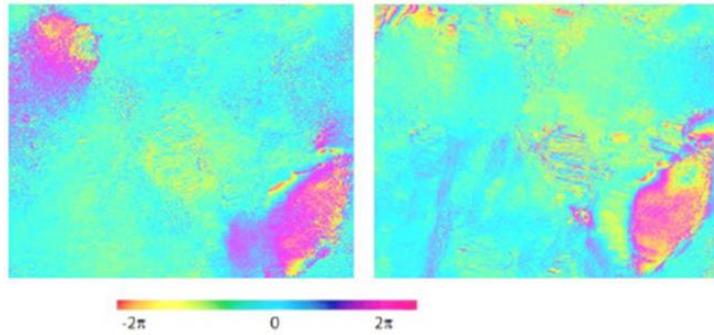
# INSAR ALOS 2



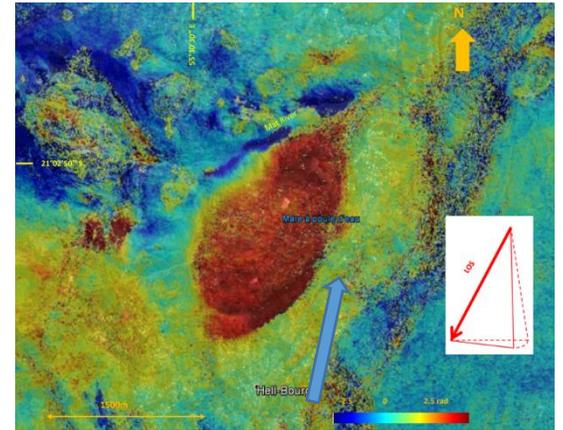
Phase time series (ALOS-2; ascending mode)



Comparison ALOS-2 / Sentinel-1



Average phase rate in radians/yr in UTM geometry in ascending (left) and descending mode (right)



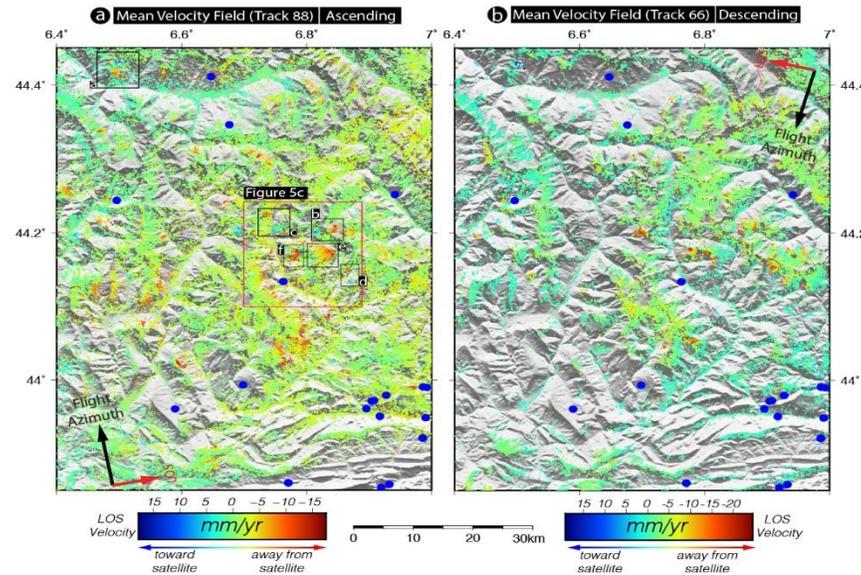
(Sources: Tomaro, 2018 et Raucoules et al., 2020)

Exemple à l'échelle « regionale » sur les Alpes Françaises, en utilisant **Sentinel 1**

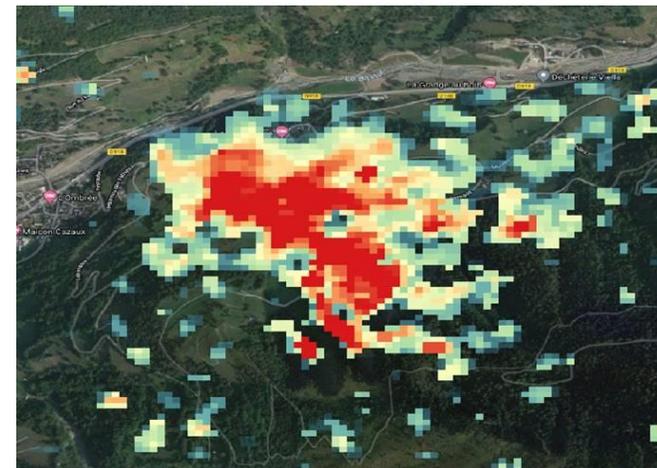


## INSAR SENTINEL 1

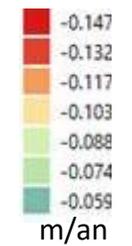
Aslan et al. 2020 (STAMPS)



Exemple à l'échelle « locale » Pyrénées, en utilisant **Sentinel 1**



(stack interférogrammes)

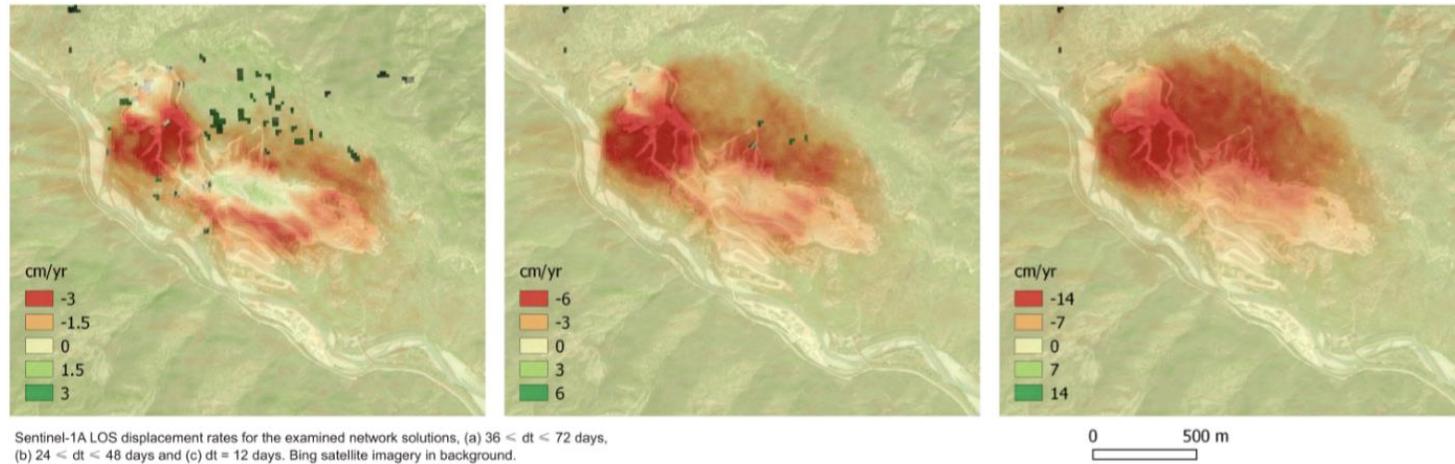
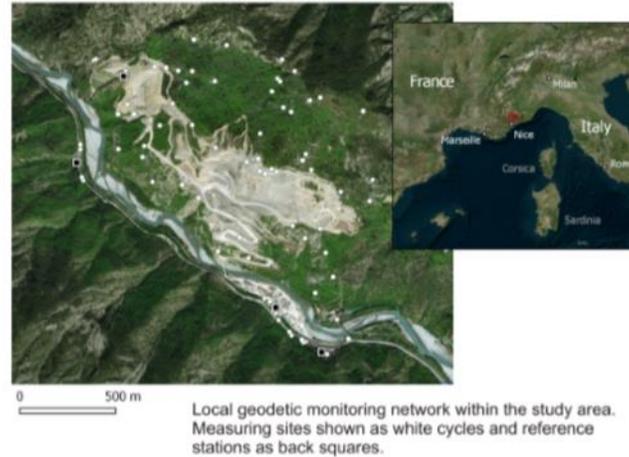




## INSAR SENTINEL 1

Glissement « rapide » : intérêt de la revisite à 6 jours

Foumelis et al. (en préparation)



	DInSAR pairs	Range of Perpendicular Baselines (m)	Average Perpendicular Baselines (m)	Temporal Separation (days)	Max LOS Velocity (mm/yr)	Uncertainty (mm/yr)
<i>Solution 1</i>	387	$0 \leq B_p \leq 224$	59	$36 \leq dt \leq 72$	-41.4	$\pm 6$
<i>Solution 2</i>	292	$0 \leq B_p \leq 224$	70	$24 \leq dt \leq 48^*$	-83.6	$\pm 9$
<i>Solution 3</i>	97	$0 \leq B_p \leq 160$	54	12 days*	-166.1	$\pm 38.9$

# GMS (Ground Motion Service)



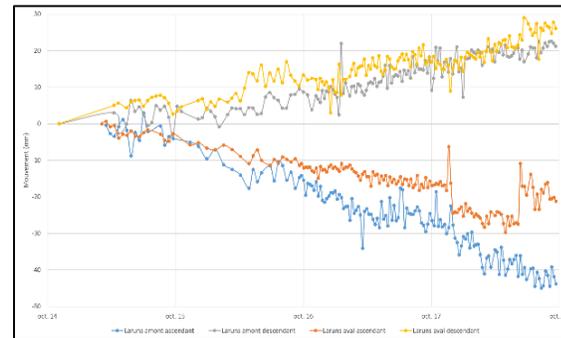
initiative being developed with the support/funding of EC, ESA and Copernicus to monitor ground surface deformation at the continental scale based on Sentinel-1 Synthetic Aperture Radar interferometry. In the perspective of the future French contribution to GMS, Tre Altamira (with the support of CNES) developed a prototype of the service based on the SqueeSAR® technique covering all the French territory for the period 2015-2018.



*Interferometric points in ascending orbit in the municipality of Laruns (Pyrenees)*



*Interferometric points in descending orbit in the municipality of Laruns*



*Time series of interferometric points in the commune of Laruns*

-> la densité de points peut être critique



## INTERFÉROMÉTRIE DIFFÉRENTIELLE

Phénomène: **RGA** (Retrait Gonflement des Argiles)

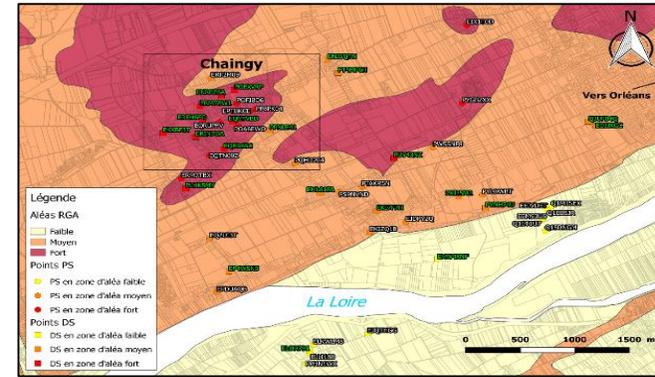
- Principal « géo-aléas » en France métropolitaine
- Très variable spatialement (→ PS/DS ou SBAS peu multi-looké)
- Cyclicité (→ traitement de séries temporelles; paramètre important: répétitivité)
  - qualité/précision de la composante annuelle (amplitude/phase) de déformation: peu abordé.



# INSAR SENTINEL 1

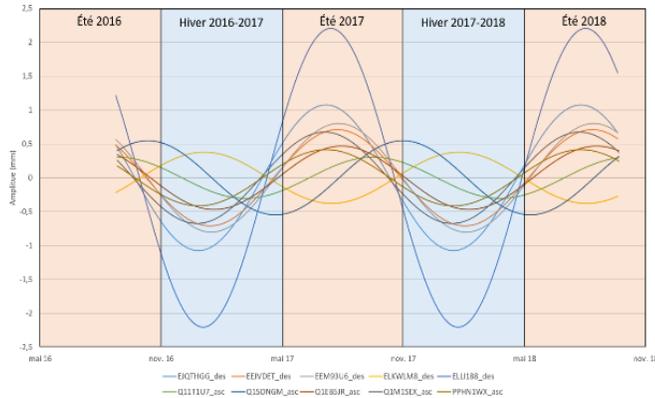
## RGAsur Chaingy (45)

Enguehard et al., 2019 (BRGM/Altamira TRE)

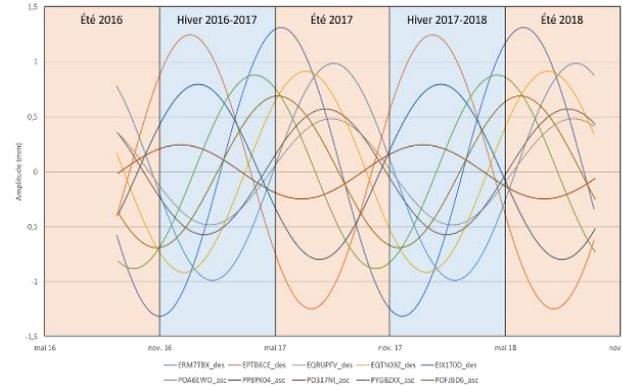


*Ext 1 and 2 extensometer location map and SqueeSAR® PS 1 and 2 vertical points in the city of Chaingy*

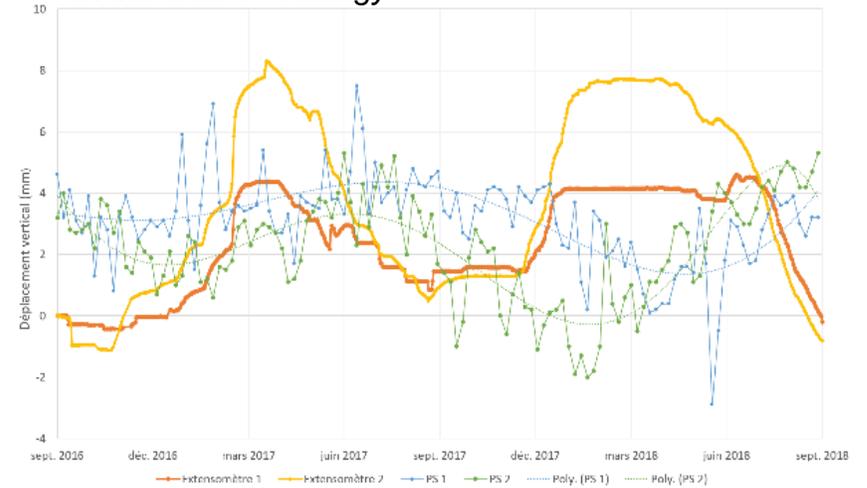
*Clay Swelling Hazard map and location of PS and DS analyzed in the area of Chaingy*



*Annual cyclical movements for 10 PS in low Shrink-Swelling hazard area*

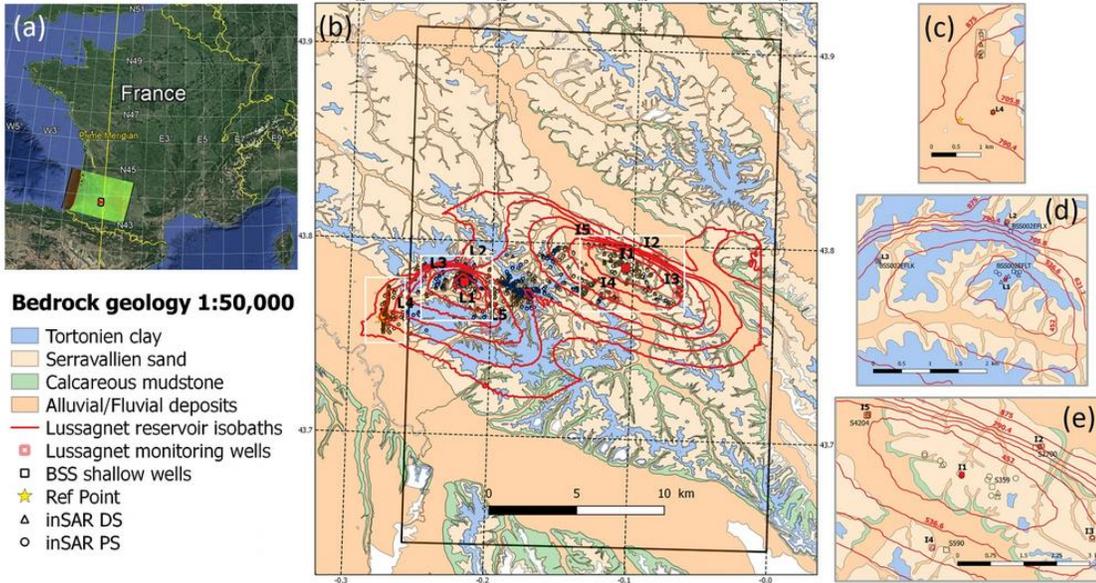


*Annual cyclical movements for 10 PS in strong Shrink-Swelling hazard area*

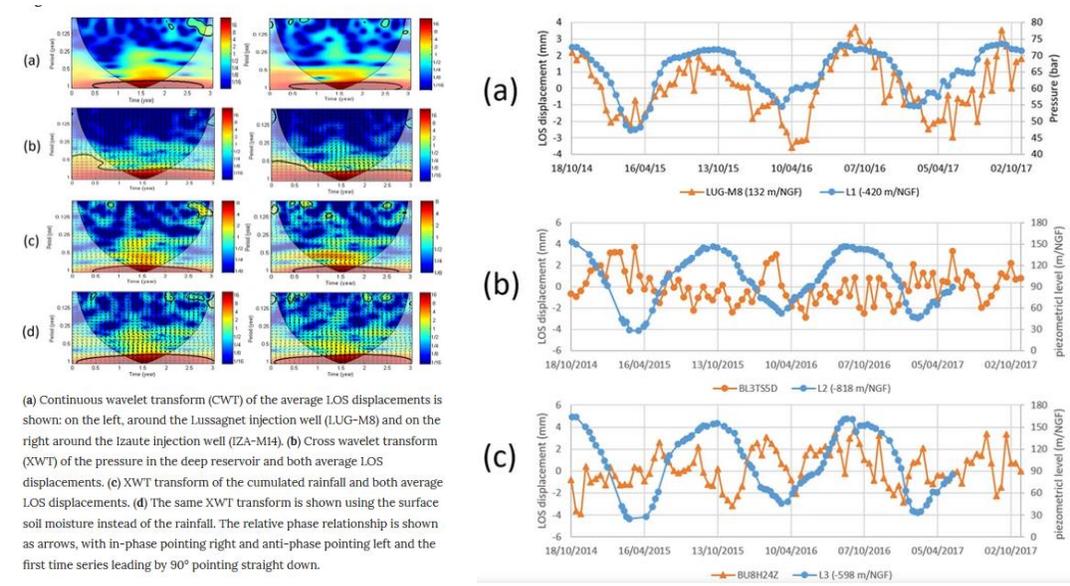


*Comparison between extensometers and vertical displacement data of SqueeSAR® points at Chaingy from September 2016 to August 2018*

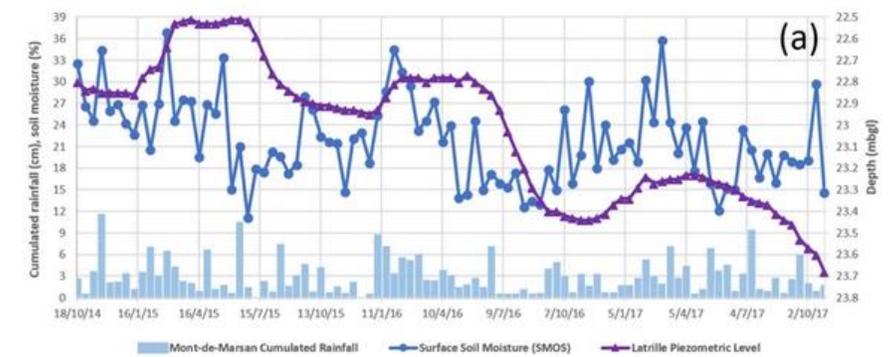
# INSAR SENTINEL 1



Burnol et al., 2019 (données PS/DS TRE Altamira )



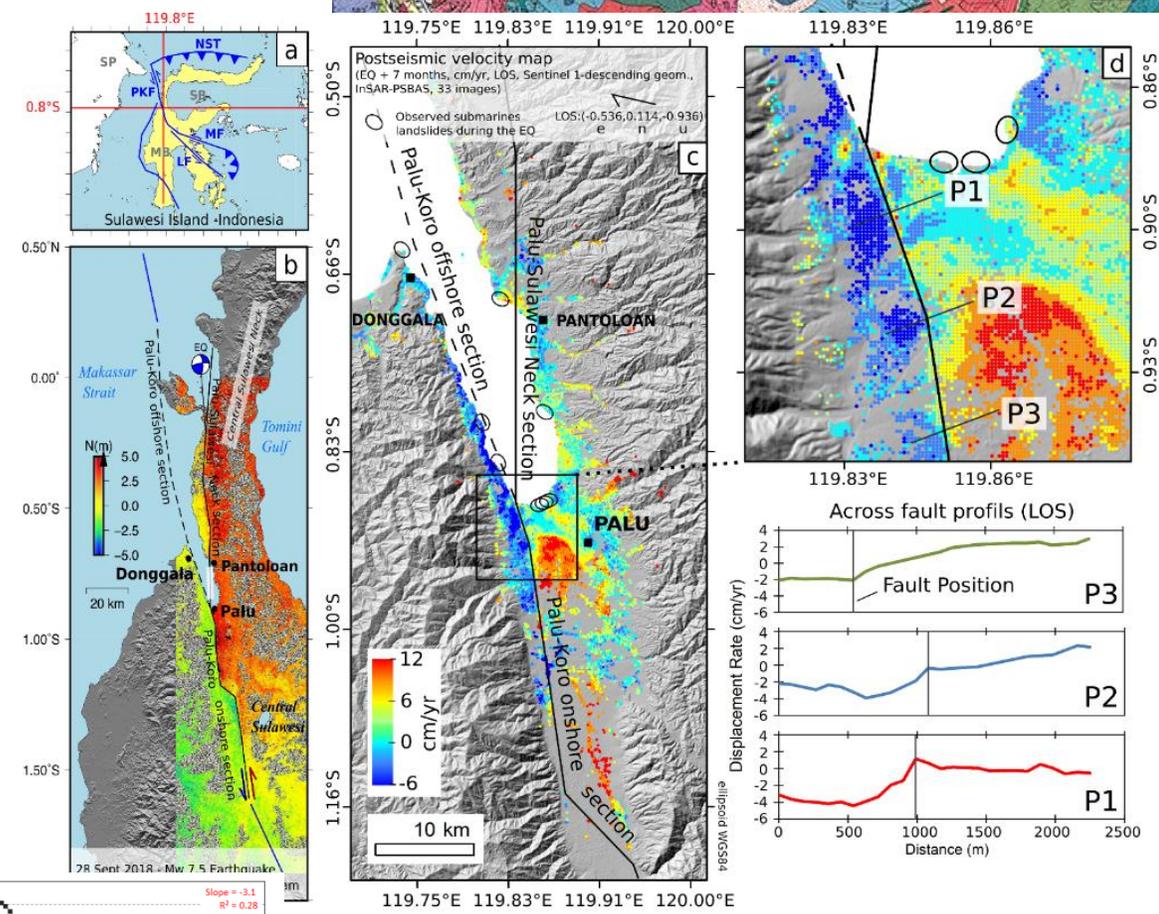
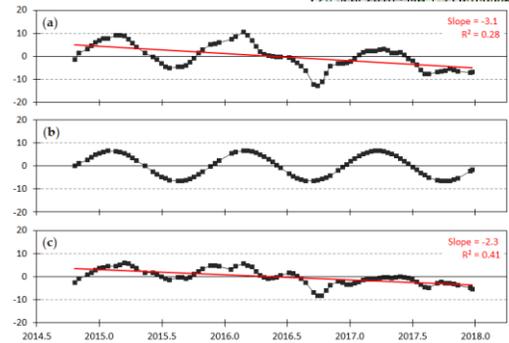
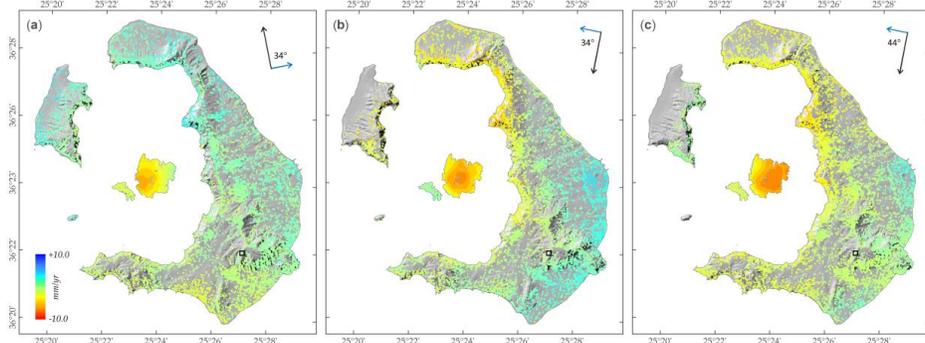
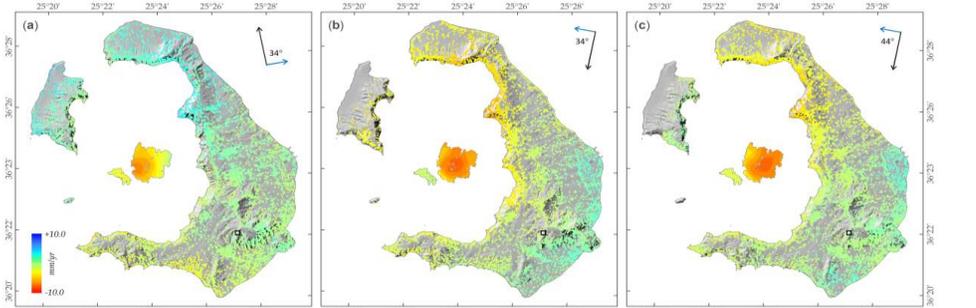
(a) Continuous wavelet transform (CWT) of the average LOS displacements is shown: on the left, around the Lussagnet injection well (LUG-M8) and on the right around the Izaute injection well (IZA-M14). (b) Cross wavelet transform (XWT) of the pressure in the deep reservoir and both average LOS displacements. (c) XWT transform of the cumulated rainfall and both average LOS displacements. (d) The same XWT transform is shown using the surface soil moisture instead of the rainfall. The relative phase relationship is shown as arrows, with in-phase pointing right and anti-phase pointing left and the first time series leading by 90° pointing straight down.



# INTERFÉROMÉTRIE DIFFÉRENTIELLE : EXEMPLES

En plus des missions orientées vers l'expertise, **La Recherche** :

- **Séismes** : e. g. Soulawesi, Mw 7,5, 28 septembre 2018.
- Bacques et al., 2020.
- **Volcans** : Santorin. Papageorgiou et al., 2019.



Influence du mouvement saisonnier sur l'estimation de la vitesse moyenne



Dans le cadre des missions d'APP et Recherche du BRGM les techniques interférométriques sont utilisées sur le territoire métropolitain pour la compréhension de risques naturels et anthropiques se traduisant par de la déformation du sol.

naturels:

- RGA
- Glissements de terrains
- Dissolution sel / gonflement anhydrites
- Vulnérabilité risque submersion côtière

anthropiques:

- après-mine
  - subsidence urbaine (travaux, pompages)
- 
- Forte variabilité des caractéristiques des phénomènes (vitesses, extensions)
  - Capacité (en partie liée à la densité de points de mesures) à caractériser la géométrie de la déformation est souvent plus importante que la précision sur la mesure elle-même.
  - Capacité à séparer mouvements de différentes natures ?