

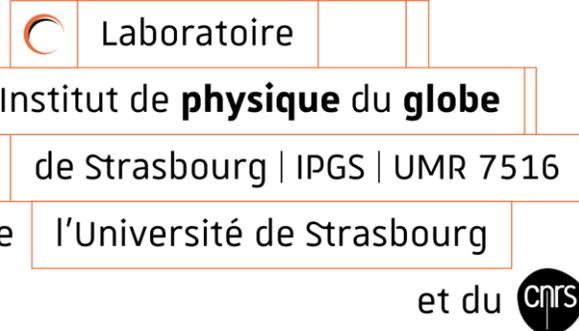
École doctorale



Sciences de la terre

et de l'environnement | ED 413

Université de Strasbourg



Apport de l'interférométrie radar (InSAR) au suivi d'anciens bassins miniers : cas du bassin potassique alsacien et du bassin houiller lorrain

Guillaume Modeste (GEODERIS)



UNION EUROPÉENNE

Fonds Européen de Développement Régional

Présentation personnelle

- 2013 – 2016 : EOST, école d'ingénieur en géophysique
- Novembre 2016 – juin 2020 : Thèse à l'IPGS « *Estimation et évolution des vides miniers aux Mines Domaniales de Potasse d'Alsace par mesures géodésiques et modélisation géomécanique* » avec Frédéric Masson, Cécile Doubre et François Cornet
- Octobre 2020 – mai 2022 : Post-doctorat au laboratoire de GéoRessources sur « *le potentiel impact environnemental d'une exploitation de gaz de charbon dans le bassin houiller lorrain* » avec Yann Gunzburger et Marianne Conin
- Depuis mai 2022 : Responsable d'opération à GEODERIS, expert de l'après-mine en France



École et observatoire

des **sciences de la Terre**

Université de Strasbourg

Laboratoire

Institut de **physique** du **globe**

de Strasbourg | IPGS | UMR 7516

de l'Université de Strasbourg

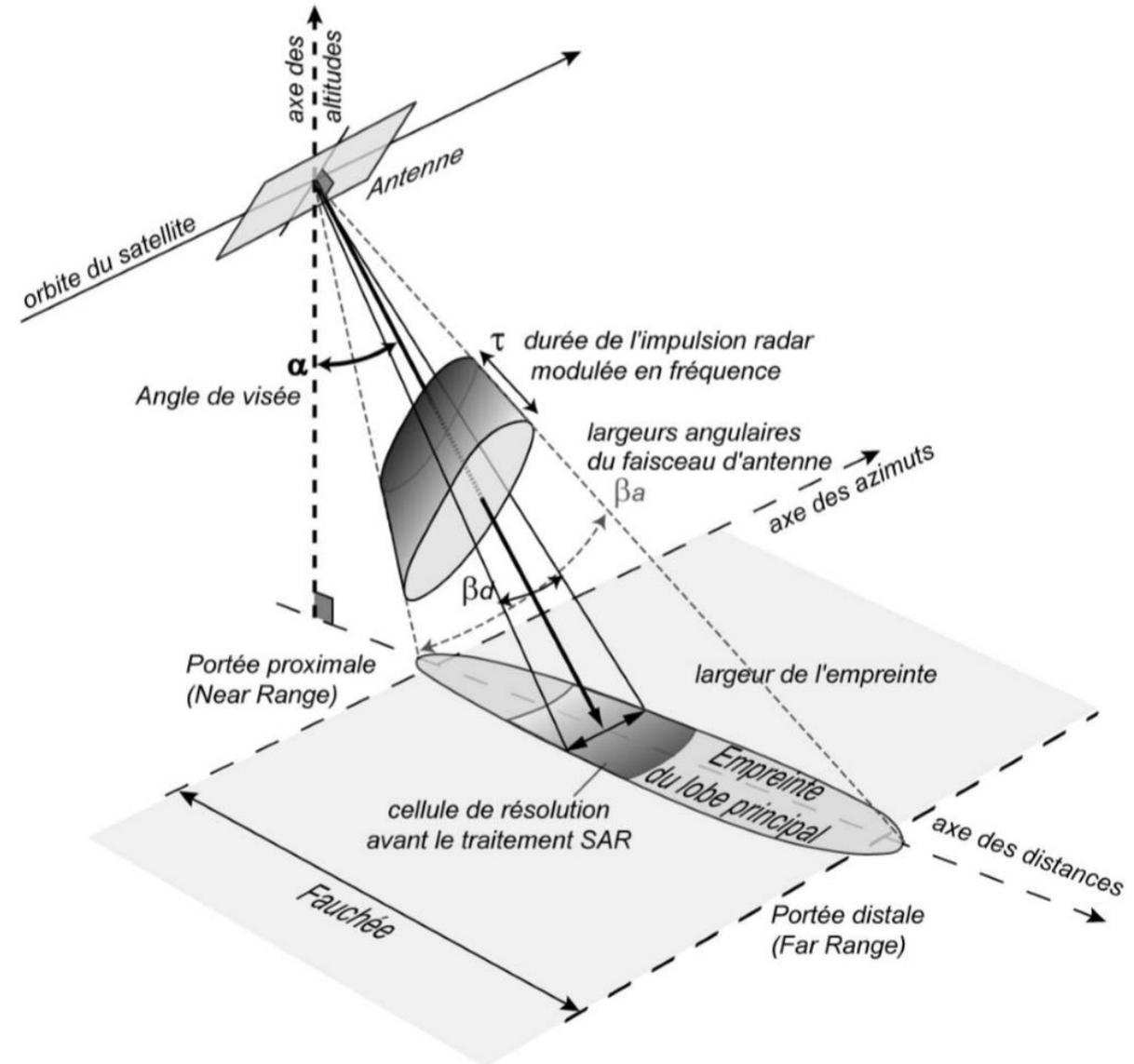
et du

Geo
Ressources

GEODERIS
L'expert public pour les risques liés à l'après-mine

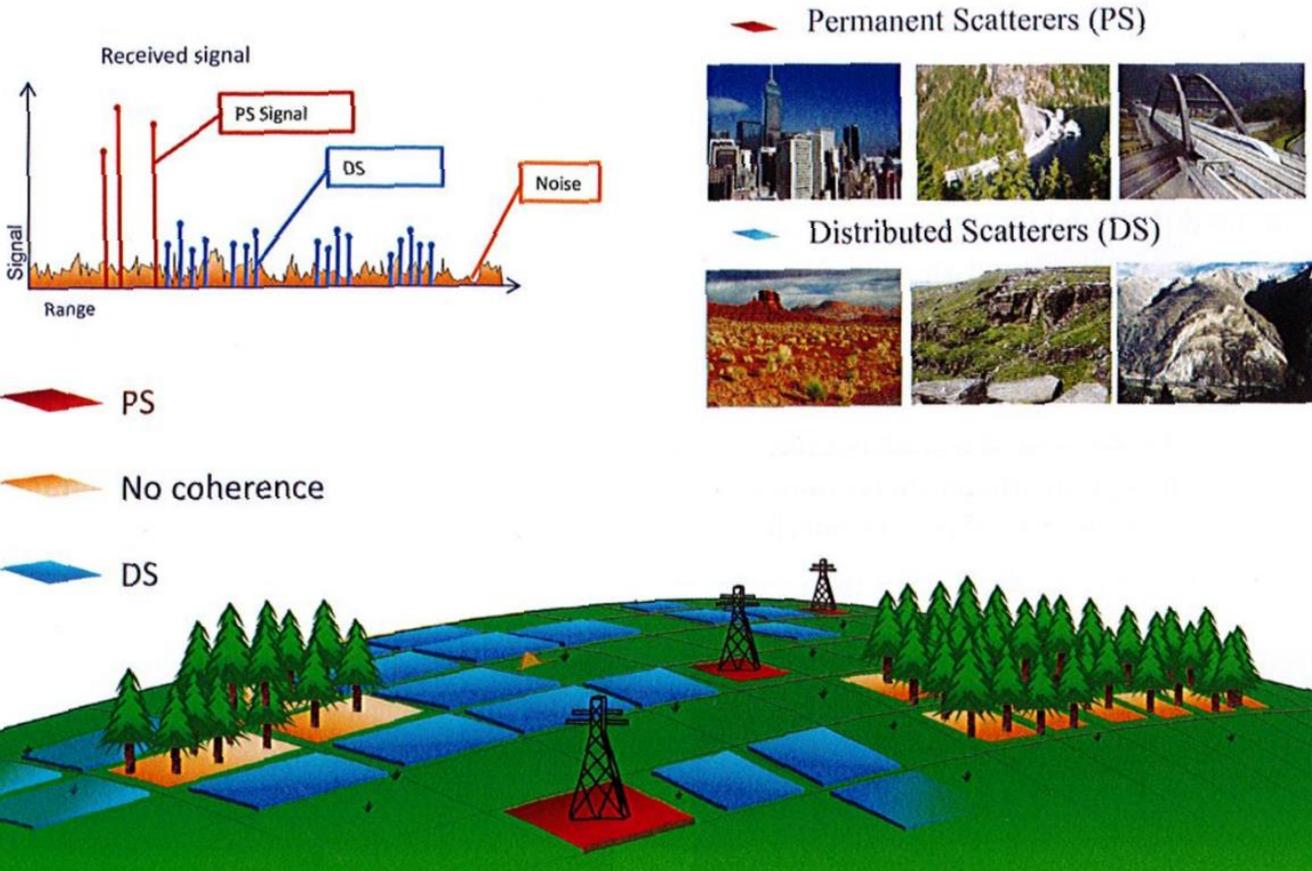
Qu'est-ce que l'InSAR

- Image satellitaire acquise par émission de signaux électromagnétiques
- Création d'un interférogramme
- Obtention du déplacement entre les deux dates d'acquisition
- Déplacement dans la ligne de visée du satellite (LOS)
- Plusieurs interférogrammes : reconstitution de séries temporelles



Pathier (2003)

Les Réflecteurs Persistants / « Persistent Scatterer »

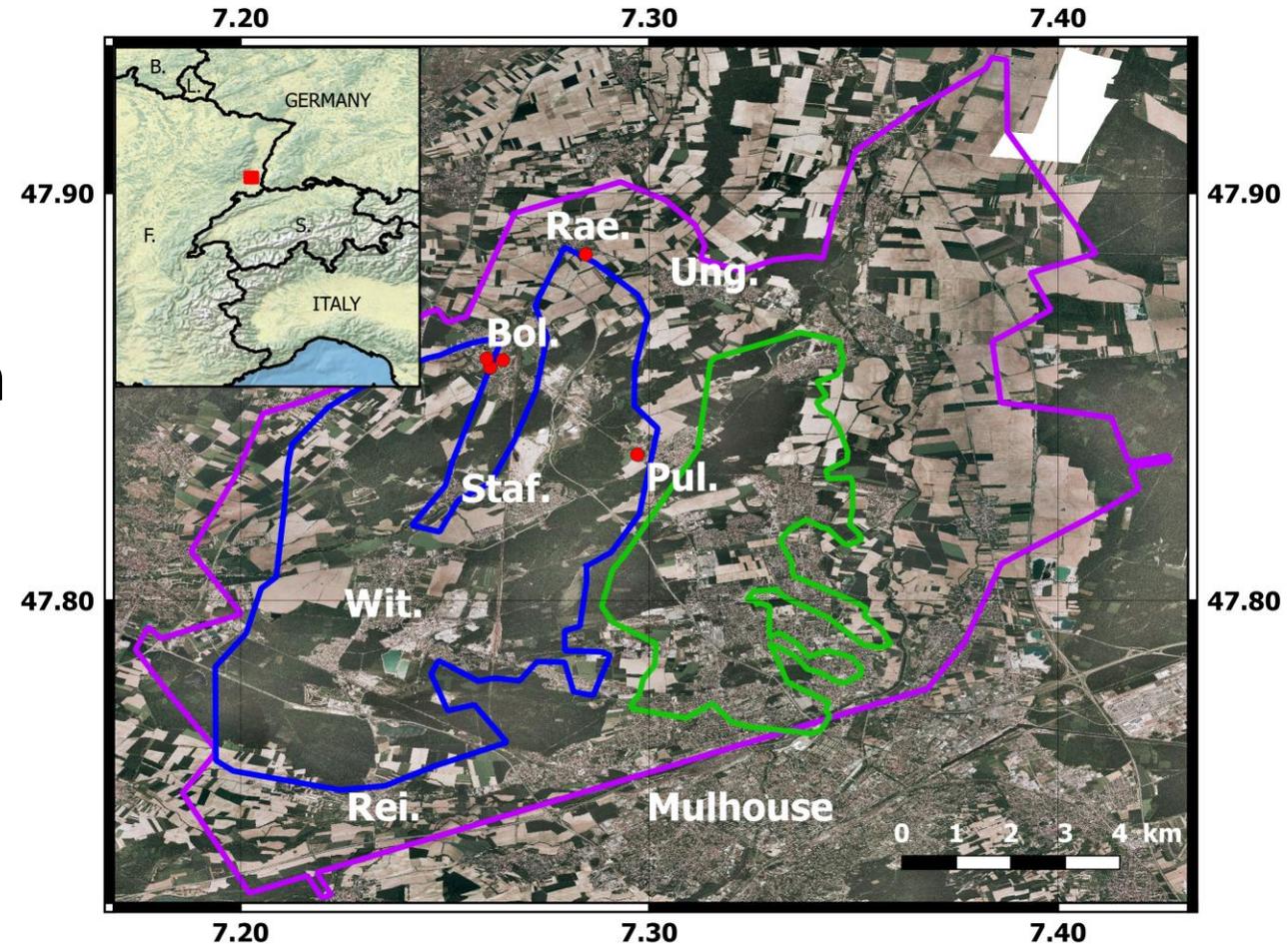


Ferretti (2014)

- Champs et forêts =
décorrélations
 - Infrastructures humaines =
cohérence
- *Persistent Scatterer* (Hooper et al., 2012)
- Diminution des lignes de base =
diminution des décorrélations
- *Small Baseline* (Berardino et al., 2002)

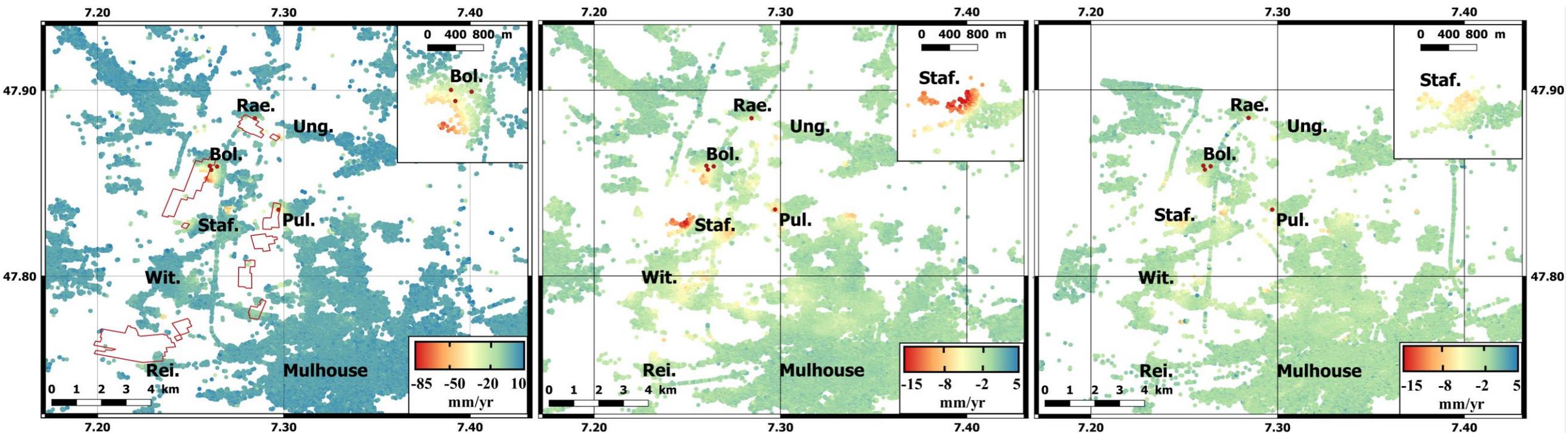
Le bassin potassique alsacien

- Exploitation de la potasse de 1910 à 2002 en 2 sites distincts
 - Concessions > 200 km²
 - 2 couches extraites séparées de 25 m
 - Profondeurs : entre 400 m (Sud) et 1100 m (Nord)
 - Épaisseurs : 1-2 m et 2-5.5 m
 - Long terme : problème d'ennoyage
- Estimation des vides miniers nécessaire



Modeste et al. (2021)

Les cartes de vitesses moyennes LOS



ERS (1995-2000)

Amplitude max ~ 85 mm/an

ENVISAT (2004-2010)

Amplitude max ~ 15 mm/an

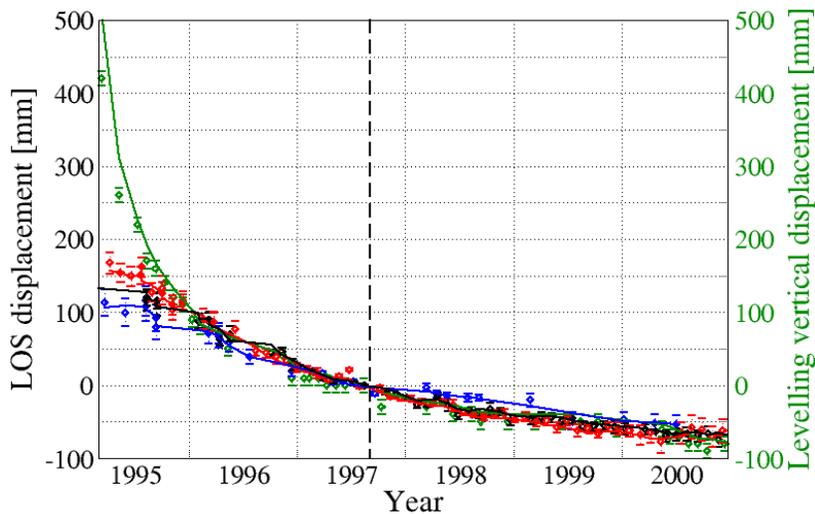
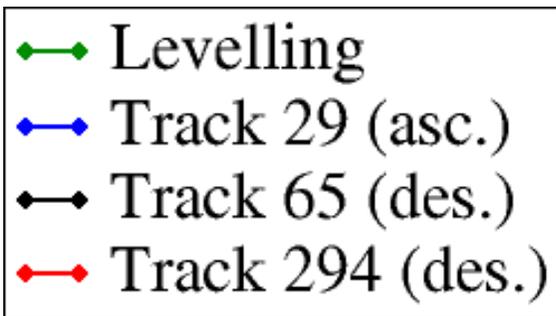
Sentinel-1 (2015-2018)

Amplitude max ~ 8 mm/an

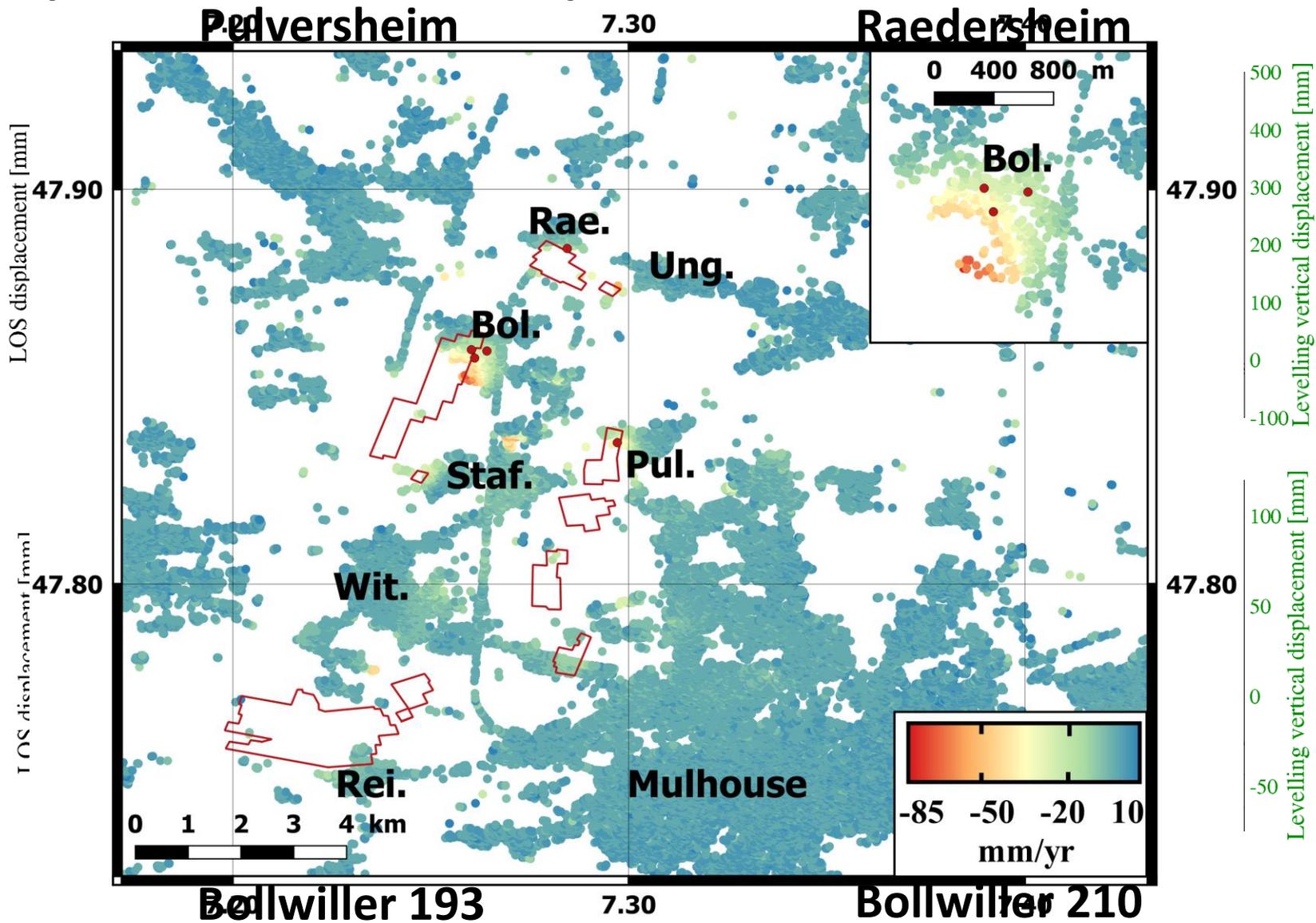
Modeste et al. (2021)

Les séries temporelles de déplacements LOS

Modeste et al. (2021)



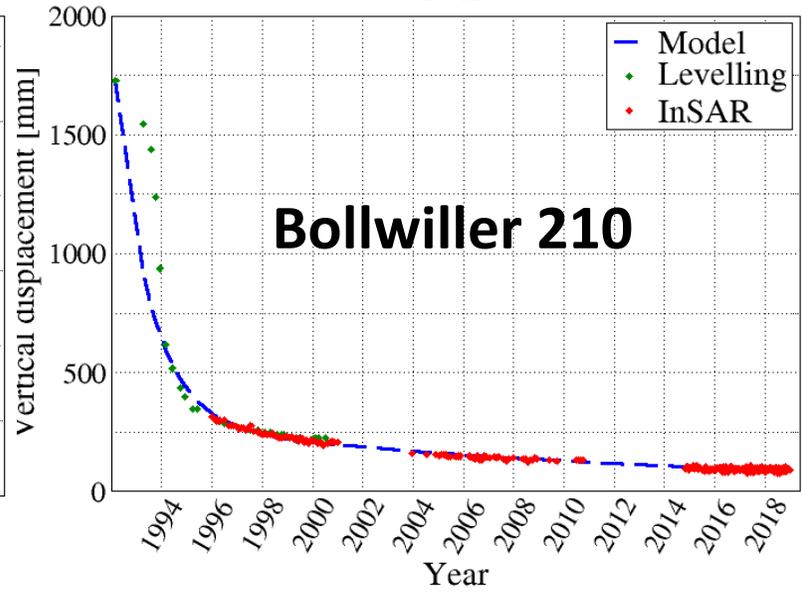
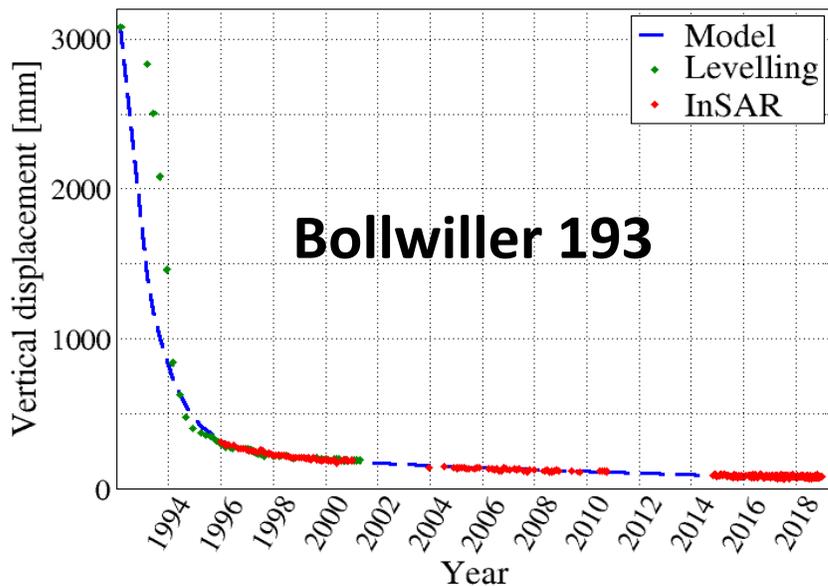
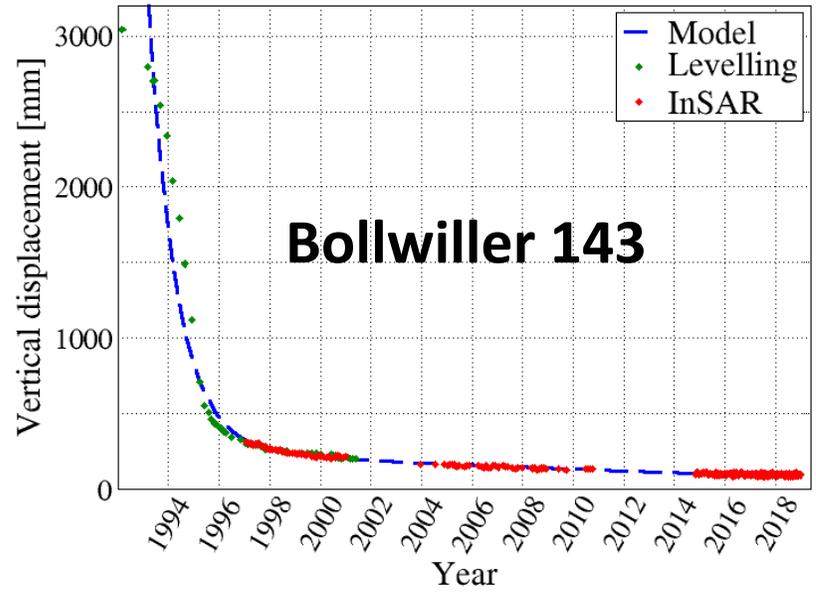
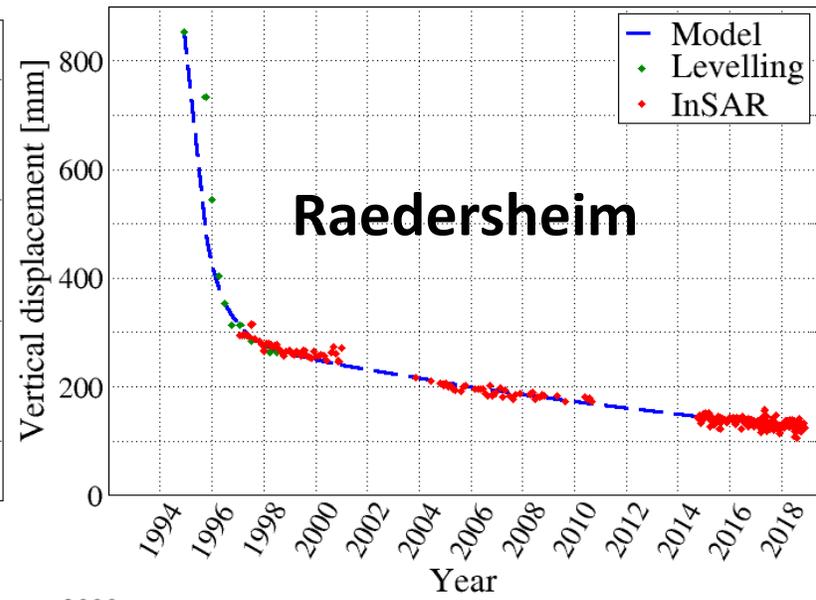
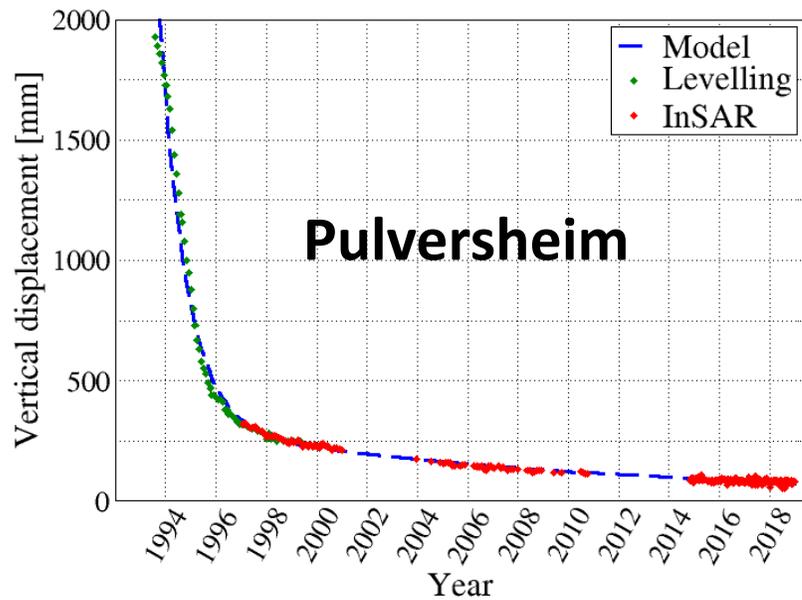
Bollwiler 143



Bollwiler 193

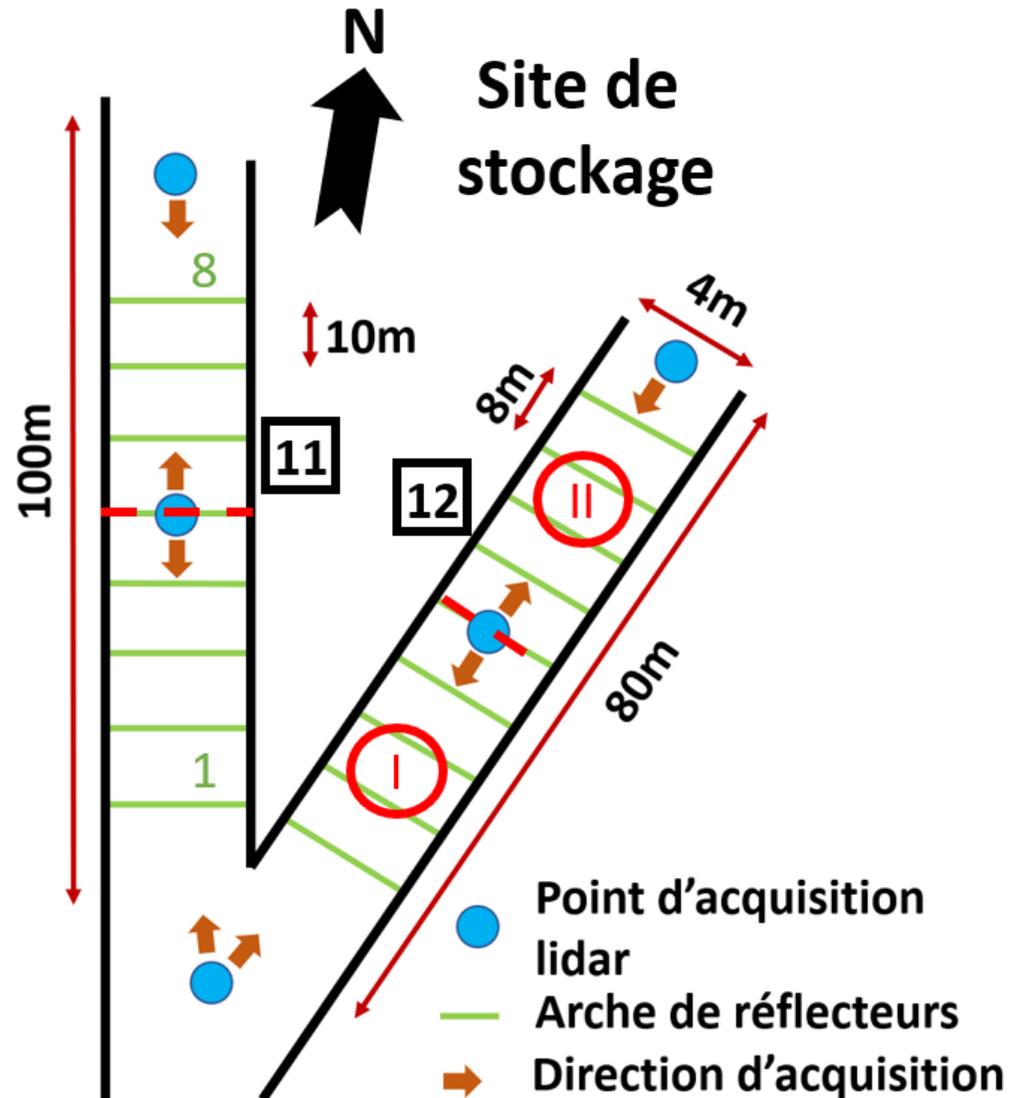
Bollwiler 210

Recalage des séries temporelles



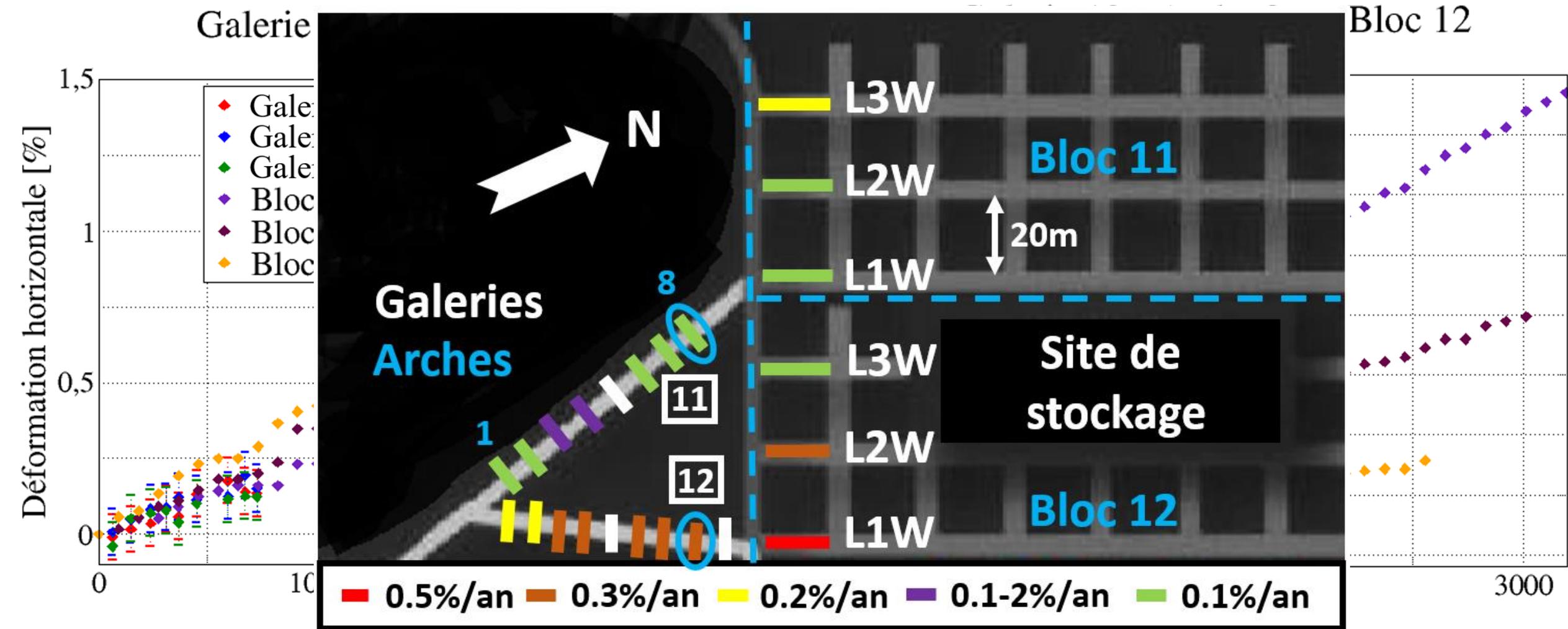
Modeste et al. (2021)

Suivi de galeries souterraines par acquisition lidar



Modeste et al. (2022)

Comparaison des suivis de déformation des galeries



Modeste et al. (2022)

Modélisation de la fermeture des galeries

- Loi de Norton :

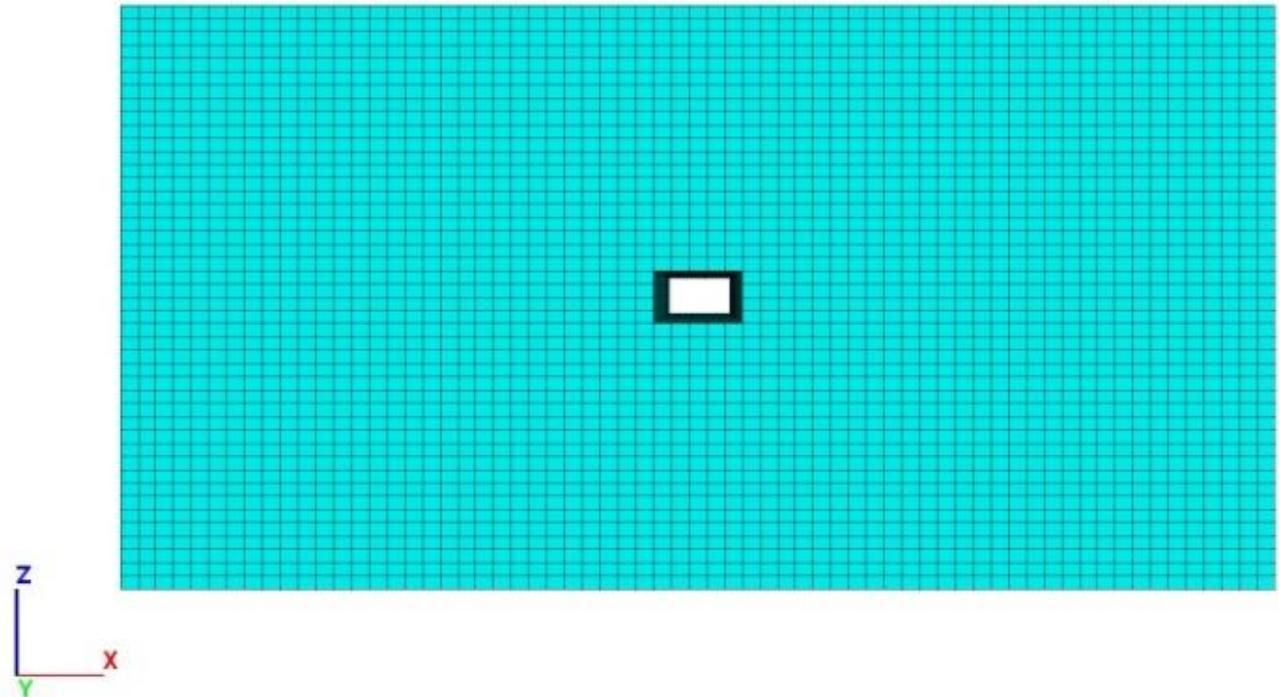
$$\dot{\epsilon}_{cr} = A \times \bar{\sigma}^n$$

avec

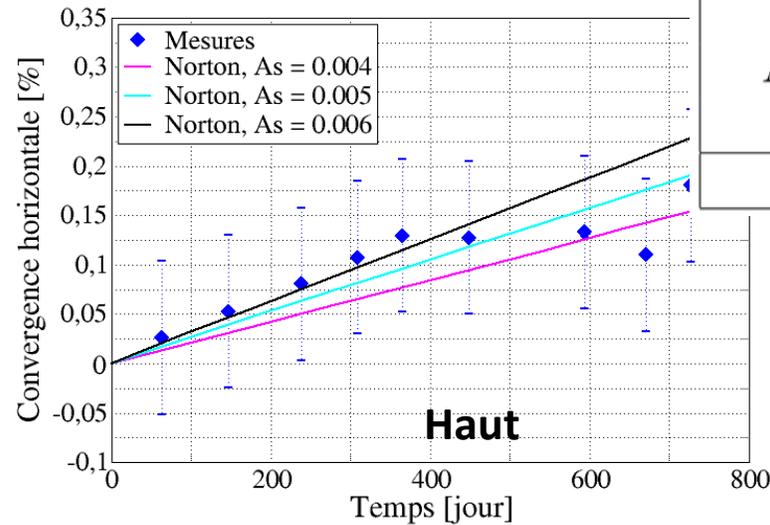
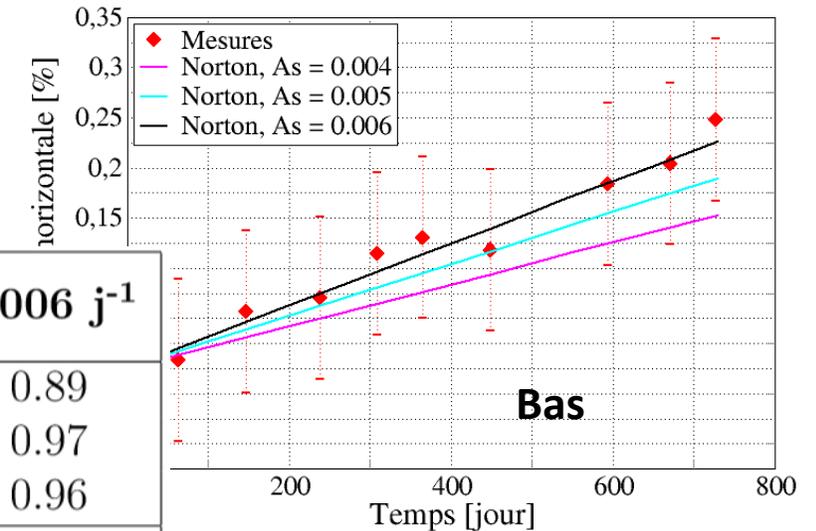
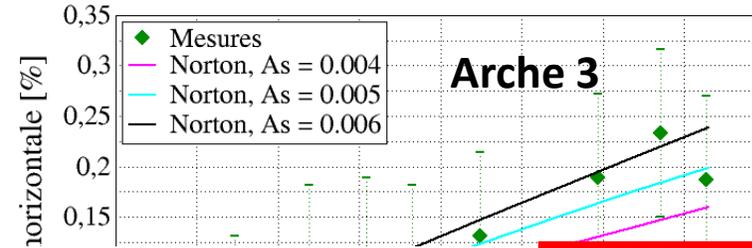
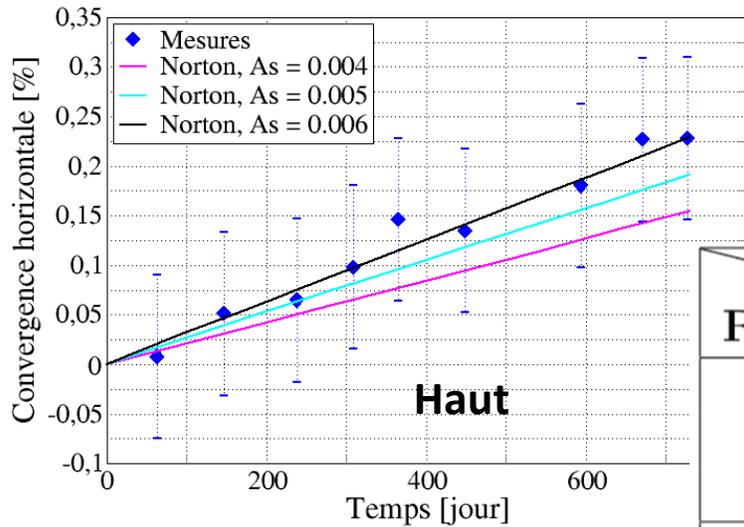
$$A = \frac{A_s \times \exp\left(-\frac{B}{T}\right)}{\sigma_0^n}$$

- Seuil de fluage = 0 MPa (*Carter et al., 1982*)
- Plusieurs valeurs de A_s : 0.005 %/jour (expérimental), 0.022 (INERIS) et 0.015 (Itasca)
- Initialisation des contraintes, creusement de la galerie, simulation d'une période de 20 ans puis de 2 ans
- Processus répété pour différentes valeurs de A_s

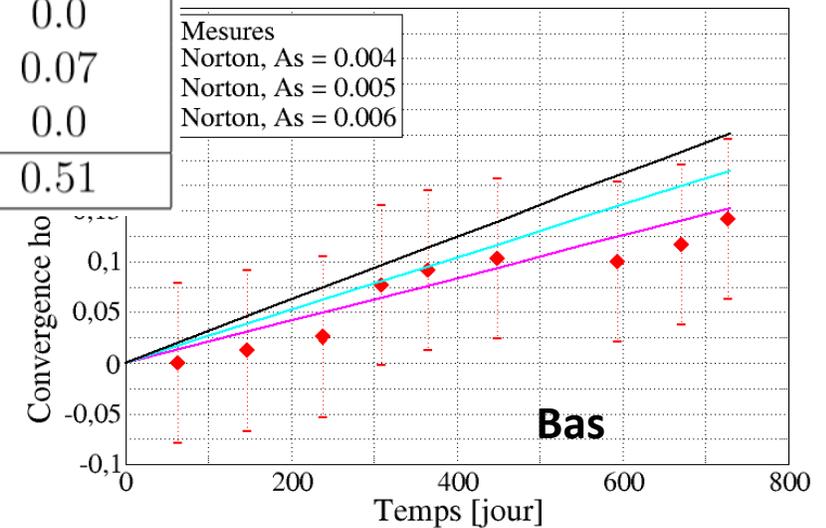
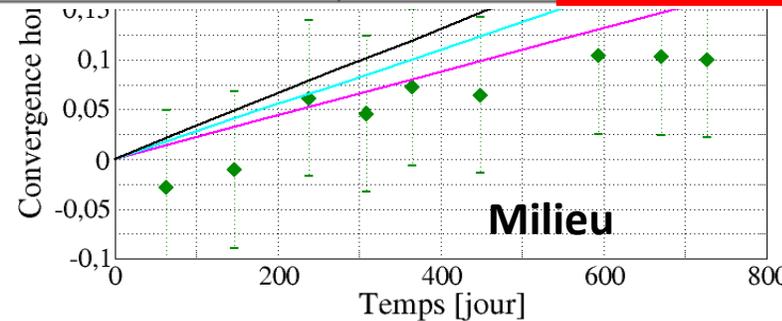
Paramètre	Abréviations	Valeur
Exposant de contraintes	n	4.0
Vitesse de références	A_s	0.005 j ⁻¹
-	B	4700 K
Température	T	308 K
Contraintes de normalisation	σ_0	1.0 MPa



Comparaison du modèle aux données

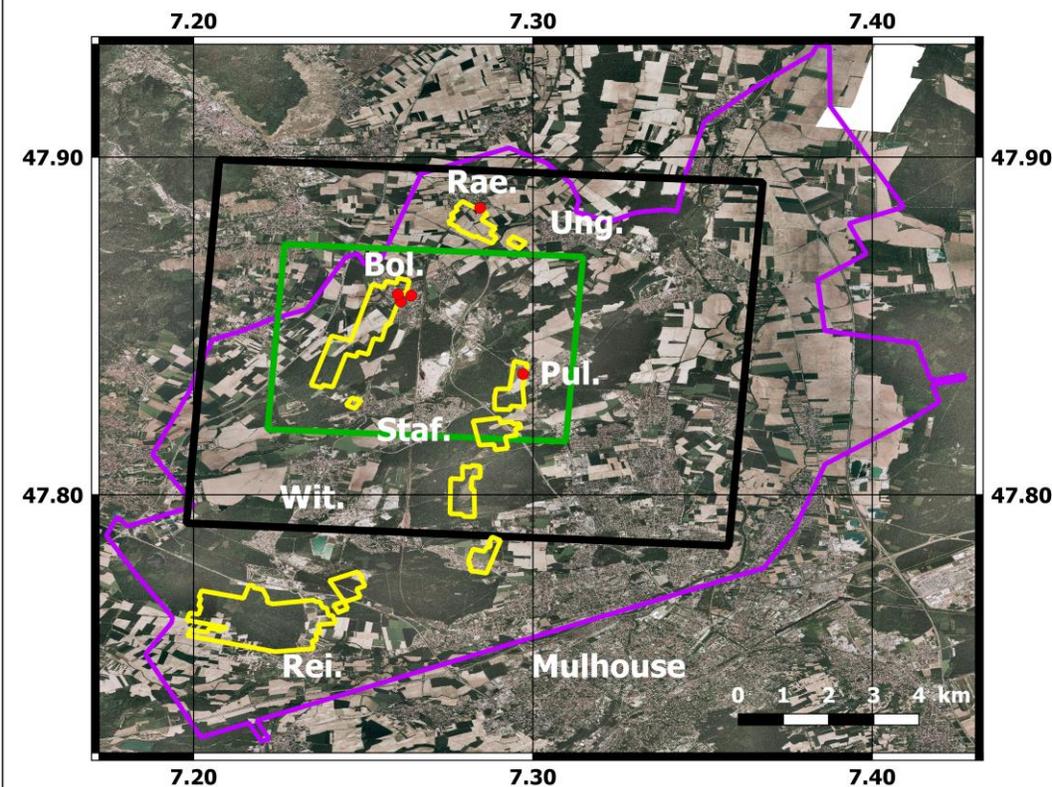
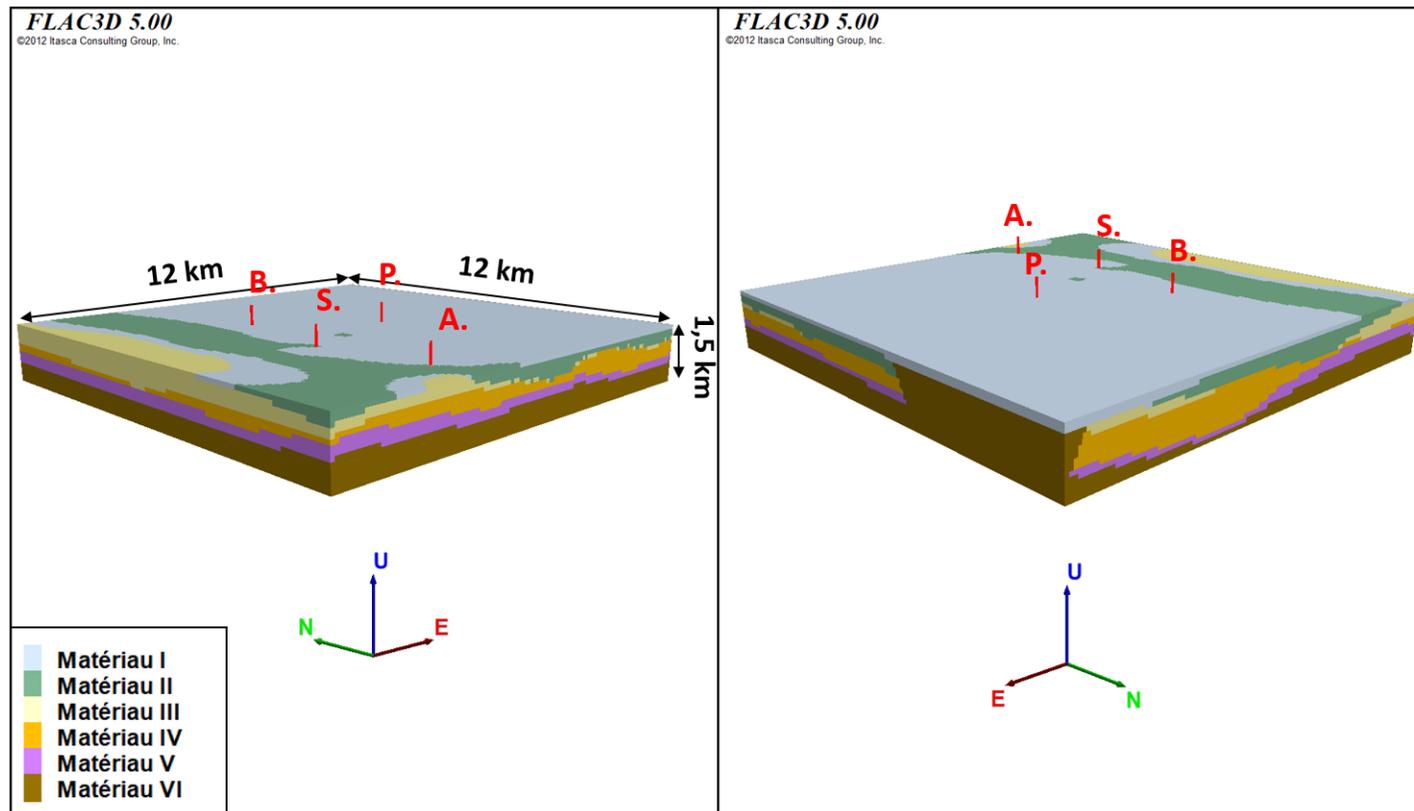


Réflecteurs	A_s	0.004 j^{-1}	0.005 j^{-1}	0.006 j^{-1}
Arche 3 - haut		0.51	0.85	0.89
Arche 3 - milieu		0.50	0.83	0.97
Arche 3 - bas		0.47	0.82	0.96
Arche 7 - haut		0.37	0.0	0.0
Arche 7 - milieu		0.48	0.56	0.07
Arche 7 - bas		0.86	0.46	0.0
Moyenne		0.54	0.62	0.51



Modeste et al. (2022)

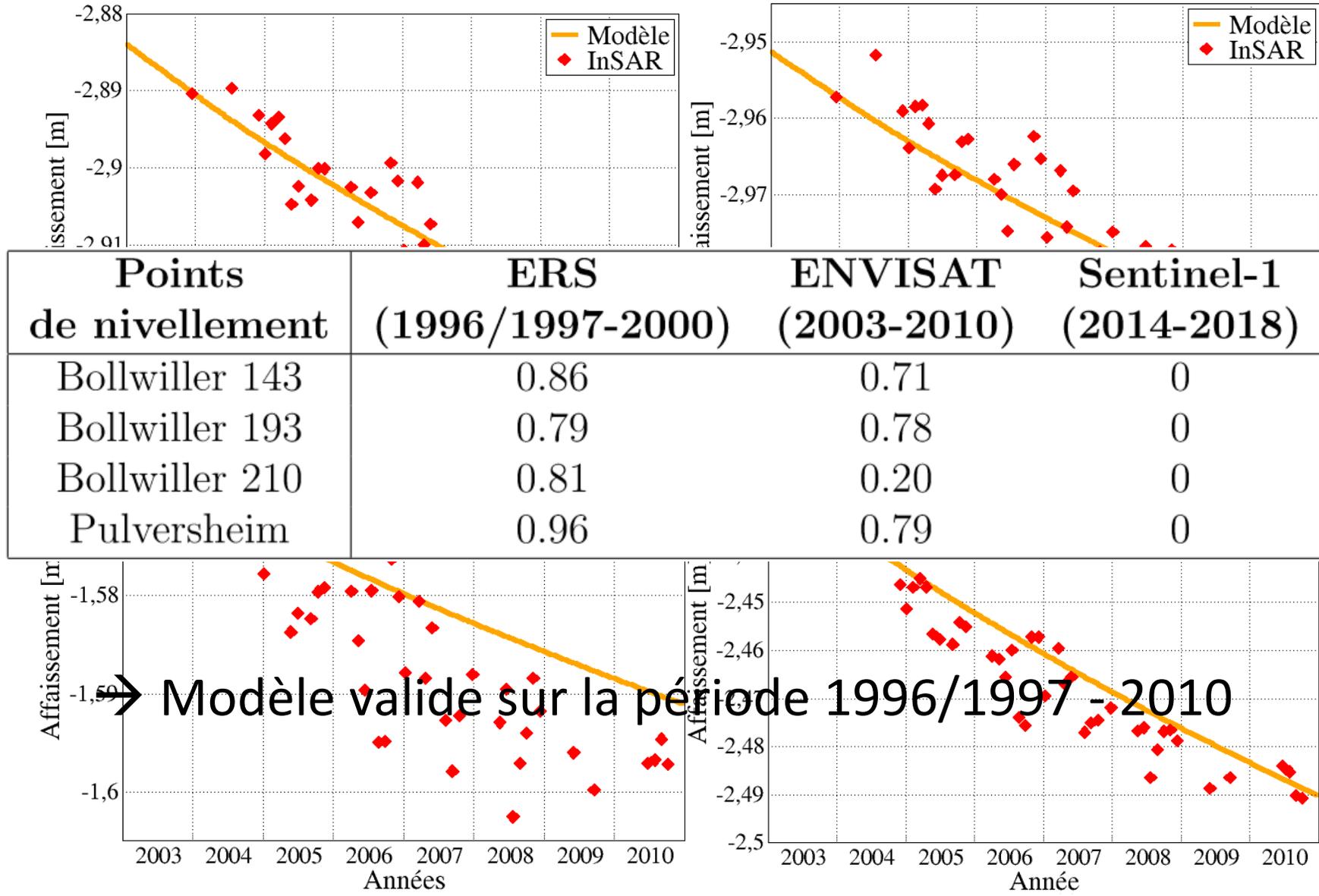
Emprise du modèle géomécanique



Modeste (2020)

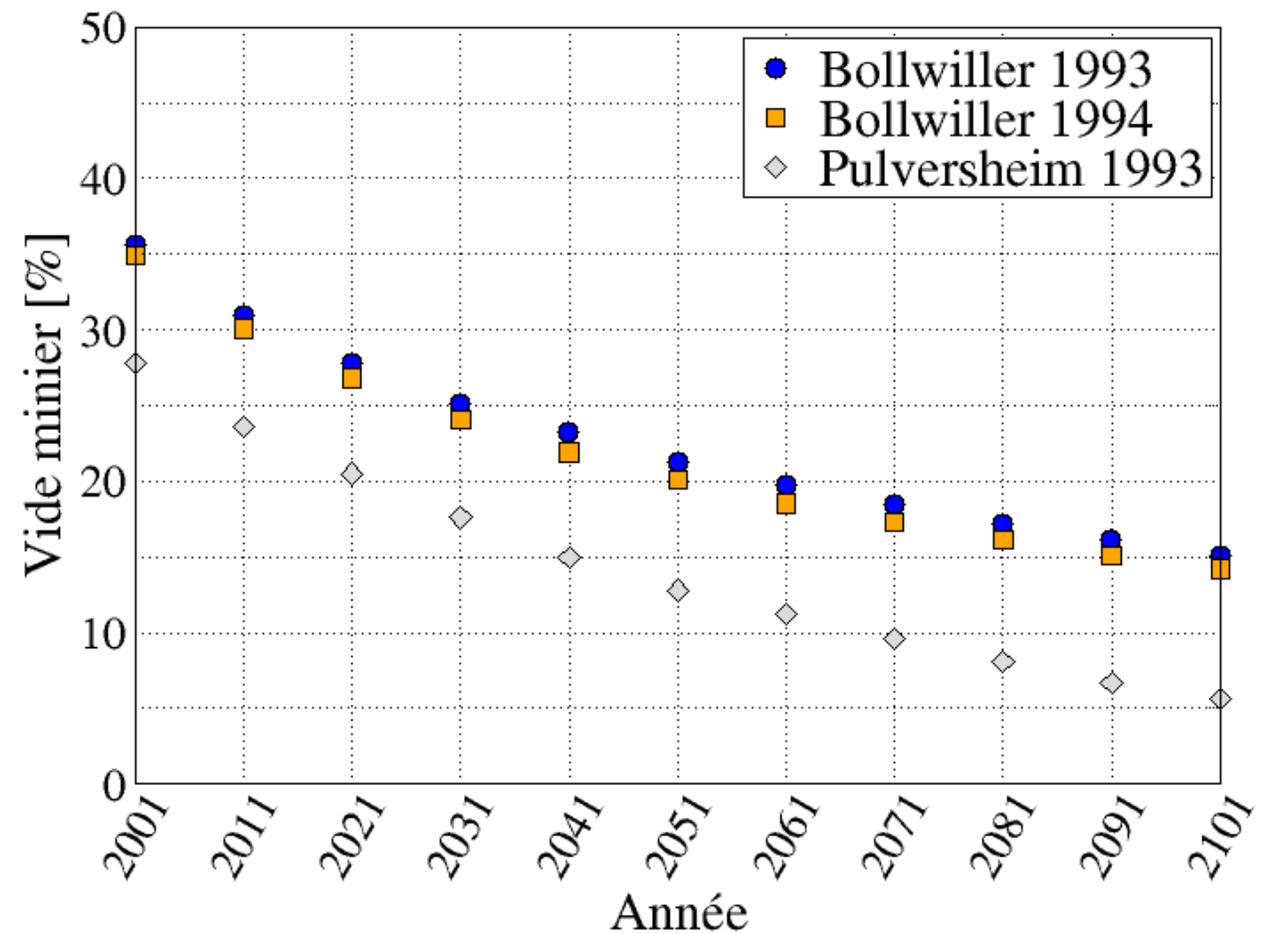
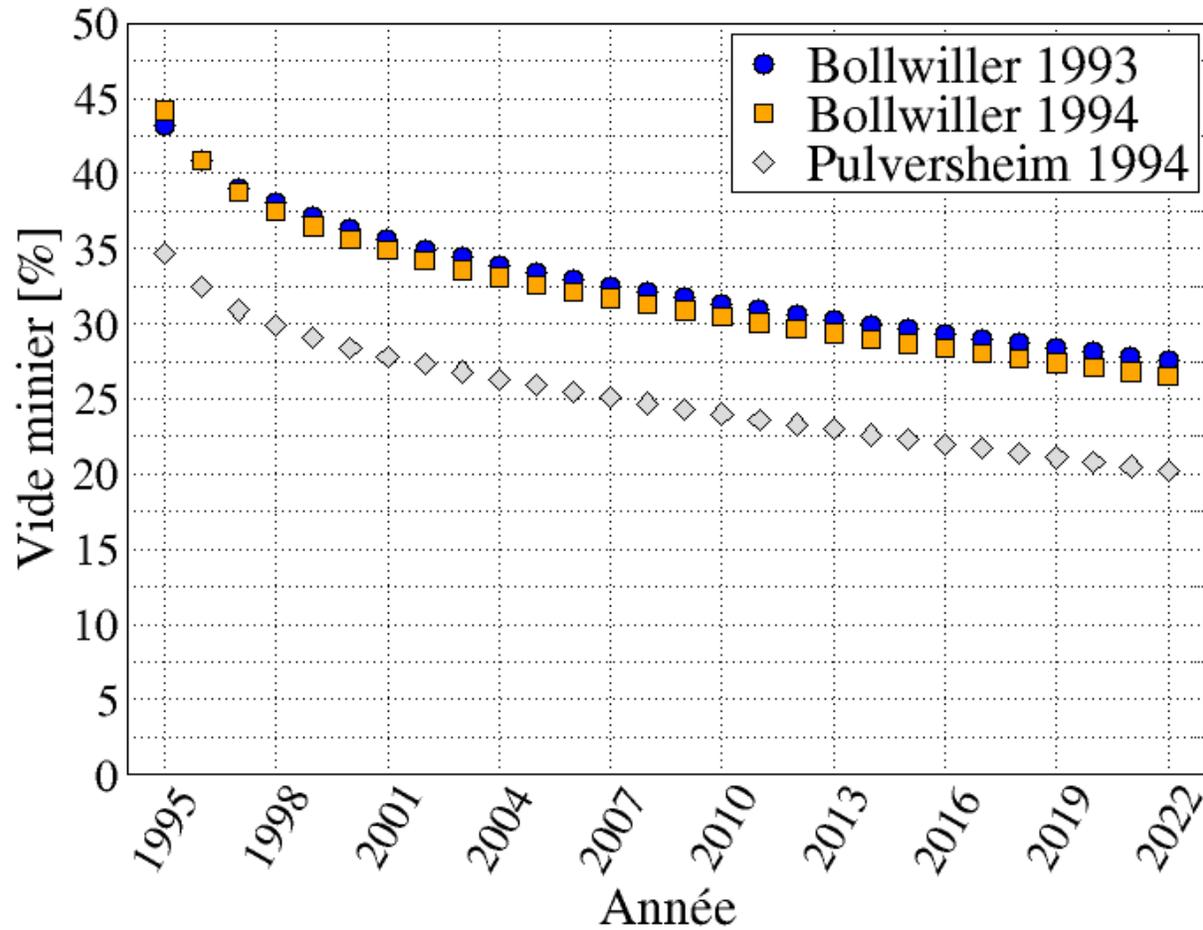
La modélisation du signal minier

- Période ERS (1996/1997 – 2000)
- Période ENVISAT (2004 – 2010)
- Déterminant R^2



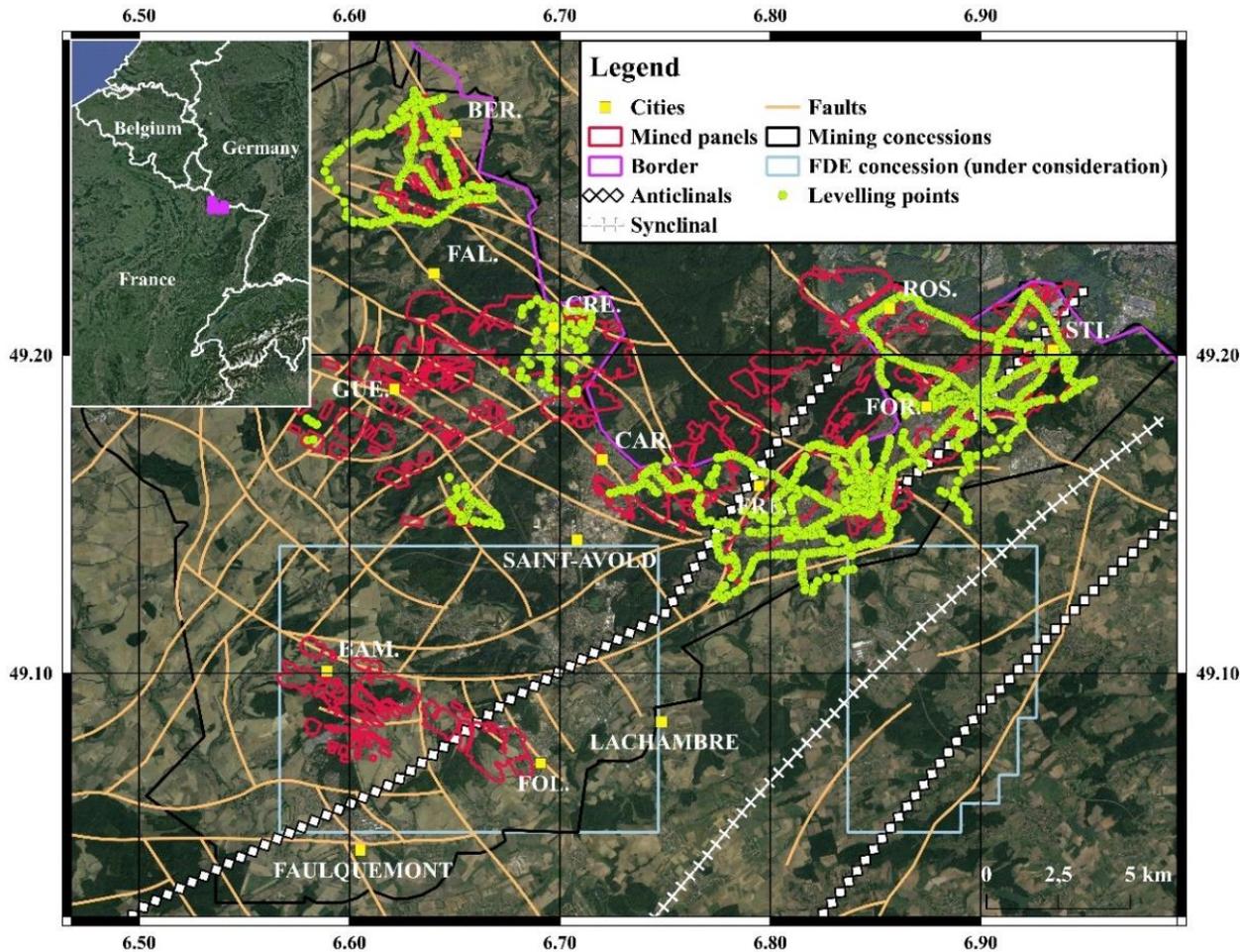
Modeste (2020)

La modélisation des vides miniers



Modeste (2020)

Le bassin houiller lorrain

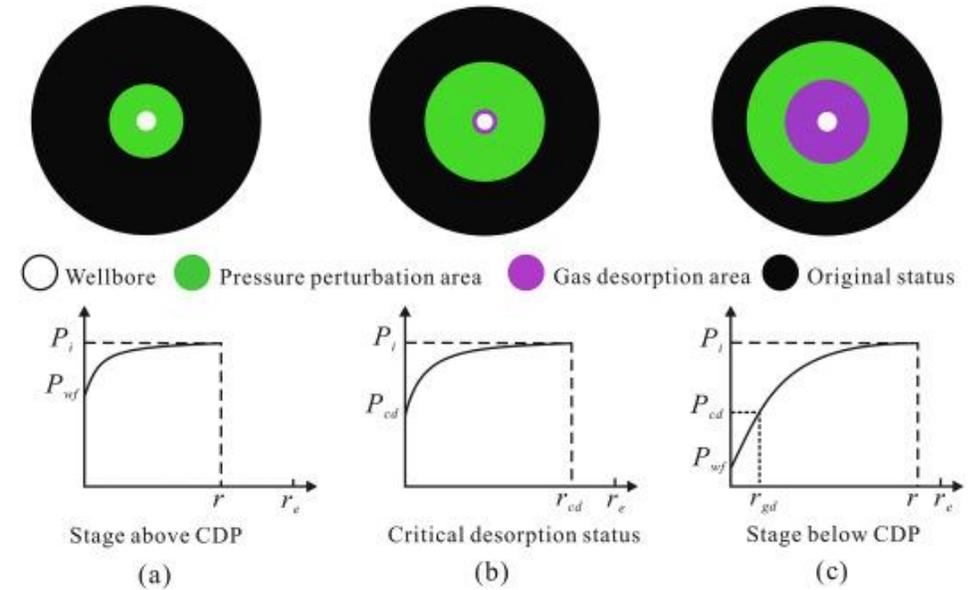


Modeste et al. (in prep.)

- Couches de charbon datées du Carbonifère, époque du Westphalien et Stephanien
- Profondeur variable, progressive de l'Est (superficielle) vers l'Ouest
- Bassin plissé et fortement faillé, conséquence de l'orogénèse hercynienne
- Exploitation minière du milieu du XIX^{ème} siècle à 2005
- Depuis fin des années 80, étude d'un projet d'exploitation de gaz de charbon

Extraction du gaz de charbon

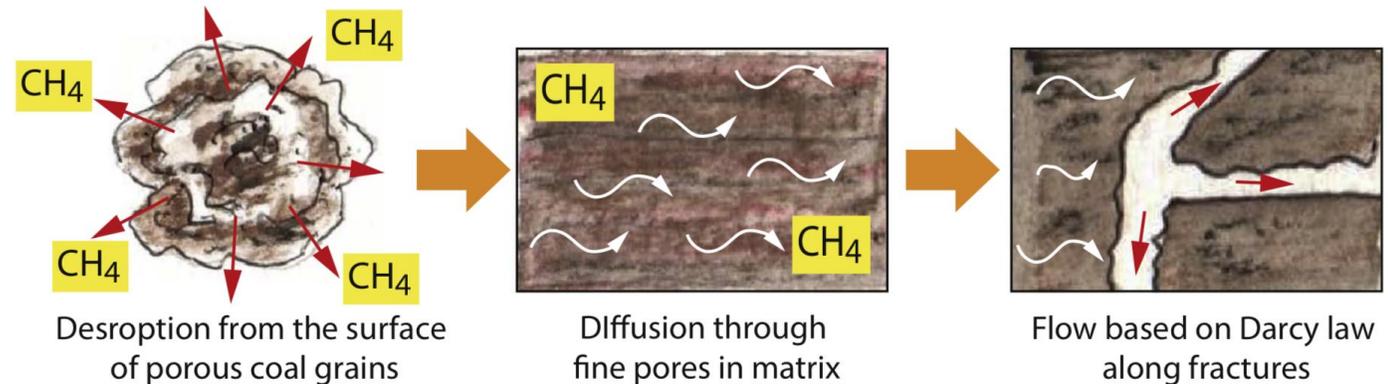
- Présent dans les couches de charbon vierges et ennoyées (couche minée = gaz de mine)
- Récupération primaire : pompage des eaux jusqu'à désorption du méthane ($P_f < P_{des}$)
- Effet de la dépressurisation : compaction du réservoir par augmentation de $\sigma_{v,eff}$
- Phase de production test dans le bassin houiller lorrain de mi-2017 à fin 2019 à Lachambre, caractéristique de la couche :
 - Profondeur : 1 km
 - Épaisseur : 10 m



Li et al. (2018)

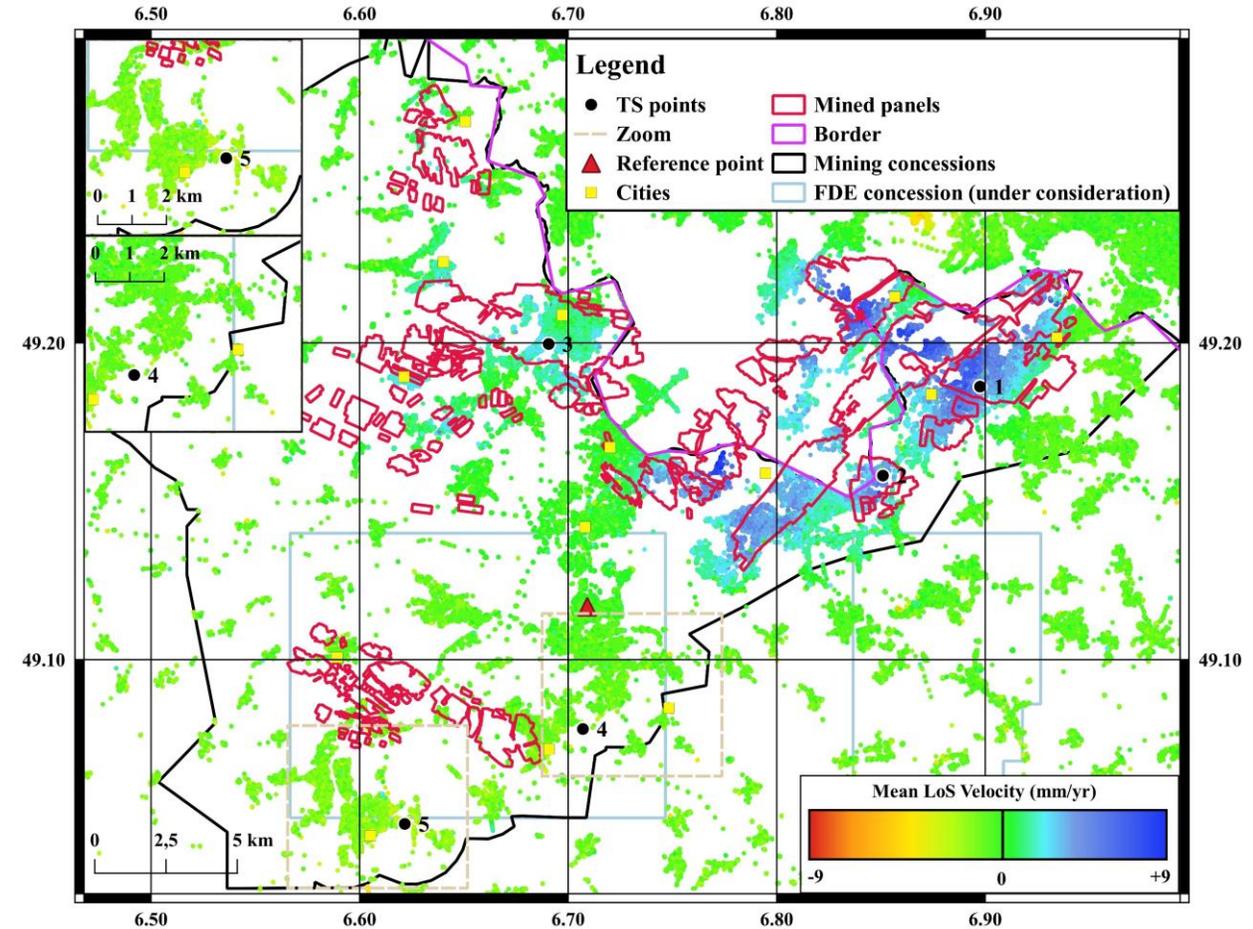
Harpalani and Schraufnagel (1990)

DESORPTION OF CH₄



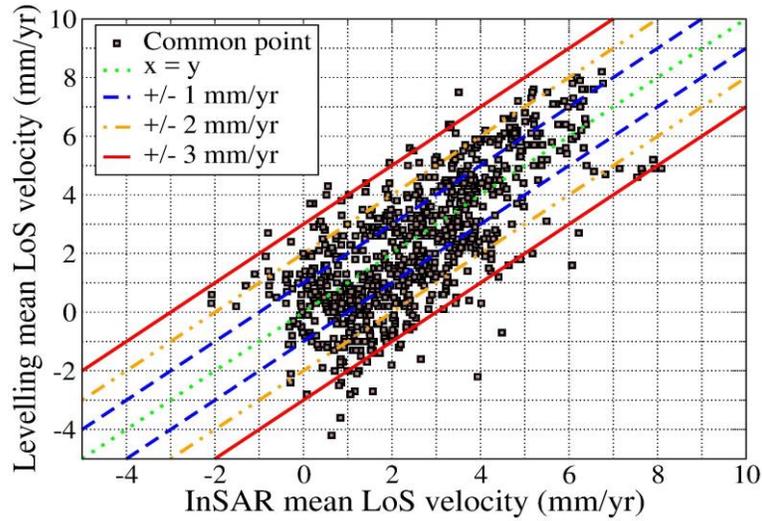
Résultats InSAR à travers le bassin houiller lorrain

- Vitesse moyenne : régression linéaire par les moindres carrés
- Essentiel des vitesses moyennes compris entre ± 1 mm/an
 - Zones stables
- Soulèvement en cours dans les secteurs Est et Centre (+ 9 mm/an), et Ouest (+ 3-4 mm/an)
 - Conséquence de l'ennoyage en cours
- Secteur Sud : stable (ennoyage terminé)
- Lachambre : stable

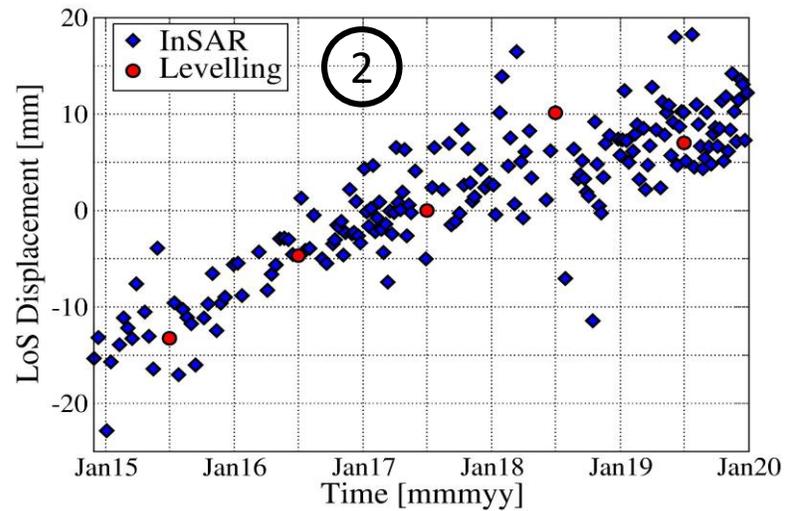


Modeste et al. (in prep.)

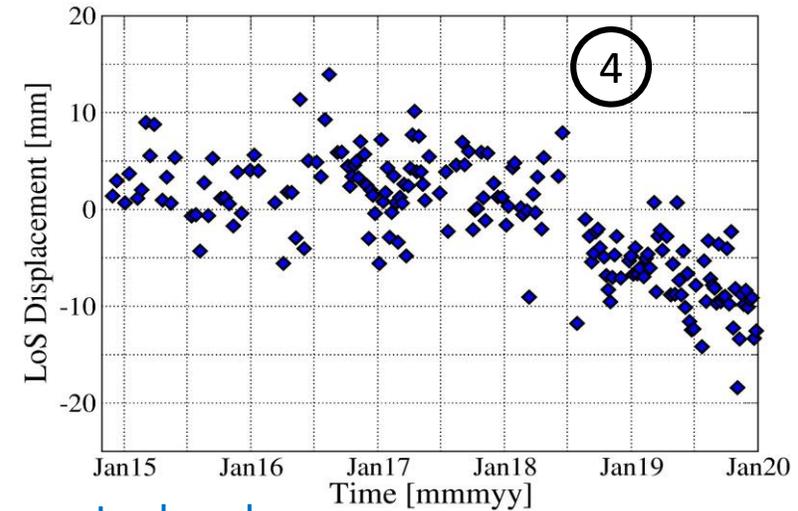
Séries temporelles et comparaisons au nivellement



InSAR vs Nivellement

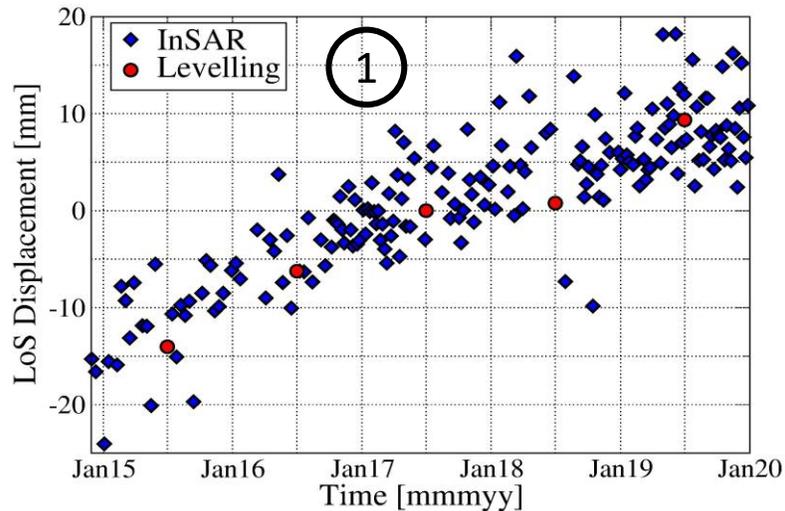


Freyming-Merlebach

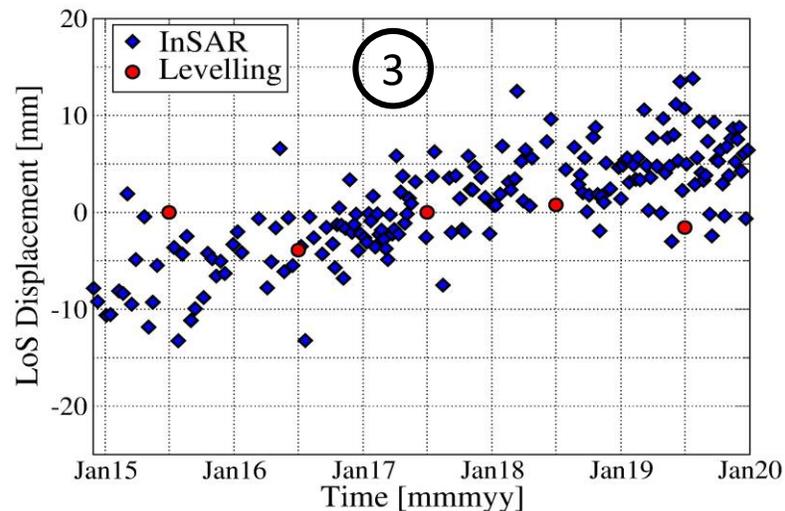


Lachambre

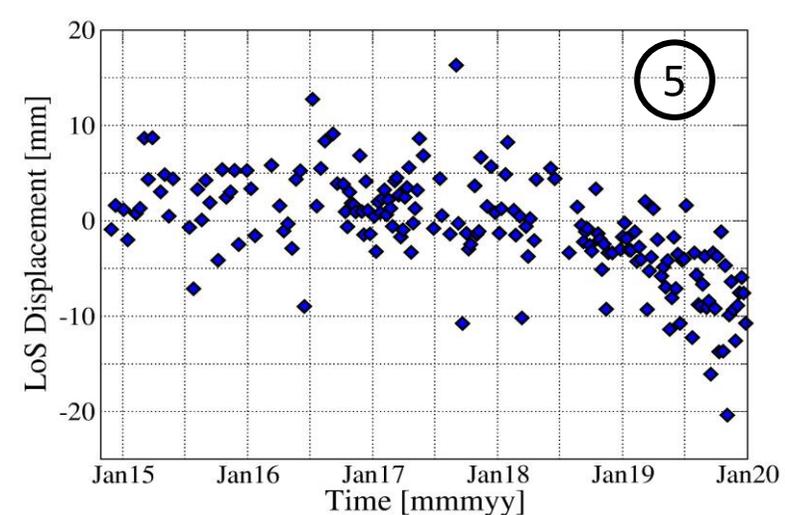
Rosbruck



Creutzwald



Faulquemont



L'essentiel à retenir

- Alsace : apport essentiel à l'étude de la compaction des matériaux foudroyés en profondeur
 - Conduite de travaux de recherche multi-disciplinaires
- Lorraine : résultats mitigés, pas d'apport à la problématique initiale mais observation intéressante des conséquences de l'ennoyage
 - Etude InSAR = étude régionale
- InSAR = méthode puissante mais pas infallible
- Arrivée de la plateforme « European Ground Motion Service » (EGMS) :
 - Aperçu de la surface de réflexion de la région
 - Suivi des déplacements à partir de 2016
 - Aide à la préparation d'études InSAR

Merci de votre attention !