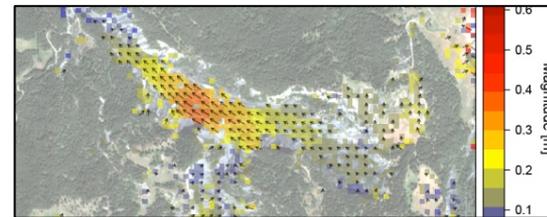
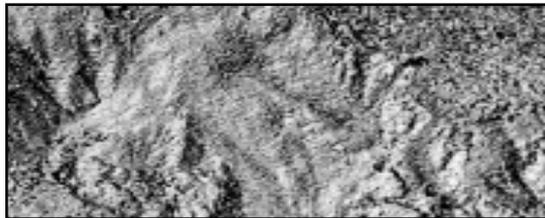


L'apport de la télédétection pour l'analyse des mouvements du sol

J.-P. Malet, EOST – CNRS / Université de Strasbourg
avec des contributions de A. Stumpf, P. Bornemann, R. Schlögel,
C. Heimlich, C. Doubre, F. Masson

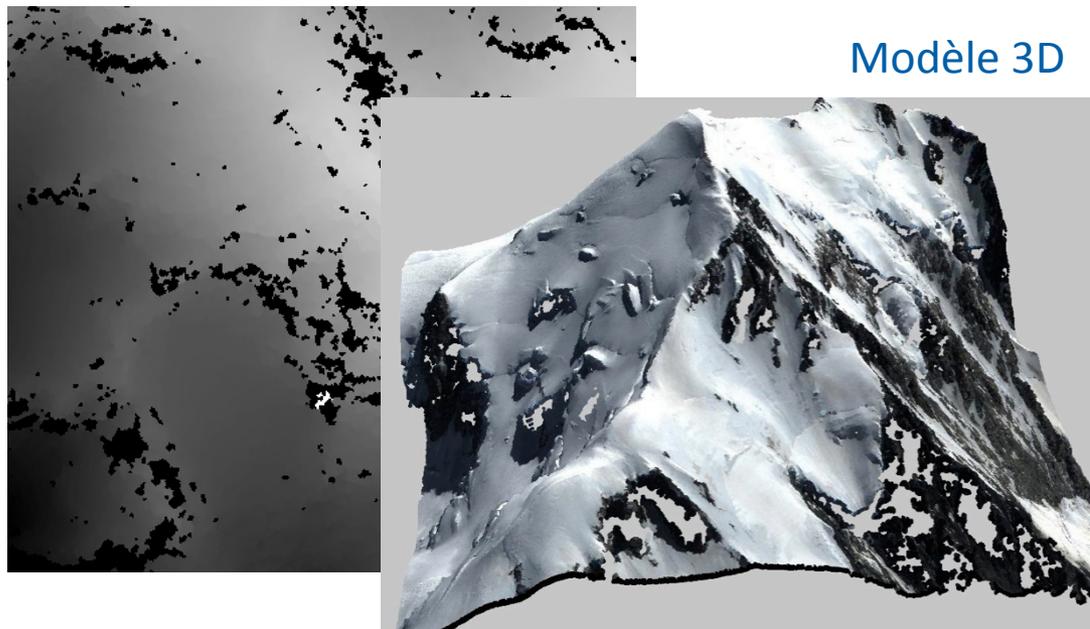


L'imagerie optique stéréoscopique pour créer des modèles de surface

Données d'entrée



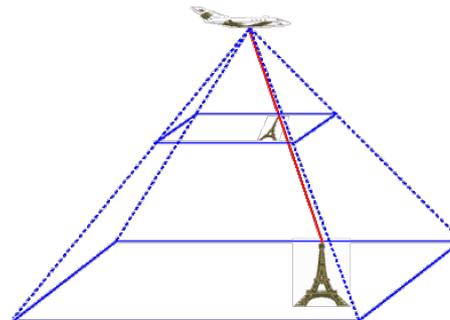
Modèle de surface (E,N,Z)



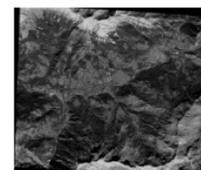
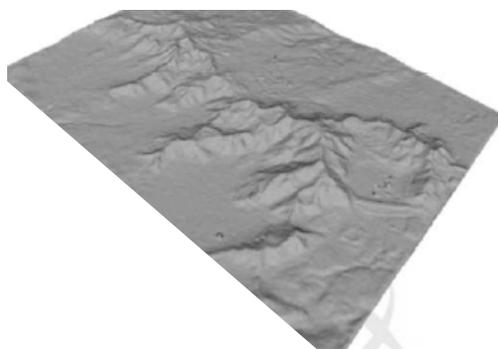
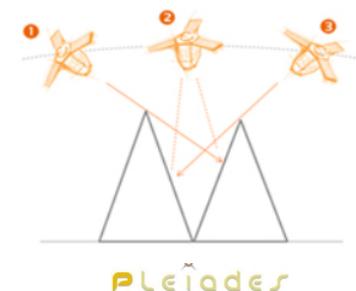
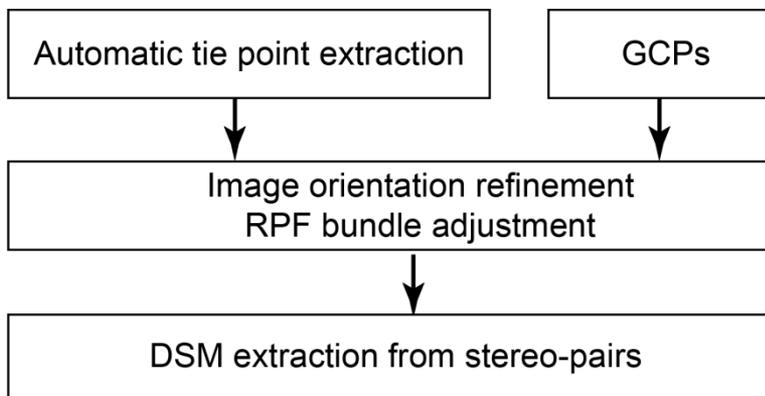
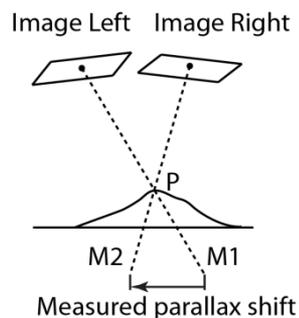
Résultats



Principe de la vision stéréoscopique

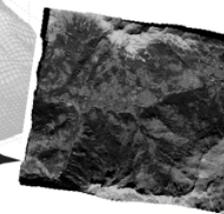


L'imagerie optique stéréoscopique pour créer des modèles de surface



orthophotographie

DSM



Logiciels commerciaux

- Erdas Imagine 
- PCI Geomatica 
- Pixel Factory 
- Agisoft Photoscan 
- Smart3DCapture 

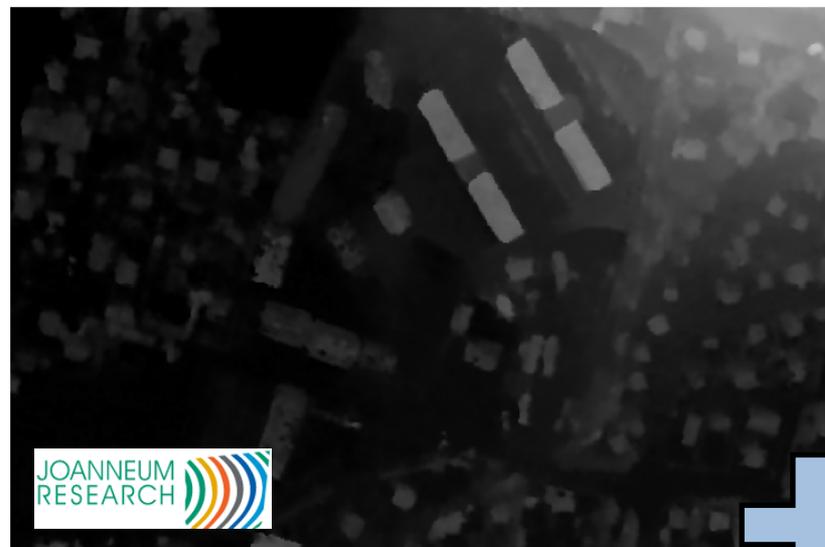
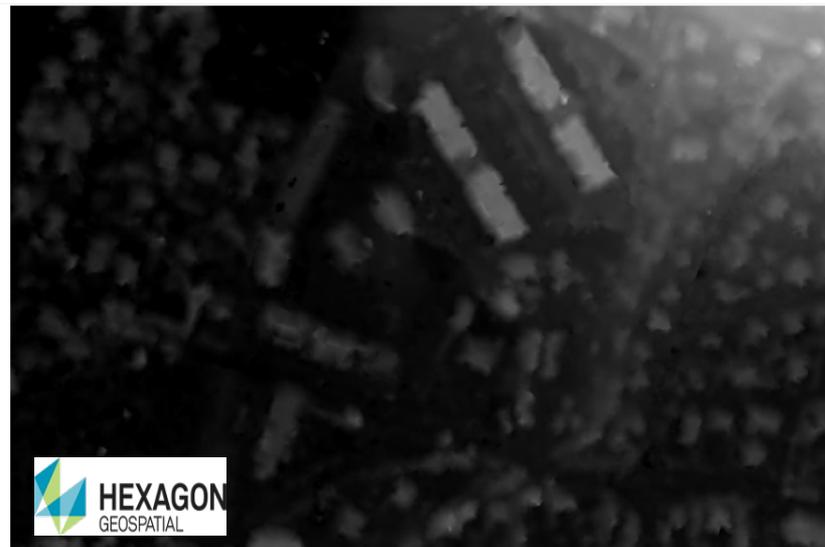
Logiciels open-source

- Mic-Mac 
- AMES/ASP 
- s2p
- SURE 
- PMVS2
- openMVG 
- RSG
- JOANNEUM RESEARCH 

L'imagerie optique stéréoscopique pour créer des modèles de surface



Image Pléiades ortho-rectifiée

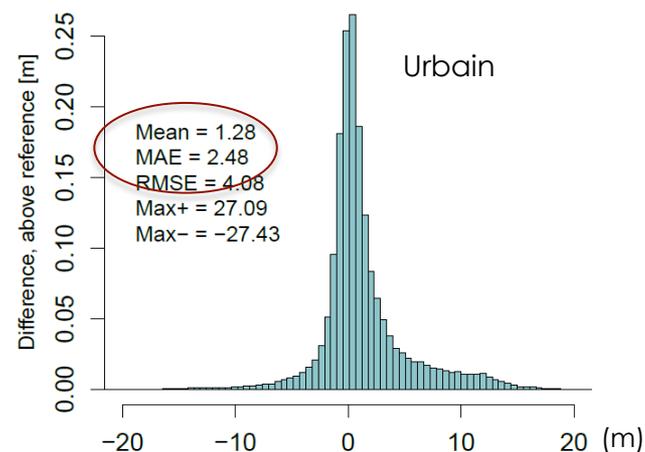
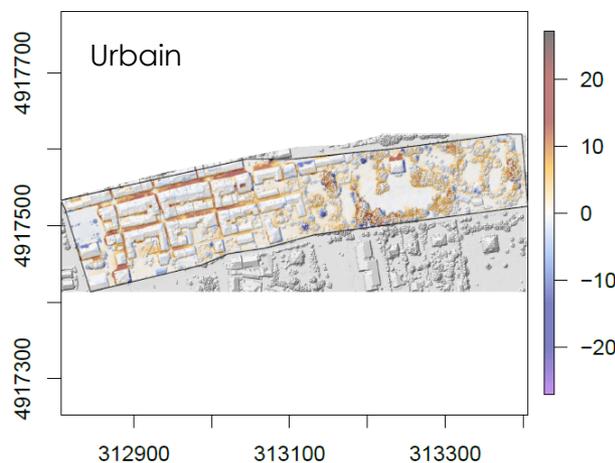
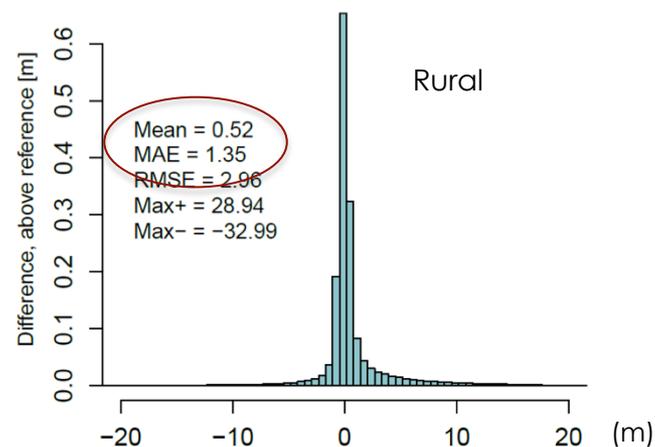
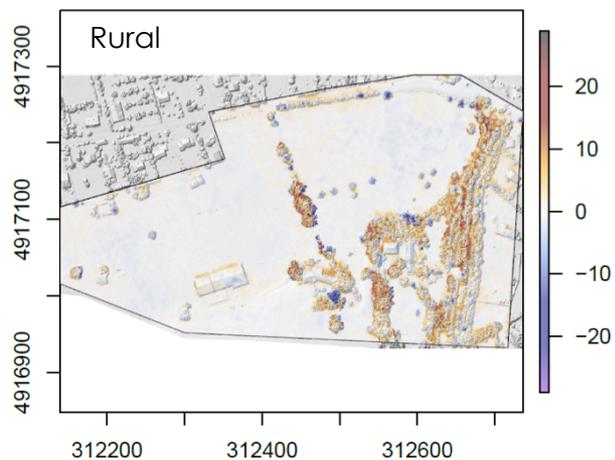


50 0 50 100 150 200



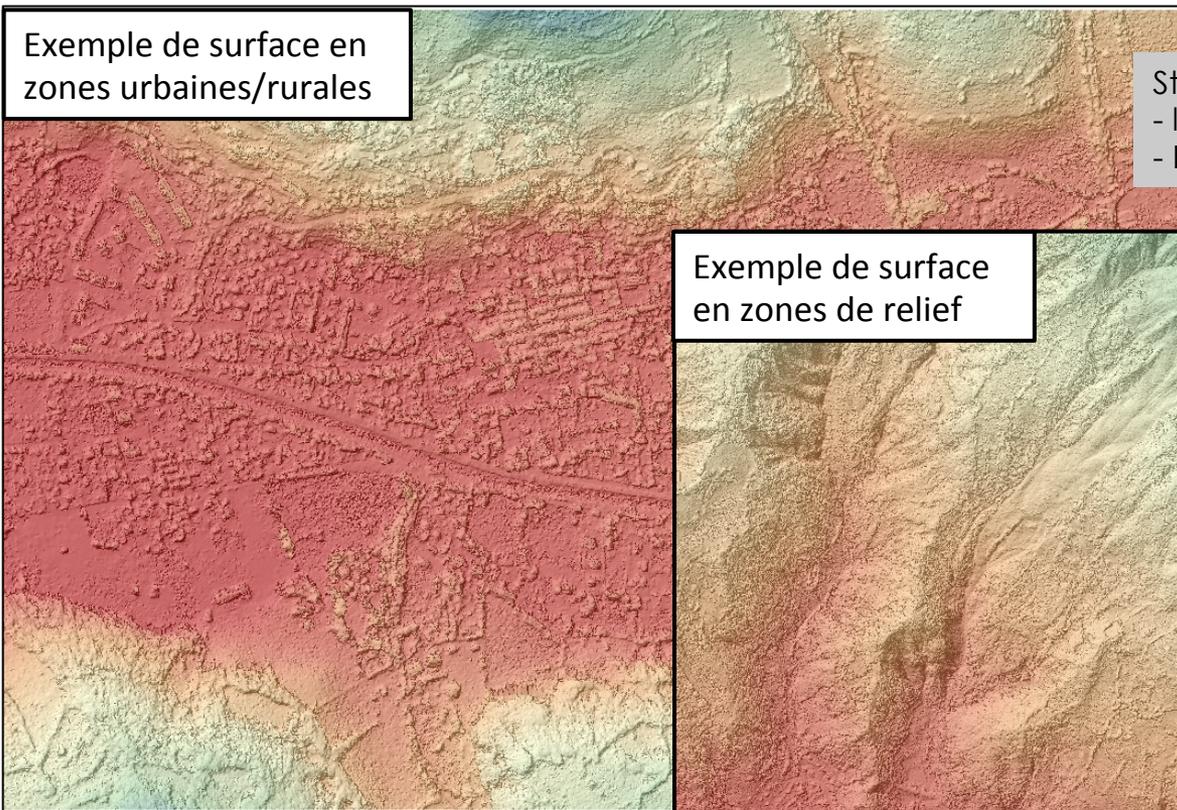
L'imagerie optique stéréoscopique pour créer des modèles de surface

Erreurs : Comparaison MNS LiDAR aérien (référence) et MNS Stéréo-photogrammétrique Pléiades



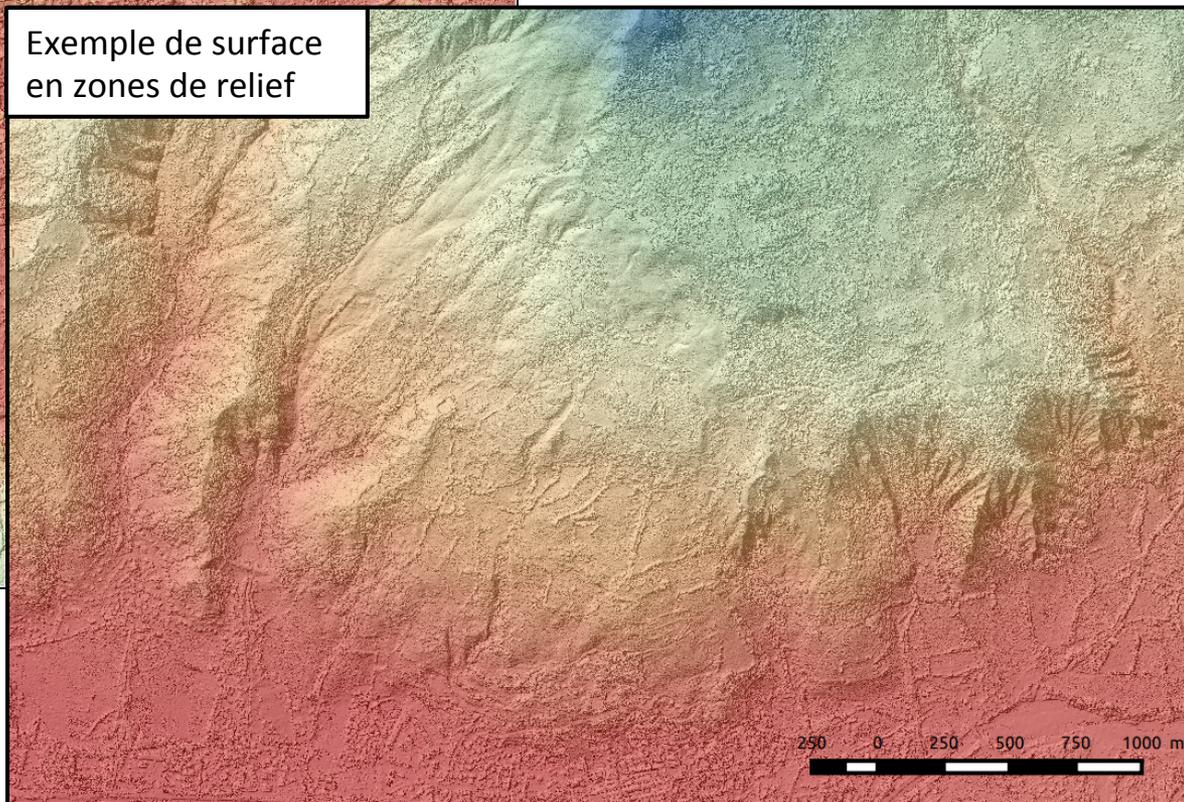
L'imagerie optique stéréoscopique pour étudier les mouvements verticaux

Exemple de surface en zones urbaines/rurales



Stereo processing of a Pléiades scene:
- local workstation 8 cores: 16h
- HPC: 4 nodes of 16 cores: 30 min

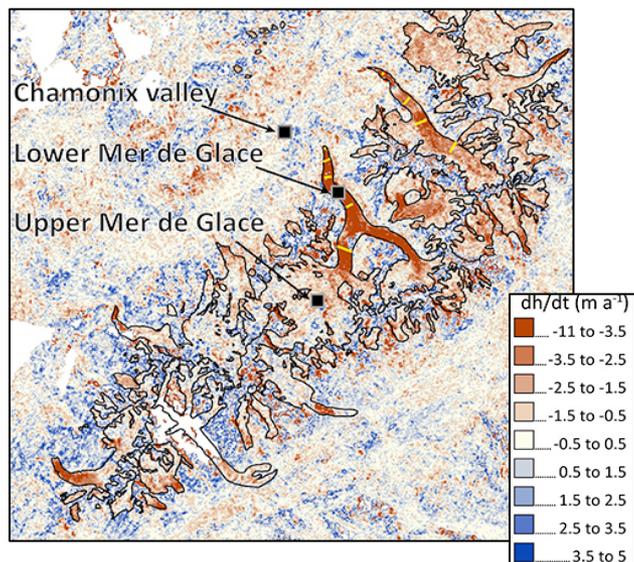
Exemple de surface en zones de relief



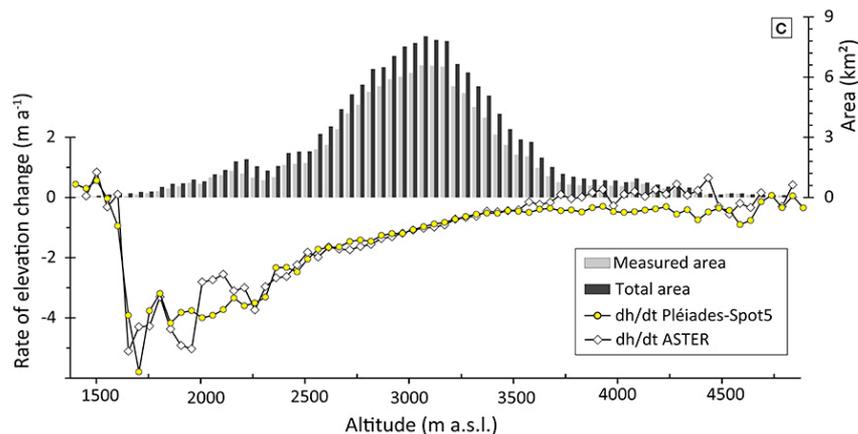
Stumpf et al. (2014)

L'imagerie optique stéréoscopique pour étudier les mouvements verticaux

Berthier et al. (2016)

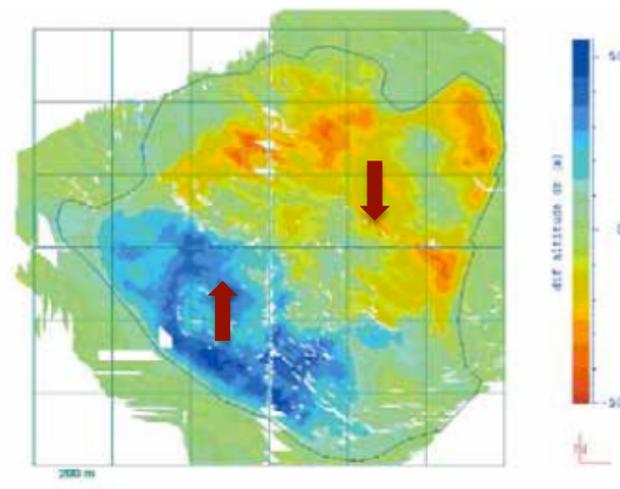
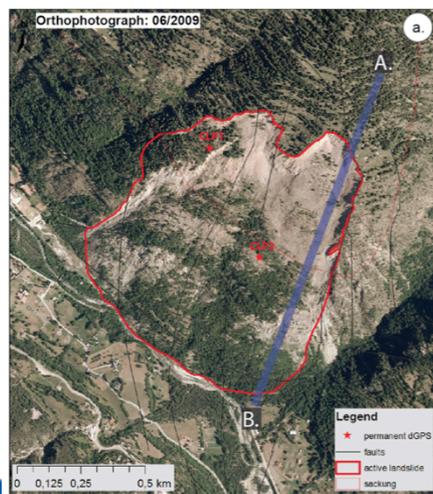


Application : Taux d'ablation de glaciers par altitudes
Massif du Mont Blanc, Période 2000-2014



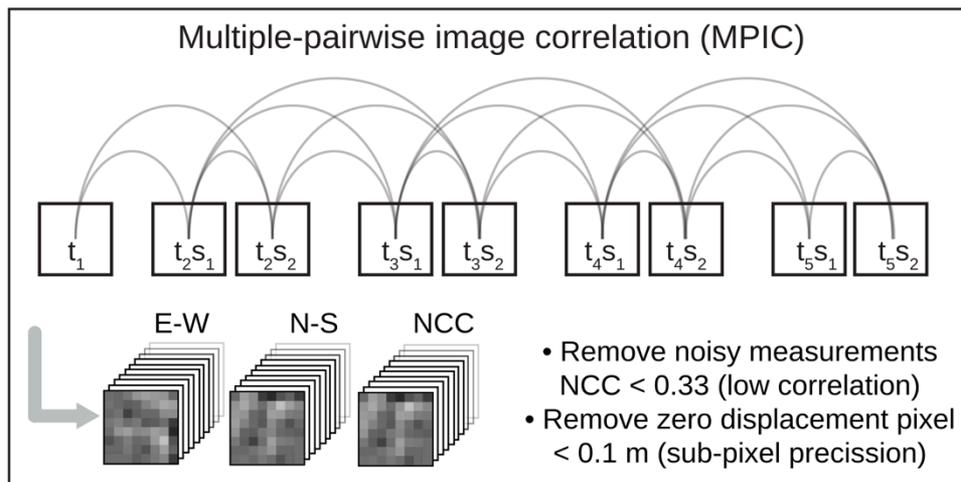
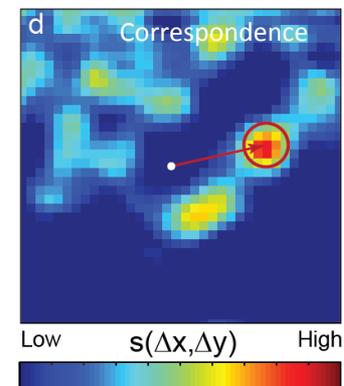
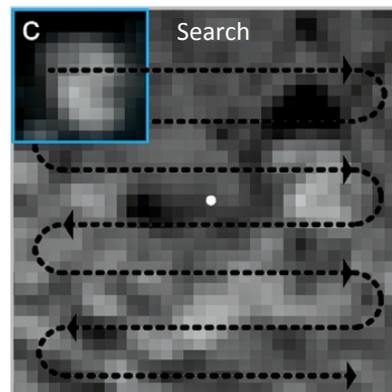
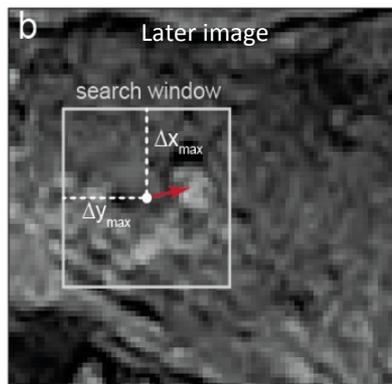
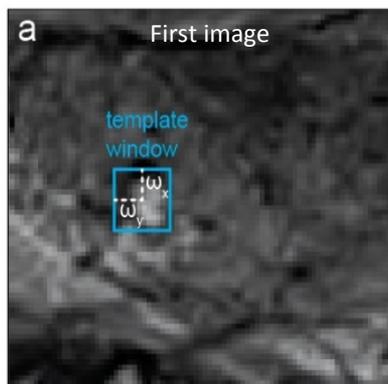
Application : Mouvements verticaux de glissements de terrain
La Clapière – 1995-2010

Schlögel et al. (2016)



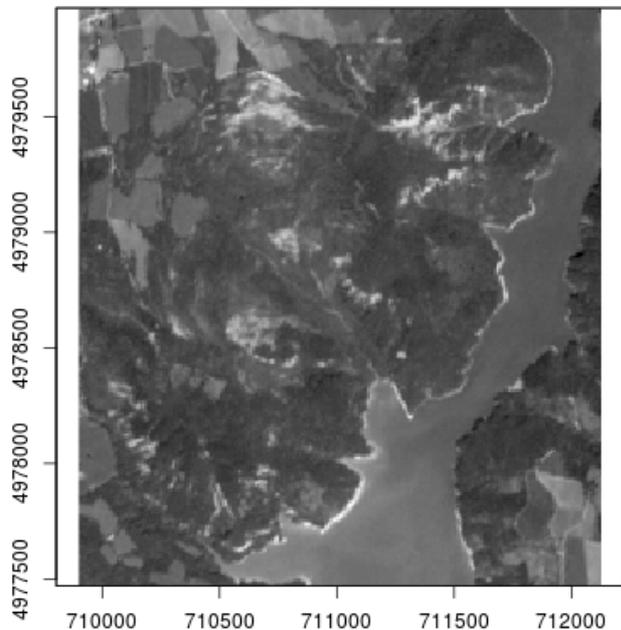
Les séries temporelles optique pour étudier les mouvements horizontaux

Techniques de corrélation d'images entre deux ou n dates



Les séries temporelles optique pour étudier les mouvements horizontaux

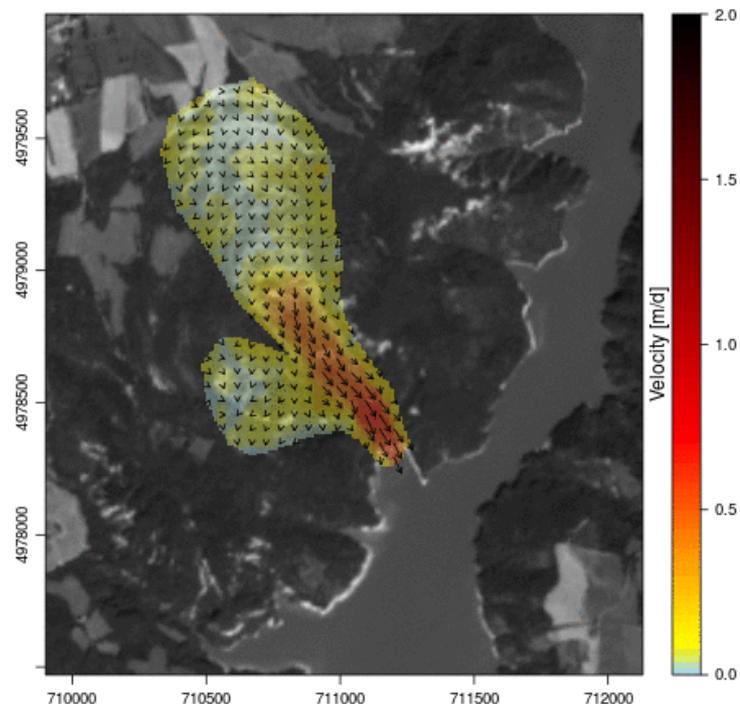
Harmalière landslide 2016-06-24



MPIC of 6 S2 images (12 pairs):
- Use of S2 green band (560 nm)
- More atmospheric scattering in the blue band (490 nm)

*Harmalière landslide
(acceleration in July/Aug. 2016)*

Surface velocities 2016-08-03 - 2016-08-13

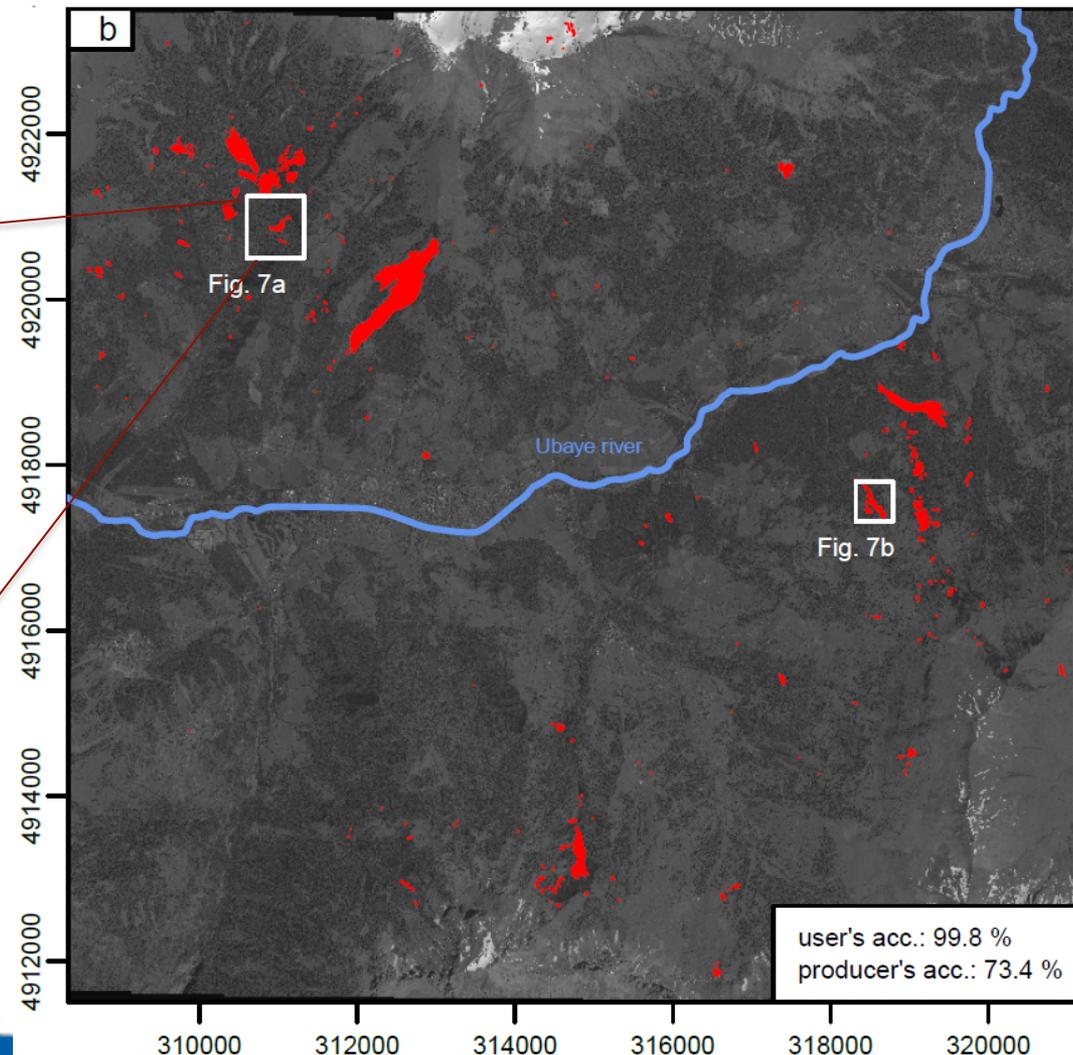
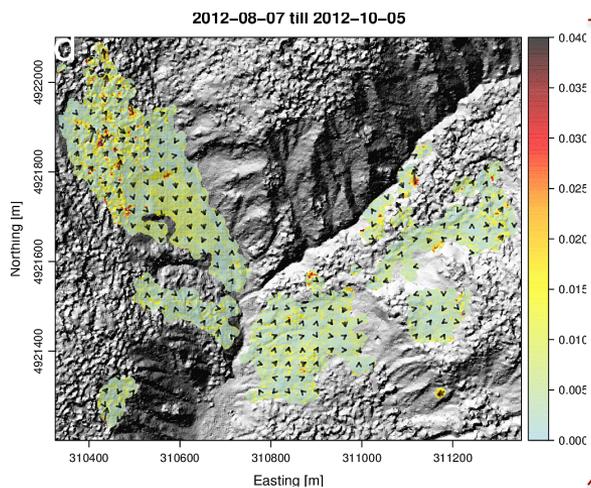
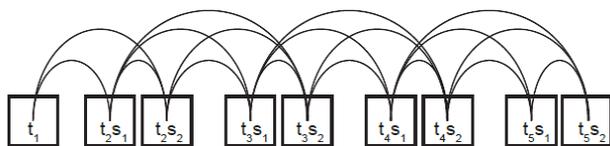


Stumpf et al. (2016)



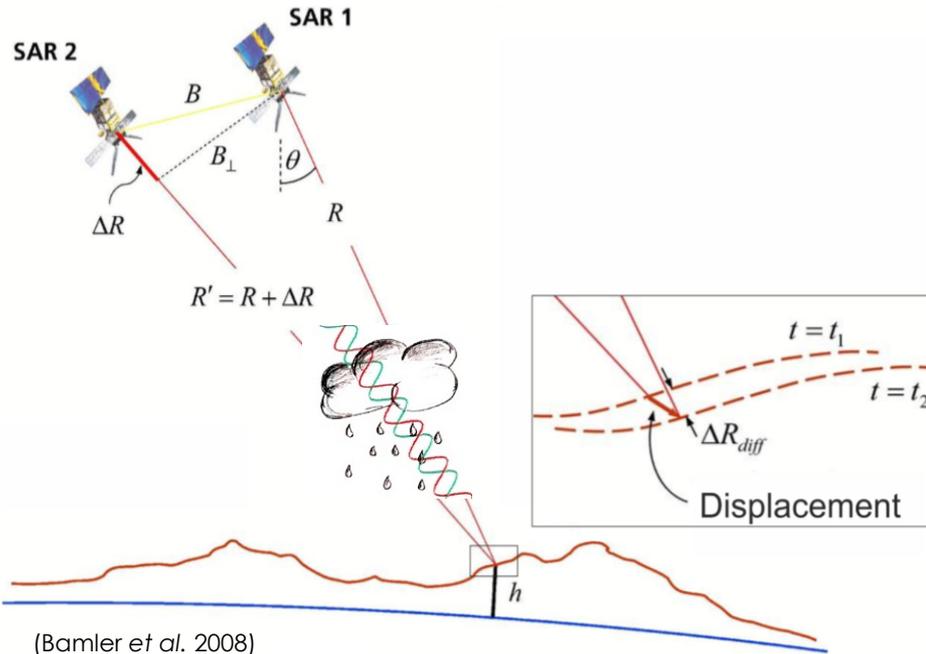
Les séries temporelles optique pour étudier les mouvements horizontaux

Persistence des déplacements dans le temps – Détection de zones en mouvement



L'imagerie radar pour étudier les mouvements horizontaux et verticaux

Interférométrie différentielle d'images radar : SAR – Radar à Synthèse d'Ouverture



(Bamler *et al.* 2008)

Traitement complexe :

- Création d'interférogrammes (e.g. carte des différences de phase)
- Corrections atmosphériques
- Inversion de séries temporelles
- Filtrage / Mesure relative par rapport à un point de référence (déroulage)

Analyse de 2 images d'une même zone à Δt

Différence de phase $\Delta \phi \propto \Delta R$

Signal affecté par plusieurs effets :

$$\varphi_{\Delta t} = \varphi_{\text{topo}, \Delta t} + \varphi_{\text{atm}, \Delta t} + \varphi_{\text{orb}, \Delta t} + \varphi_{\text{bruit}, \Delta t} + \varphi_{\text{def}, \Delta t} + \varphi_{\text{dem}, \Delta t}$$

- Topographie
- Atmosphère
- Géométrie de la Terre / Géométrie d'acquisition Radar
- Orbites
- Rétrodiffusion sol – Etats de surface
- Bruit systématique

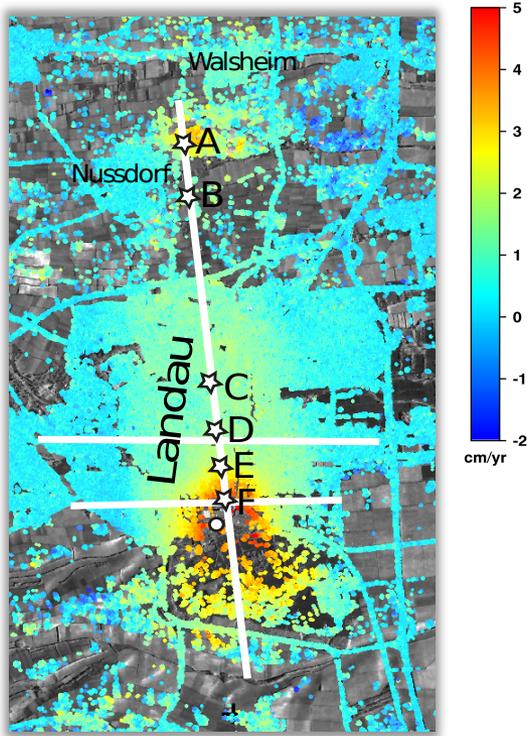
Technique sujette à dé-corrélation temporelle et à des mesures selon ligne de visée

Sensibilité / Précision : millimétrique selon longueur d'ondes du capteur et caractéristiques du terrain

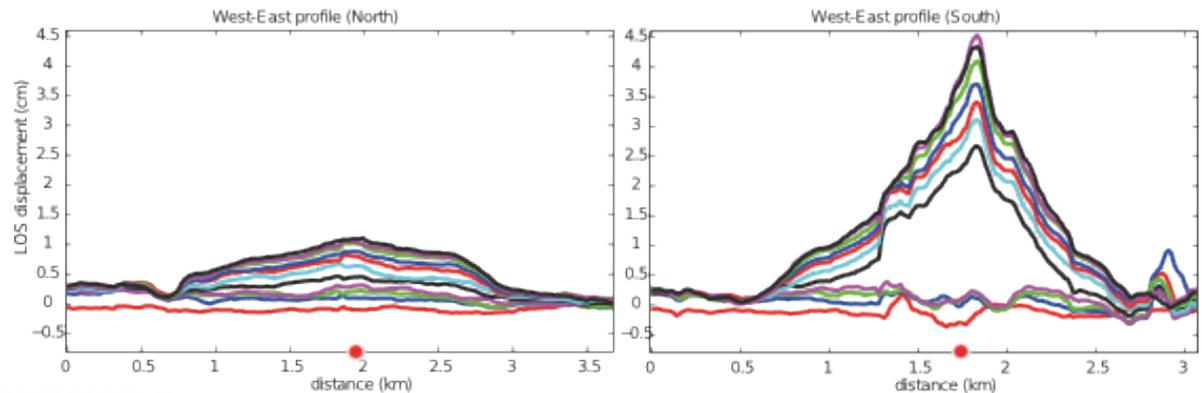
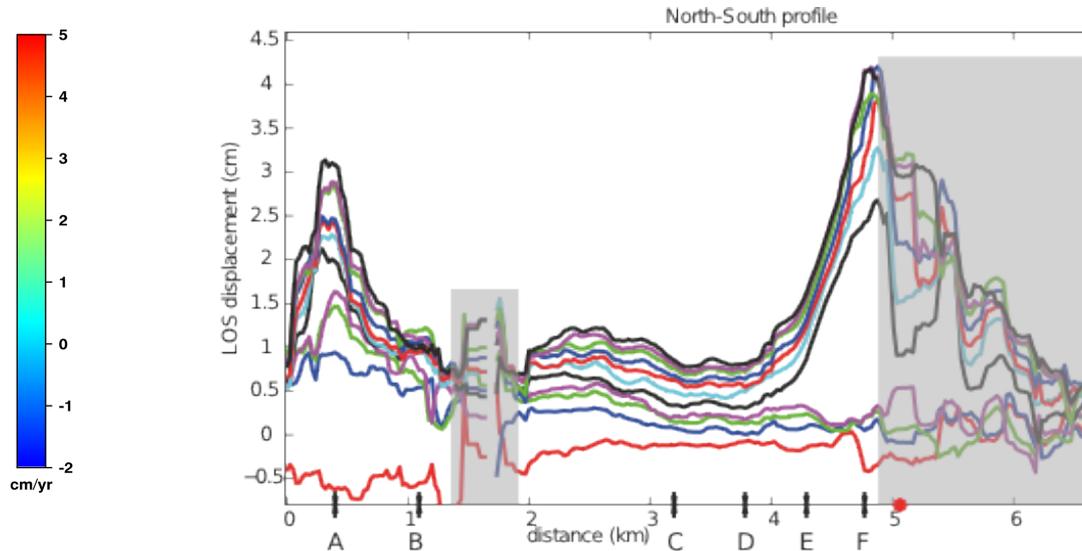
L'imagerie radar pour étudier les mouvements horizontaux et verticaux

Application : Déformation (taux de déplacement, ligne de visée) de réservoirs (géothermie)
Landau, 2013-2014

(Heimlich et al., 2015)

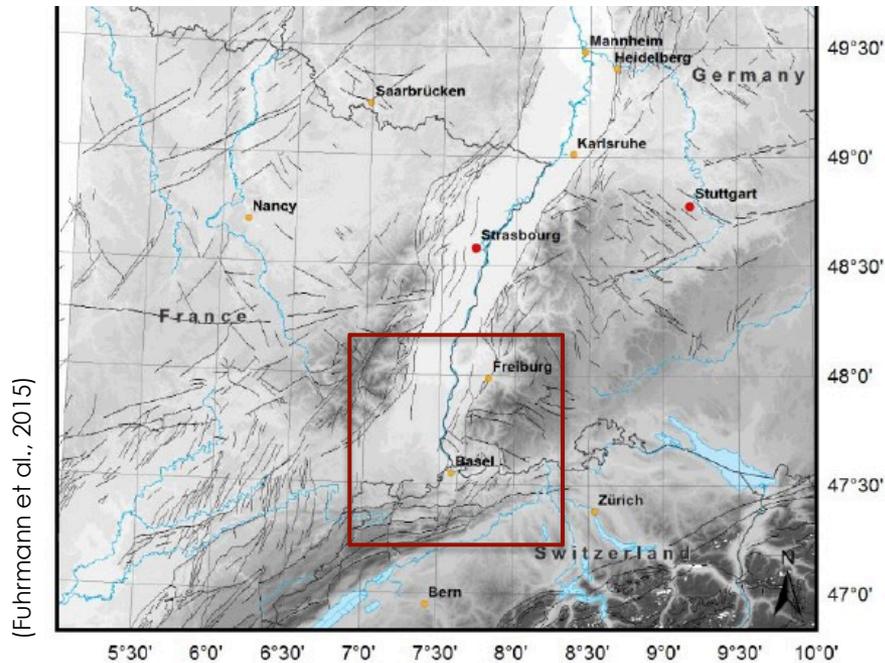
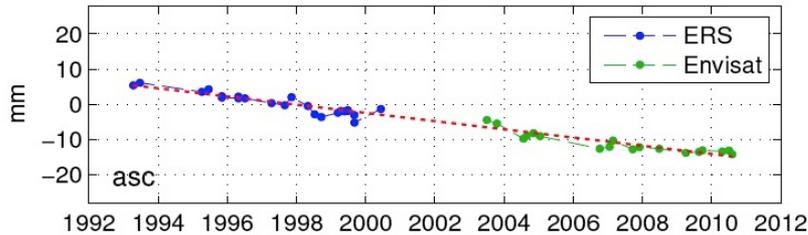


Réflecteurs Permanents
(Persistent Scatterers, PS / StaMPS)

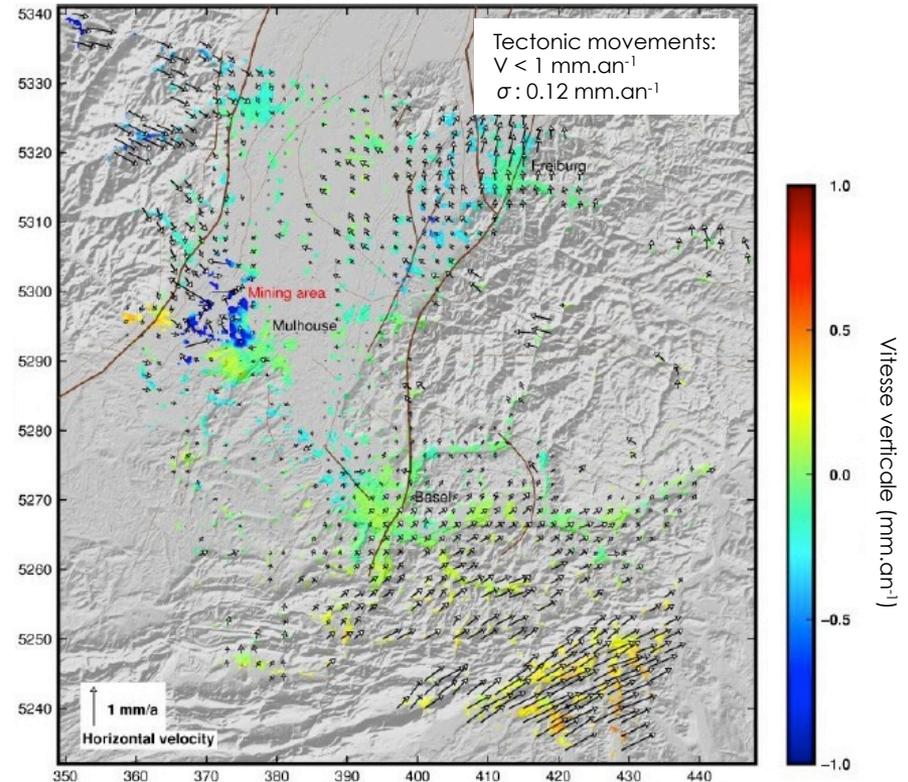


L'imagerie radar pour étudier les mouvements horizontaux et verticaux

Application : Déformation du Fossé Rhénan – Analyse d'archives d'images SAR (ERS/Envisat)

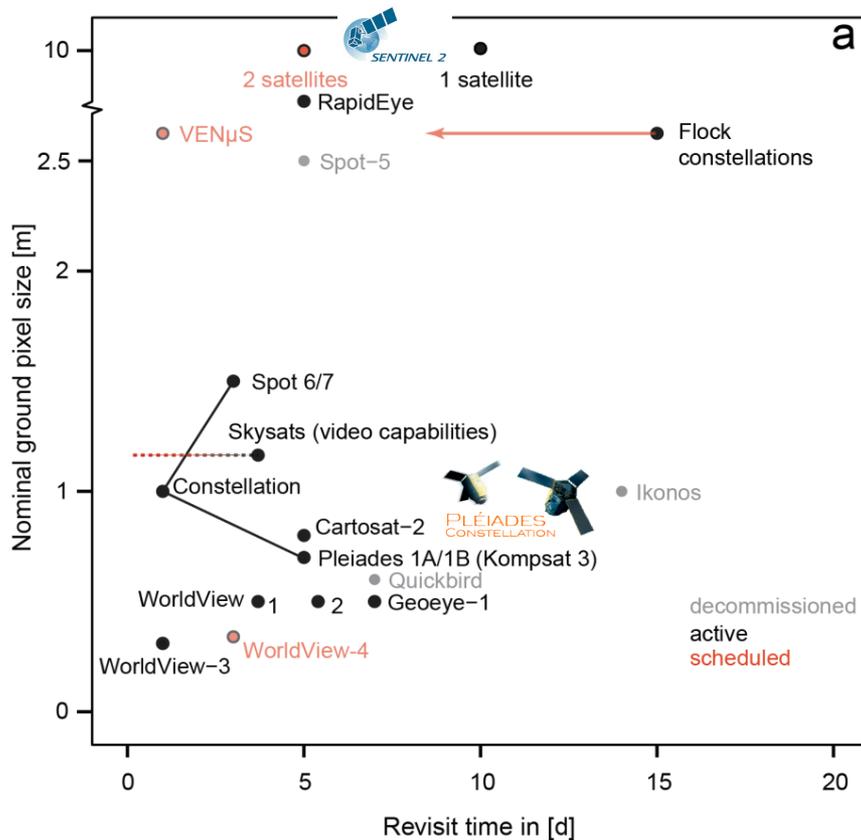


(Fuhrmann et al., 2015)



Réflecteurs Permanents 1992-2012
(Persistent Scatterers, PS / StaMPS)

Conclusion



De nombreuses données :
 résolution spatiale (m – dm)
 fréquence temporelle (5 – 30 j)
 longueurs d'onde (visible, thermique, micro-ondes)

De nombreuses méthodes de traitement pour quantifier les déformations verticales / horizontales :
 stéréophotogrammétrie / radargrammétrie satellitaire
 corrélation d'image (optique, amplitude radar)
 interférométrie (phase radar)

Des traitements ± complexes selon les sensibilités et précisions recherchées

Un besoin de données de référence au sol

Des problèmes inhérents aux images : ombre, végétation, nuage, orbite, état de surface, etc