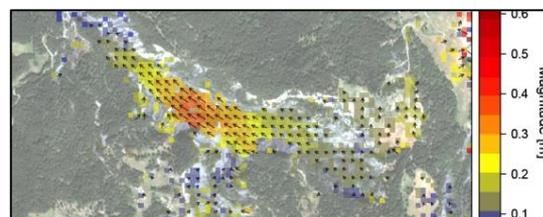
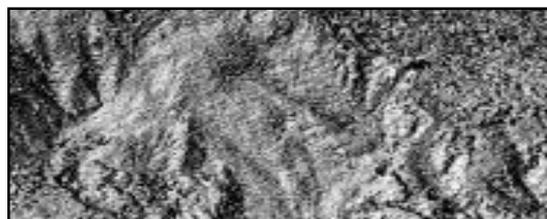


L'apport de la télédétection pour l'analyse des mouvements du sol

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

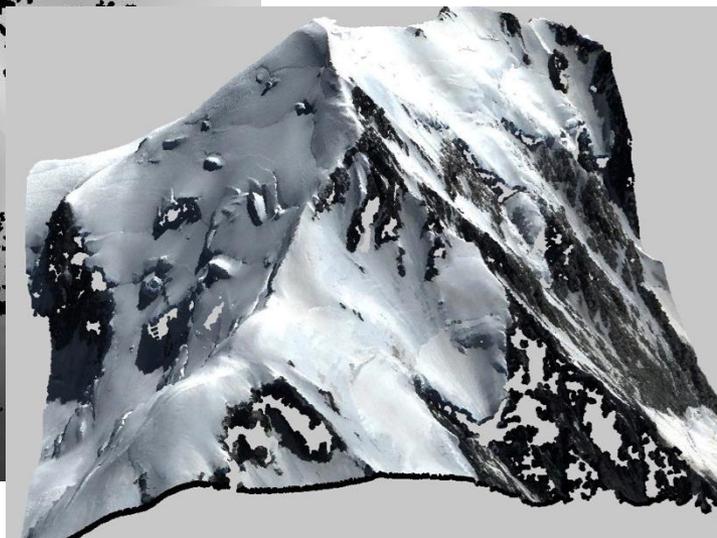
Données d'entrée



Modèle de surface (E,N,Z)



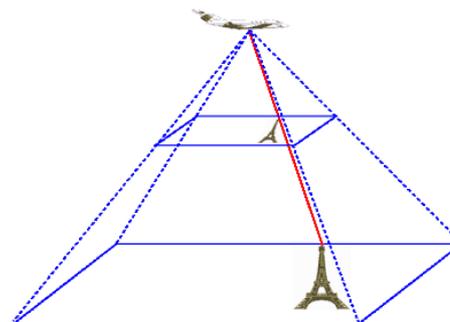
Modèle 3D



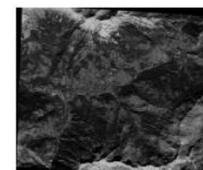
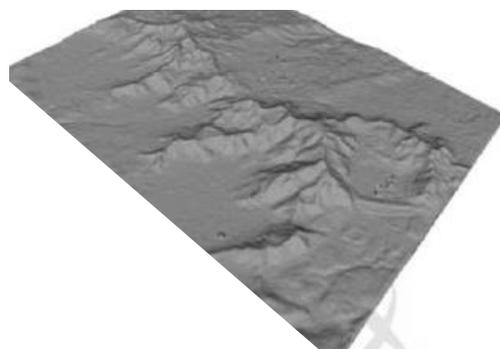
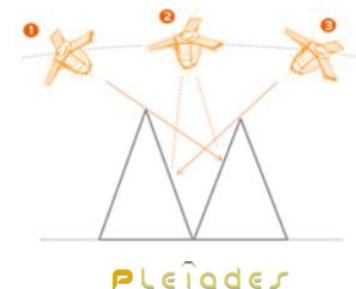
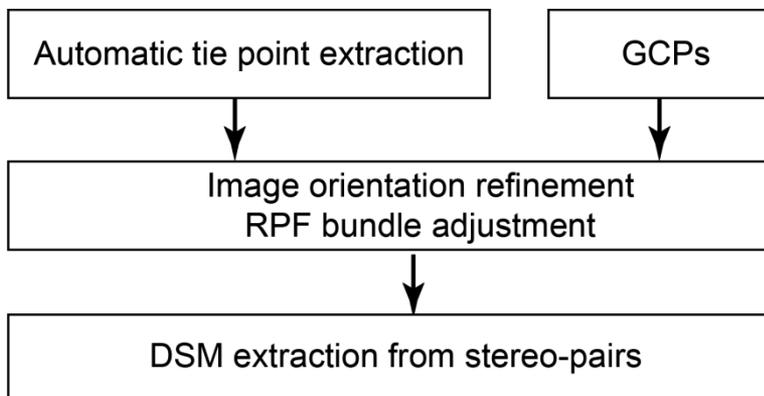
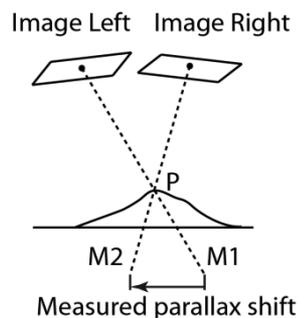
Résultats



Principe de la vision stéréoscopique

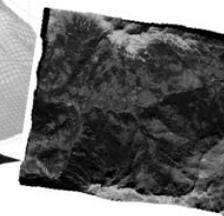


L'imagerie optique stéréoscopique pour créer des modèles de surface



orthophotographie

DSM



Logiciels commerciaux

Erdas Imagine 

PCI Geomatica 

Pixel Factory 

Agisoft Photoscan 

Smart3DCapture 

Logiciels open-source

Mic-Mac 

AMES/ASP 

s2p

 SURE

PMVS2

 openMVG

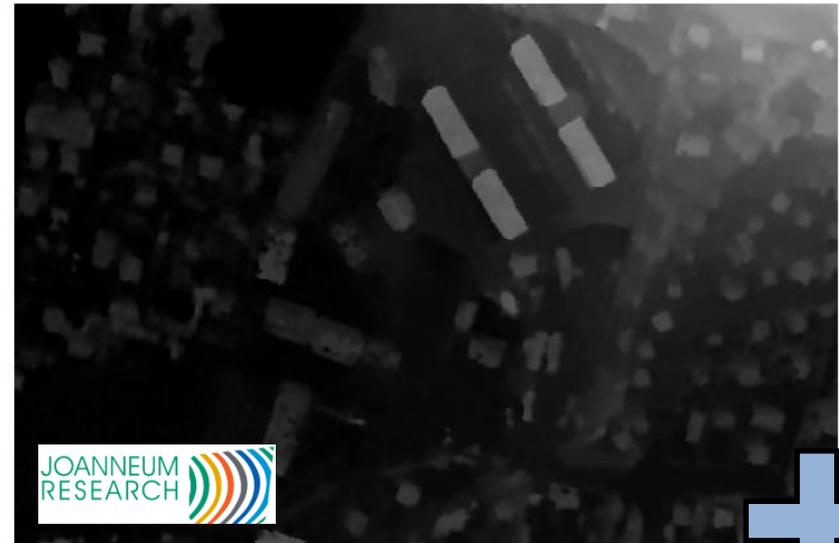
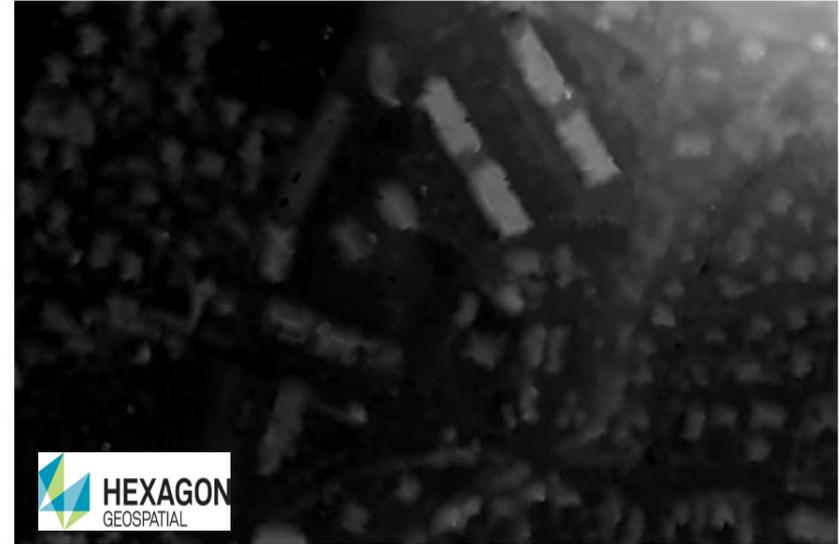
RSG

 JOANNEUM RESEARCH

L'imagerie optique stéréoscopique pour créer des modèles de surface



Image Pléiades ortho-rectifiée



50 0 50 100 150 200



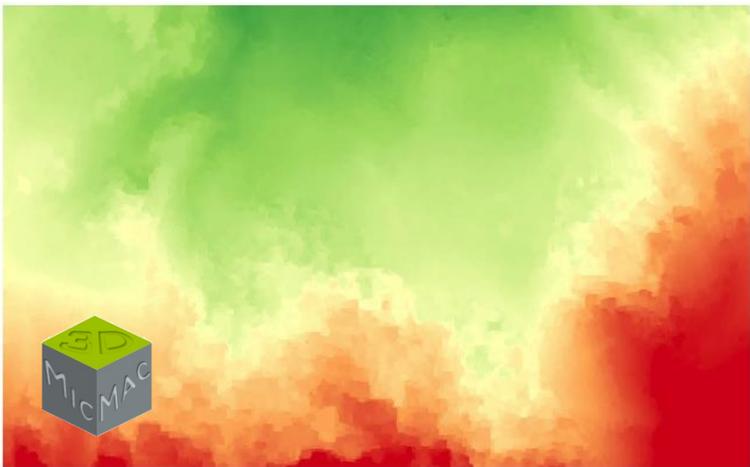
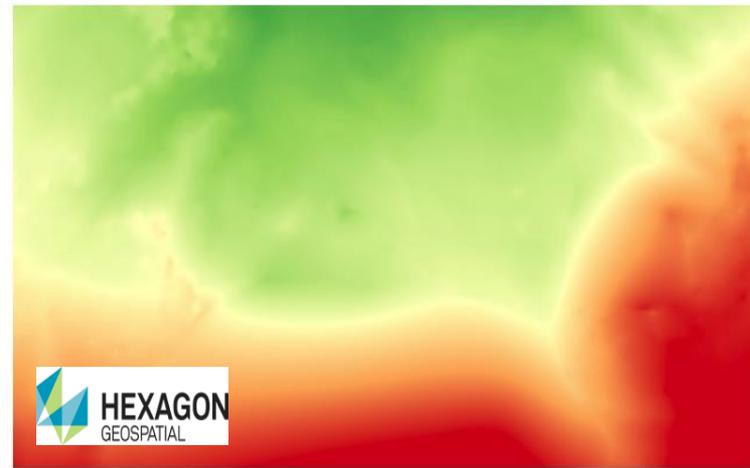
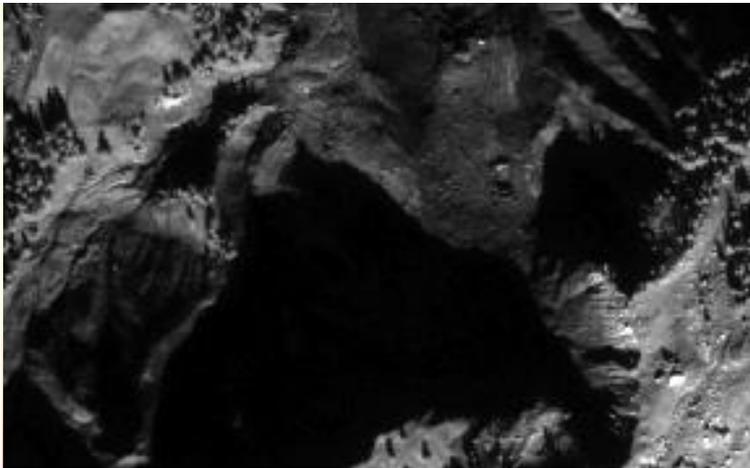
L'imagerie optique stéréoscopique pour créer des modèles de surface



50 0 50 100 150 200



L'imagerie optique stéréoscopique pour créer des modèles de surface

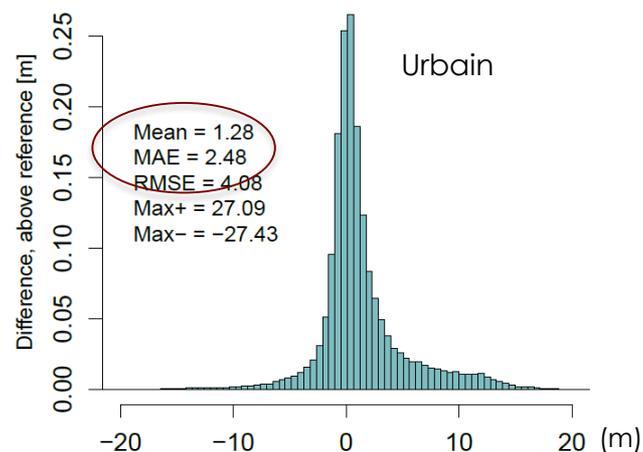
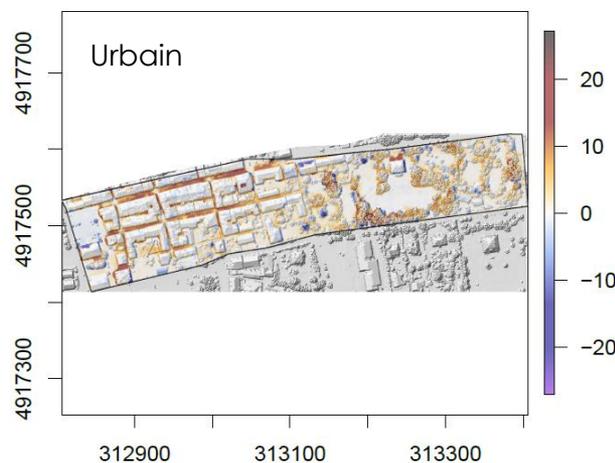
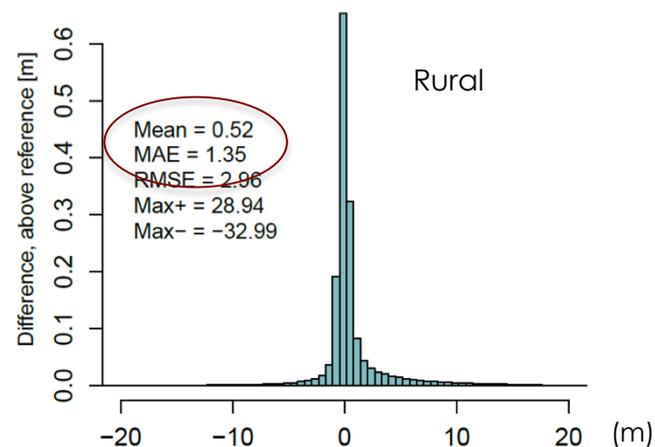
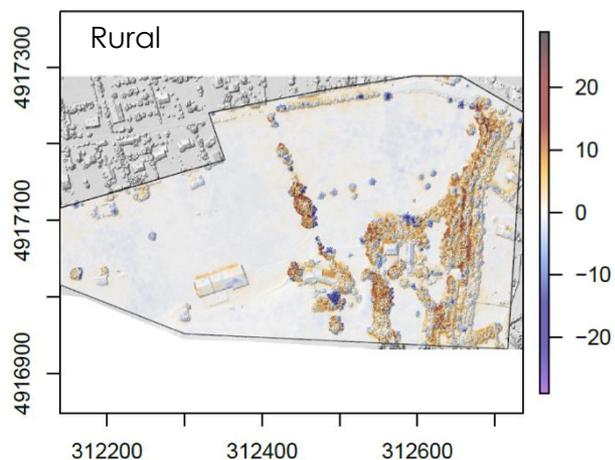


Stumpf et al. (2014)



L'imagerie optique stéréoscopique pour créer des modèles de surface

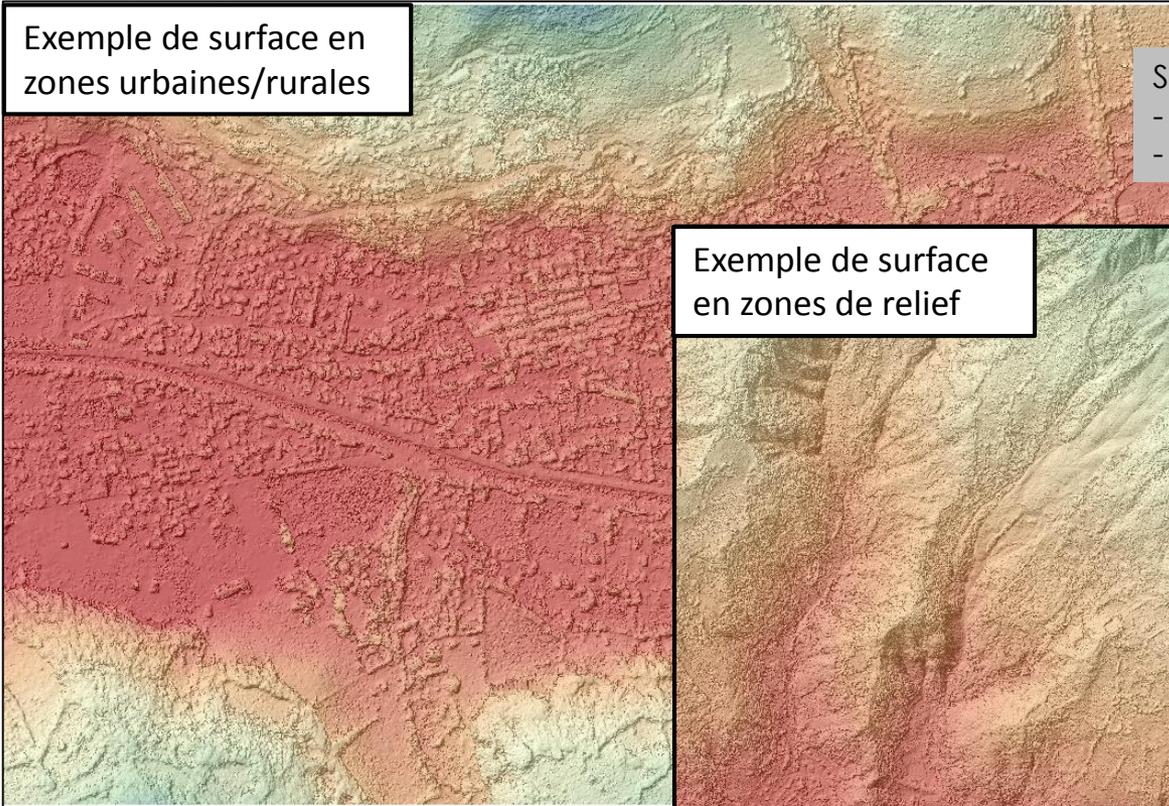
Erreurs : Comparaison MNS LiDAR aérien (référence) et MNS Stéréo-photogrammétrie Pléiades



Stumpf et al. (2014)

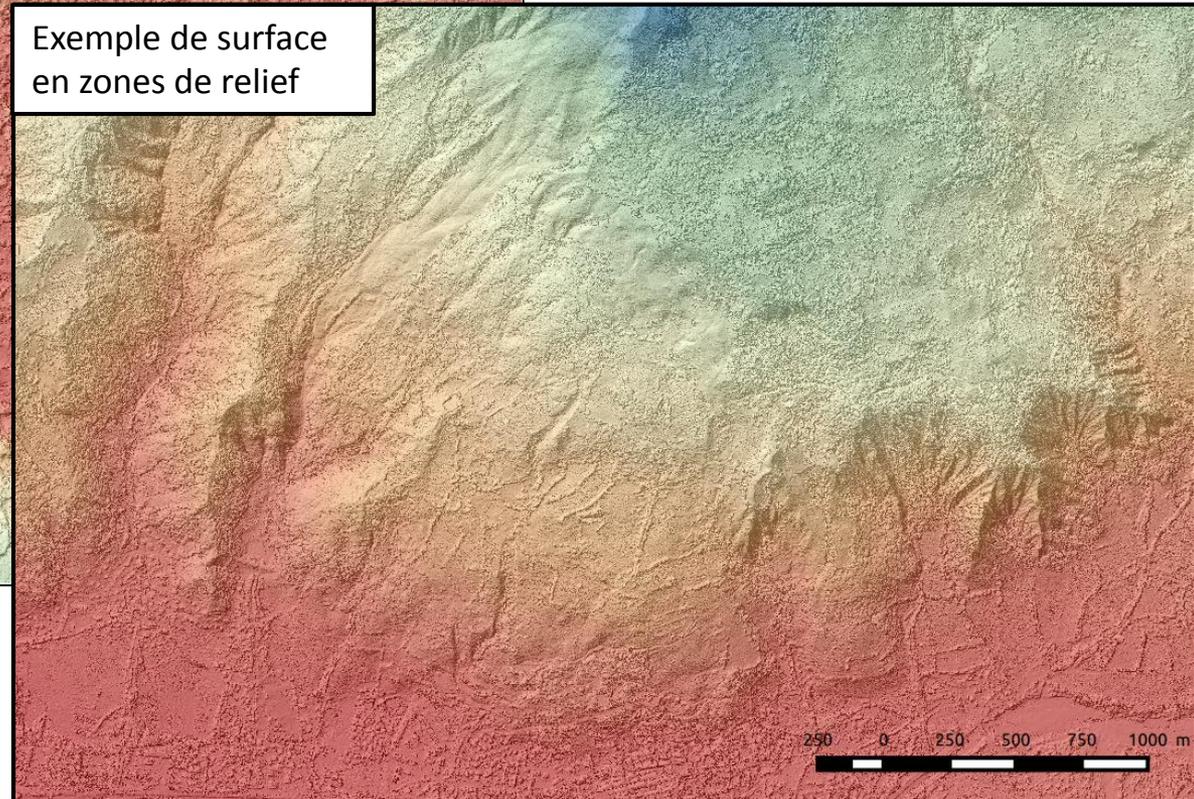
L'imagerie optique stéréoscopique pour créer des modèles de surface

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

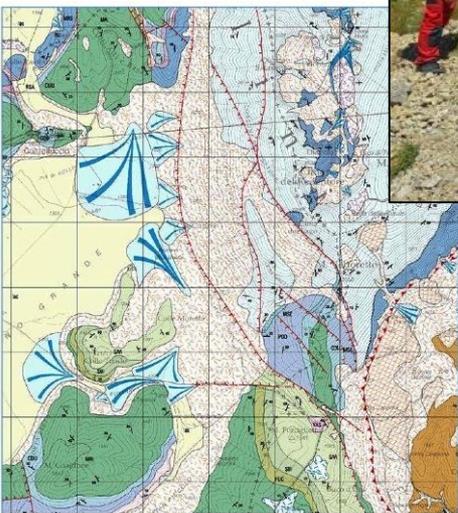


Stumpf et al. (2014)

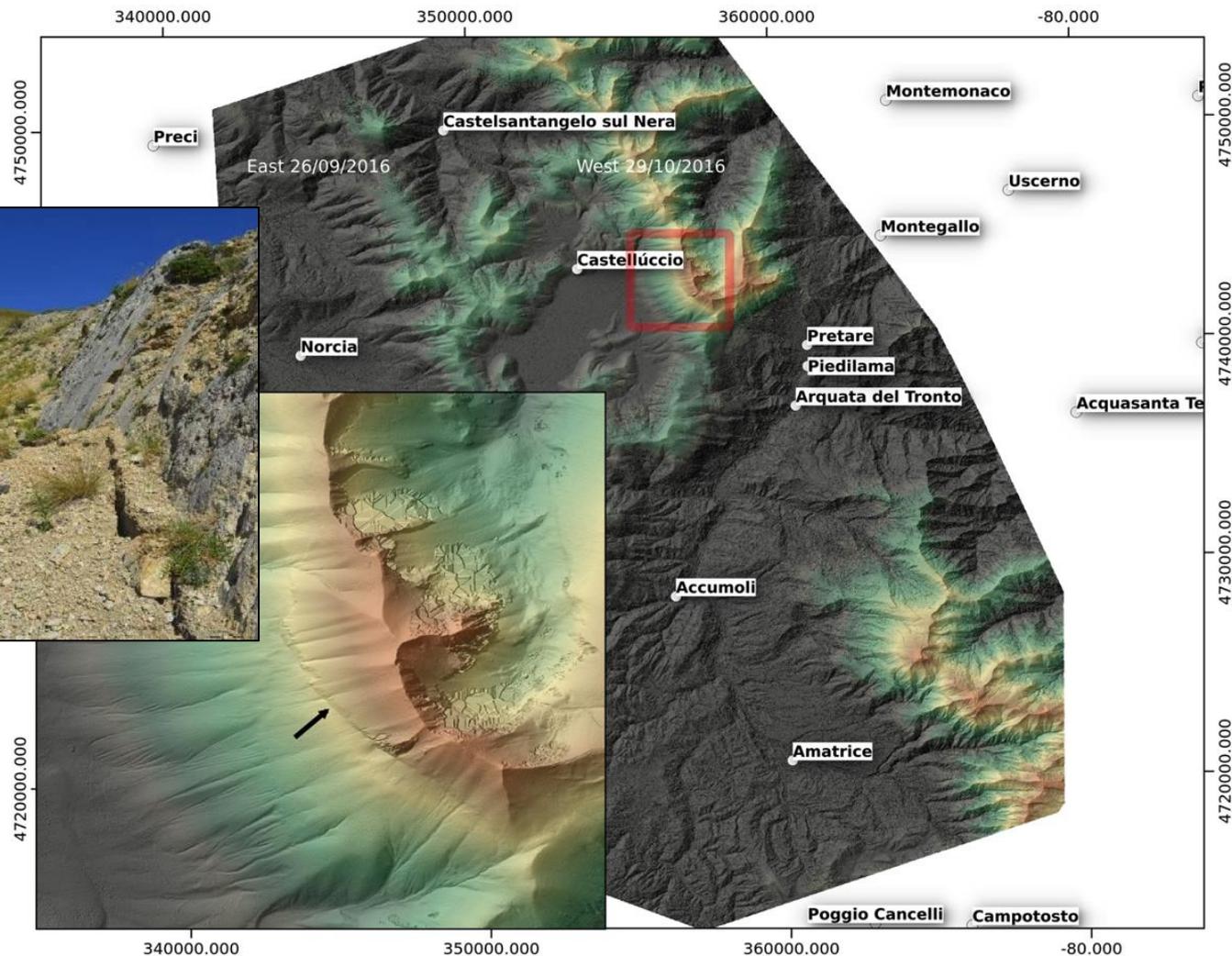
L'imagerie optique stéréoscopique pour créer des modèles de surface

Application :
Cartographie des
ruptures de surface
du séisme Mv 6.6
de Norcia / Italie

Geological map – Mte Vettore

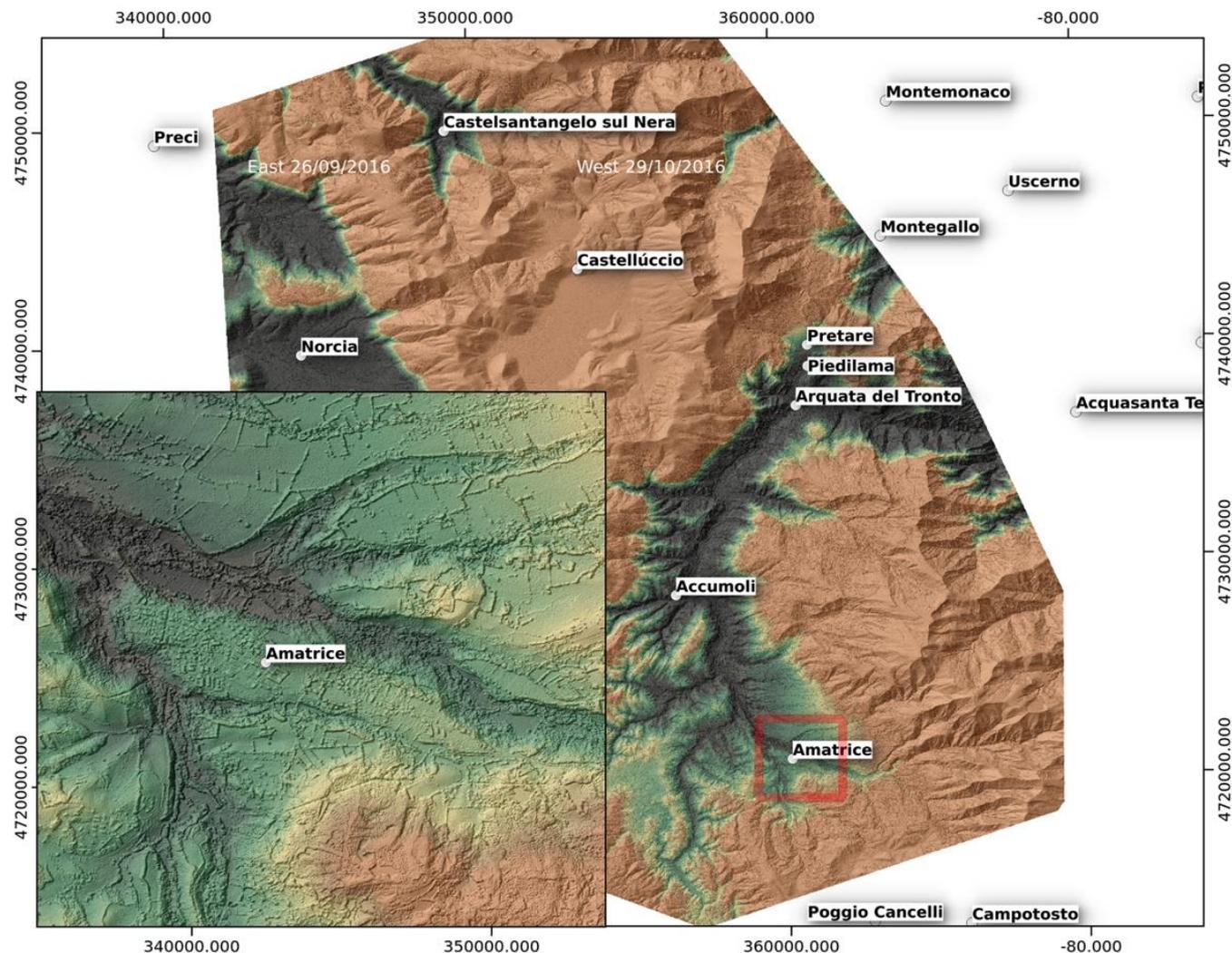


Pierantoni et al. (2013)



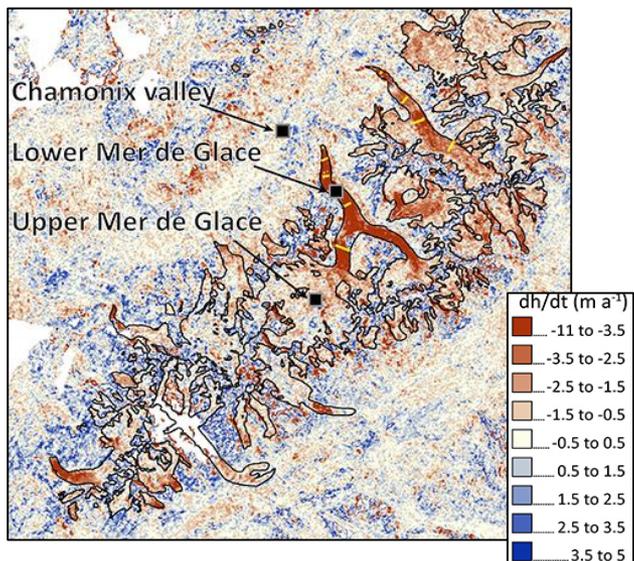
L'imagerie optique stéréoscopique pour créer des modèles de surface

Application :
Cartographie des
dommages de la
ville d'Amatrice

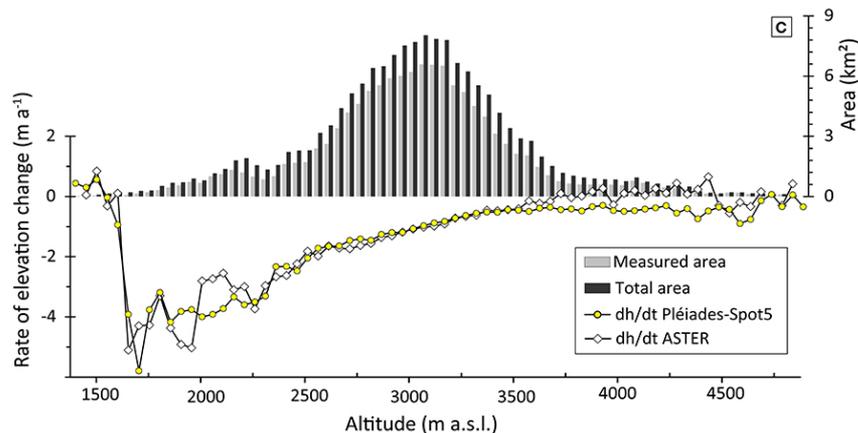


L'imagerie optique stéréoscopique pour étudier les mouvements verticaux

Berthier et al. (2016)

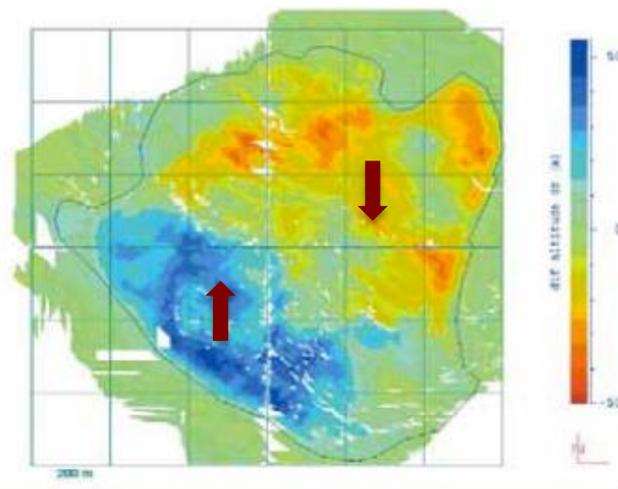
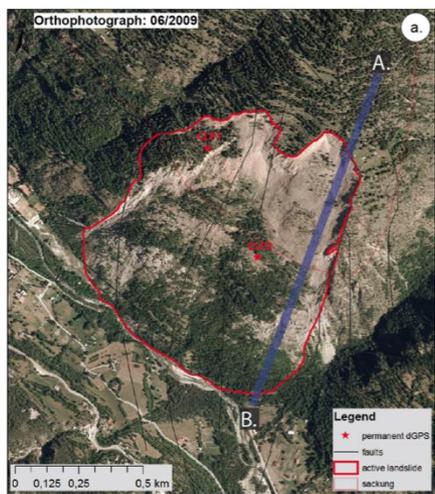


Application : Taux d'ablation de glaciers par altitudes
Massif du Mont Blanc, Période 2000-2014



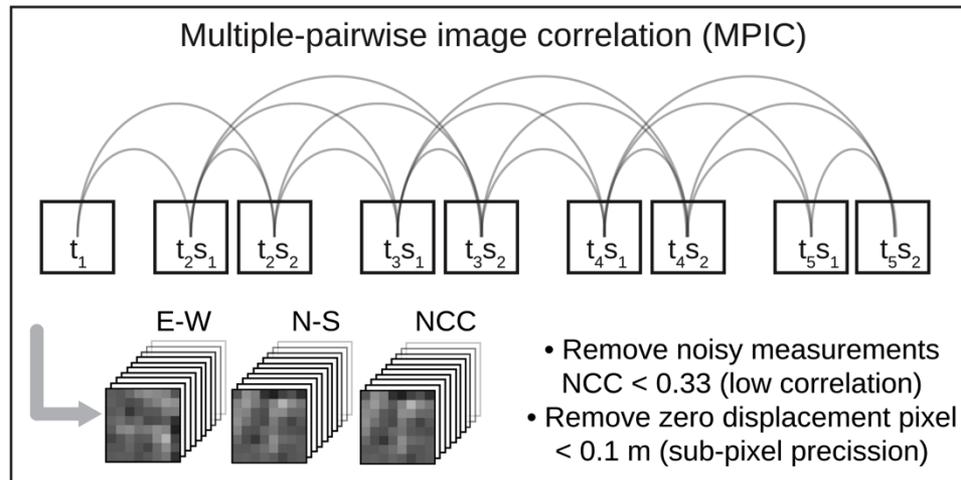
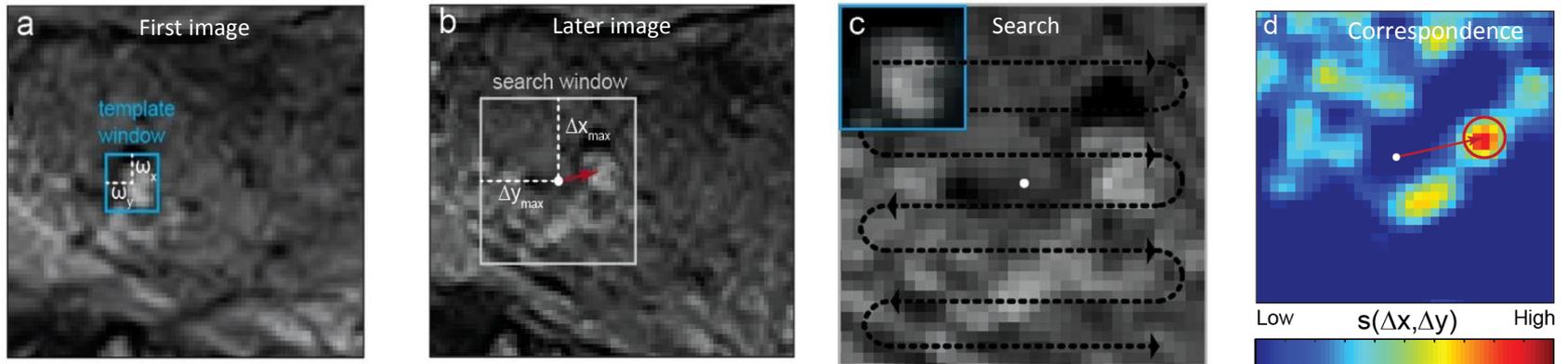
Application : Mouvements verticaux de glissements de terrain
La Clapière – 1995-2010

Schlögel et al. (2016)



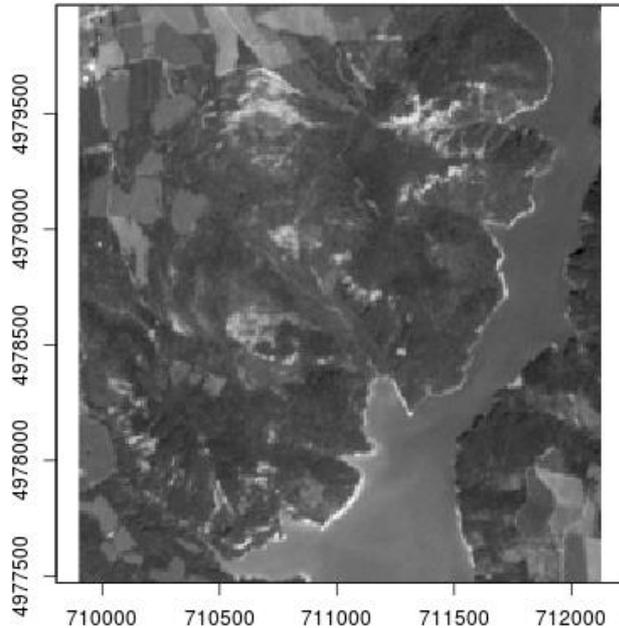
Les séries temporelles optique pour étudier les mouvements horizontaux

Techniques de corrélation d'images entre deux ou n dates



Les séries temporelles optique pour étudier les mouvements horizontaux

Harmalière landslide 2016-06-24

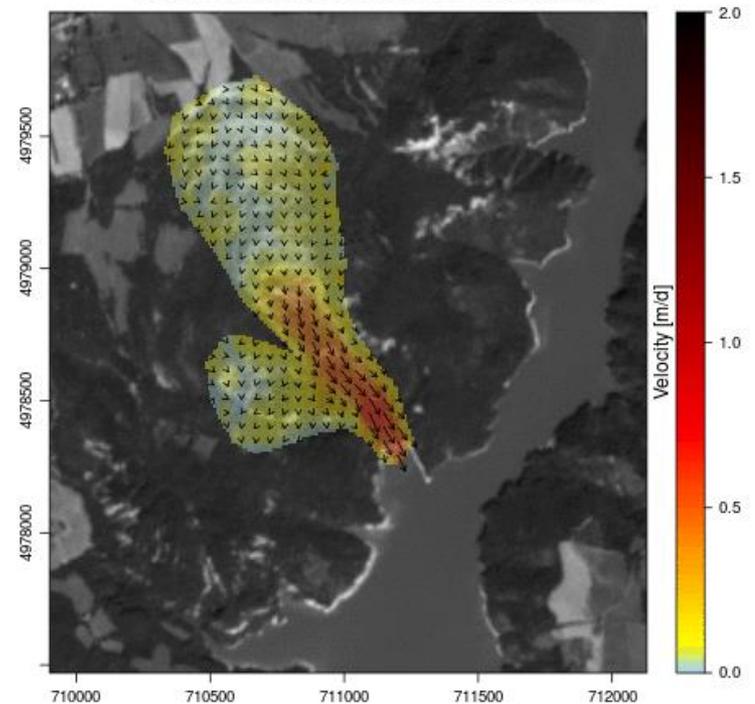


MPIC of 6 S2 images (12 pairs):

- 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

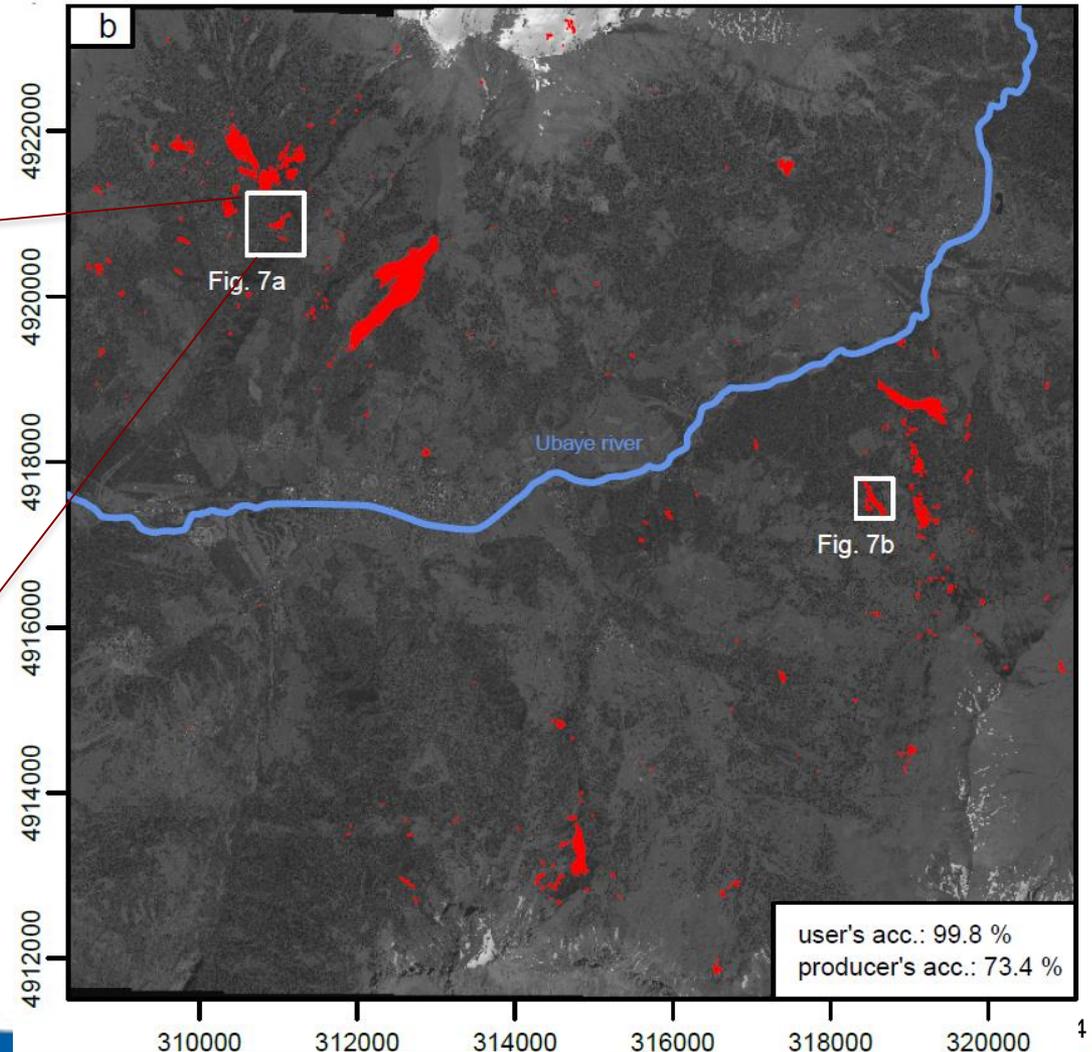
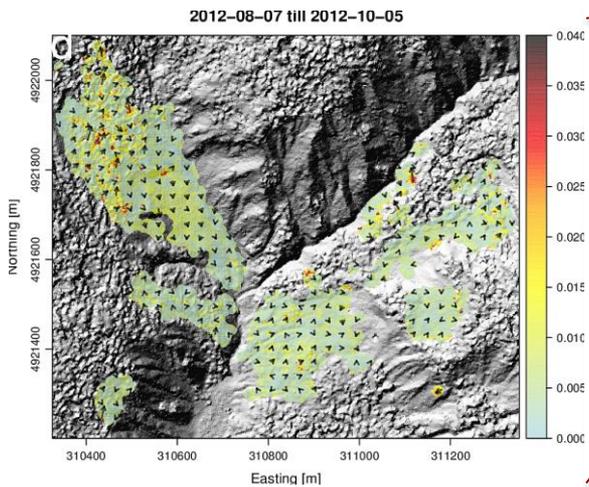
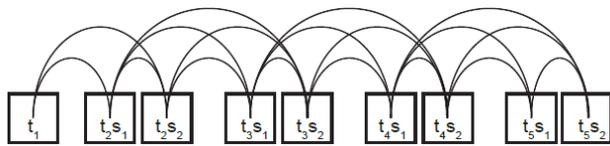


Stumpf et al. (2016)



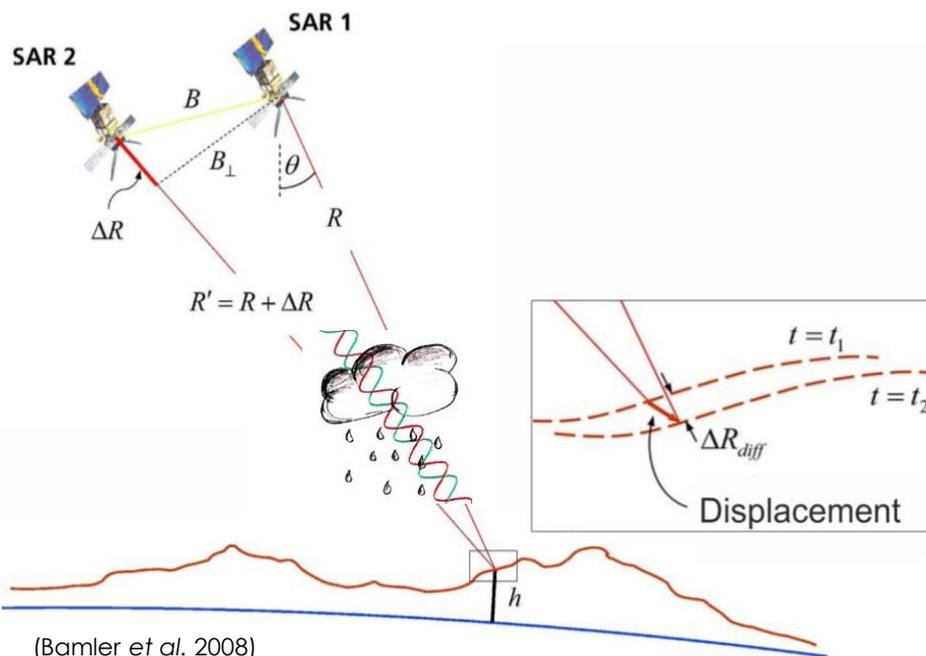
Les séries temporelles optique pour étudier les mouvements horizontaux

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 $\Delta\varphi \propto \Delta R$

Signal affecté par plusieurs effets :

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

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

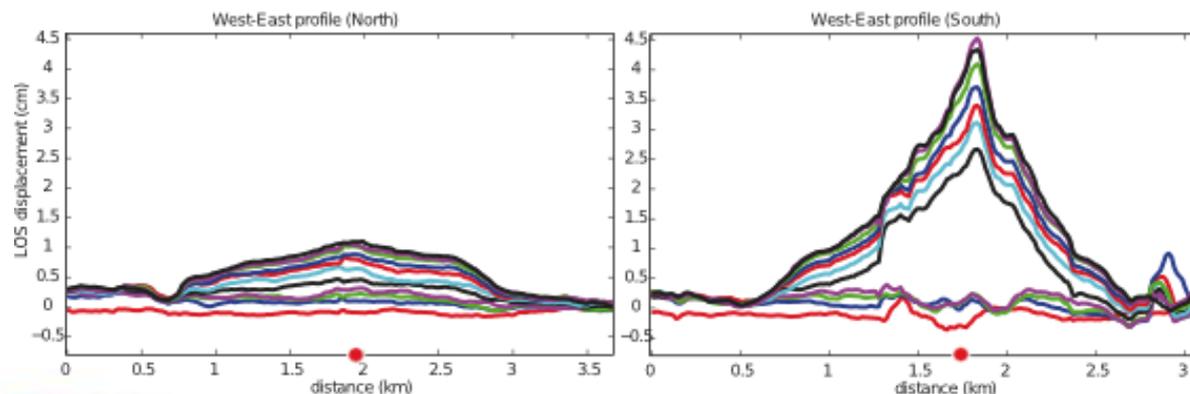
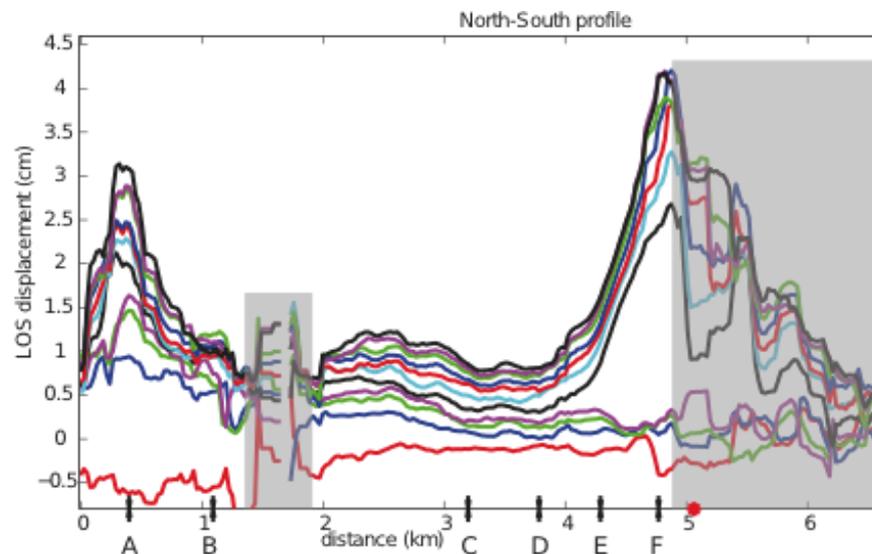
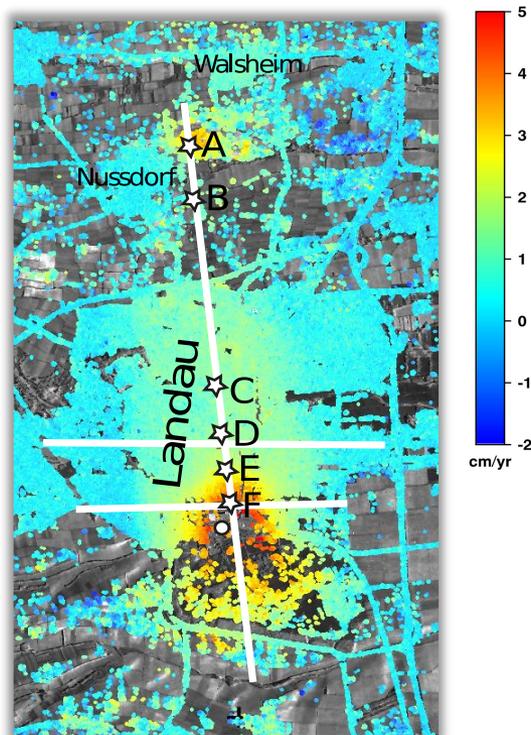
Technique sujette à dé-corrélation temporelle et à des mesures selon ligne de visée

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)

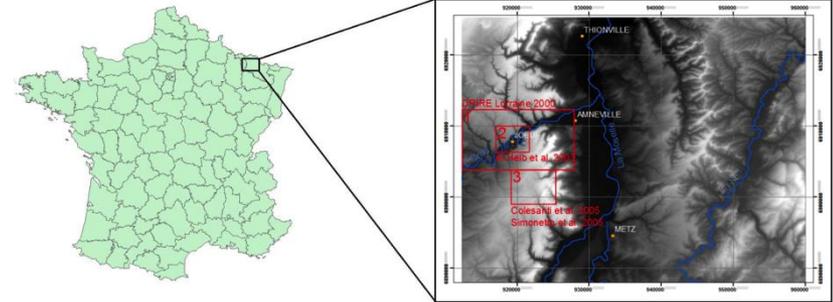
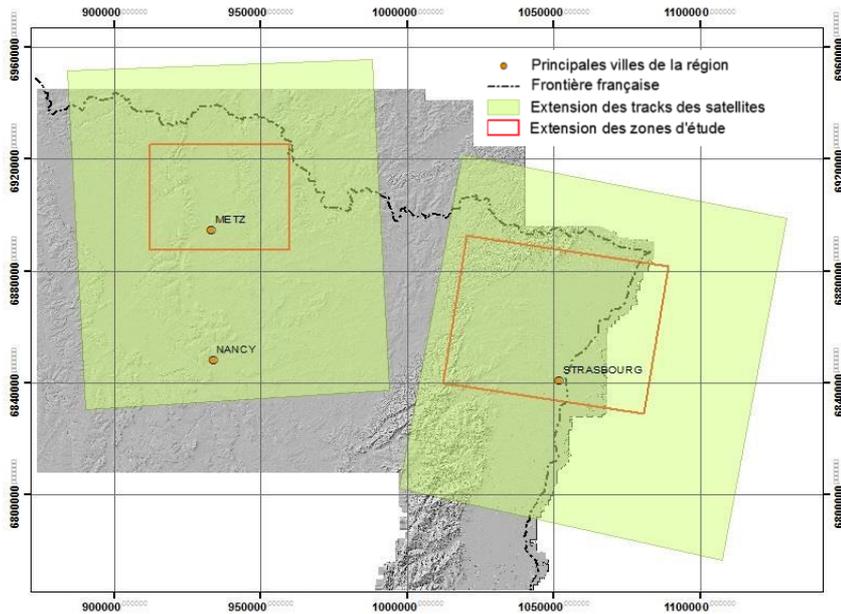


Réflecteurs Permanents
(Persistent Scatterers, PS / StaMPS)

L'imagerie radar pour étudier les mouvements horizontaux et verticaux

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

(Bornemann, 2015)



Contexte général

- Cours d'eau principaux
- Villes principales
- Etudes précédentes sur la déformation

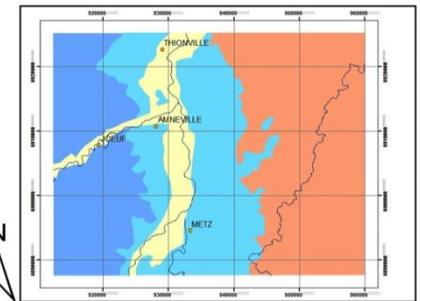
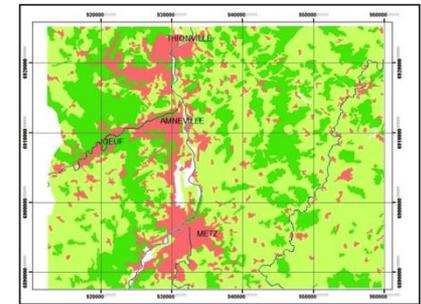
Occupation du sol

- Territoires artificialisés
- Territoires agricoles
- Forêts et milieux semi-naturels

Lithologie simplifiée

- Alluvions sableuses
- Marnes
- Grès
- Calcaire (muschelkalk)

Sources :
MNT : BP TOPO 25 m (IGN)
Cours d'eau : BD CARTHAGE (IGN)
Occupation du sol : BD CORINE Land Cover (Europe)
Lithologie : carte lithologique simplifiée 1/1000000
carte géologique vecteur 1/50000 (BRGM)

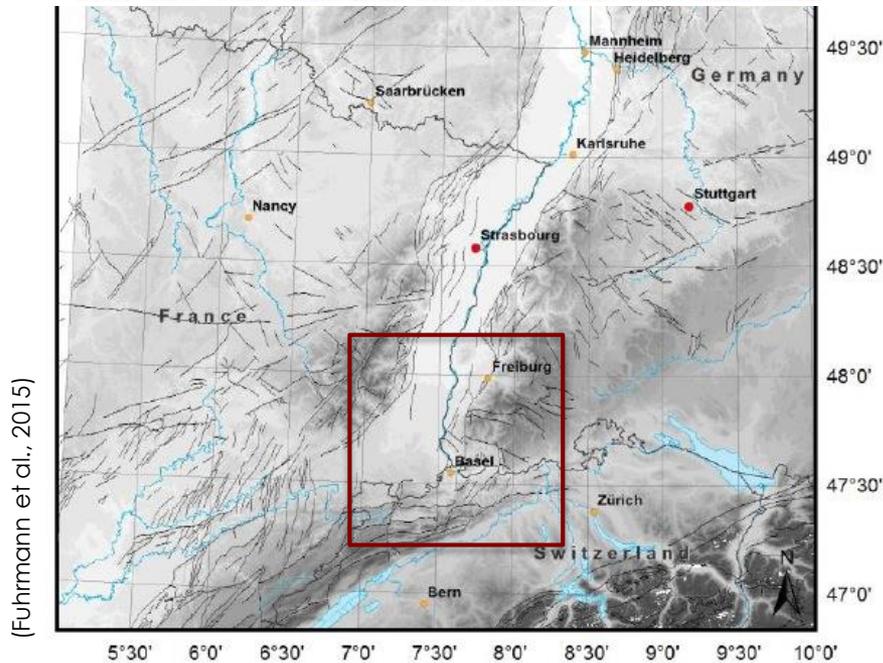
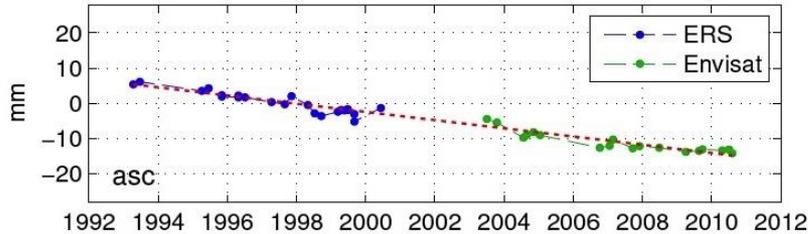


Fossé Rhénan : 33 images
du 12/07/2004 au 08/12/2008
Lorraine : 17 images
du 29/11/2004 au 06/08/2008

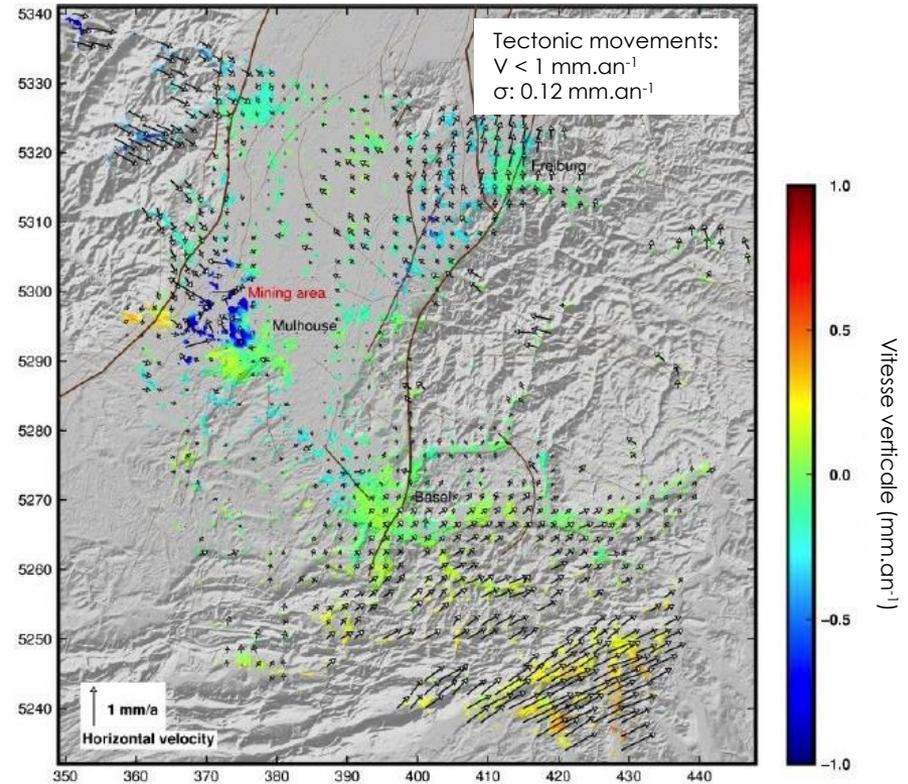
Mode image
Capteur ASAR
Répétitivité : 35 jours
Orbites : VOR (ESA – TUD)

L'imagerie radar pour étudier les mouvements horizontaux et verticaux

Application : Déformation du Fossé Rhénan



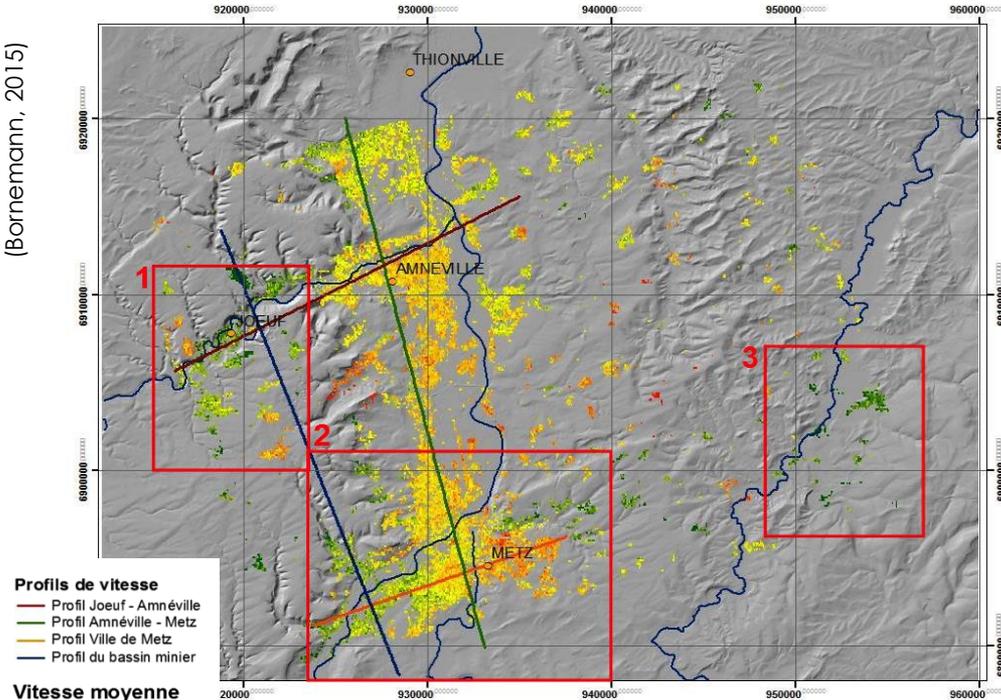
(Fuhrmann et al., 2015)



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

L'imagerie radar pour étudier les mouvements horizontaux et verticaux

(Bornemann, 2015)

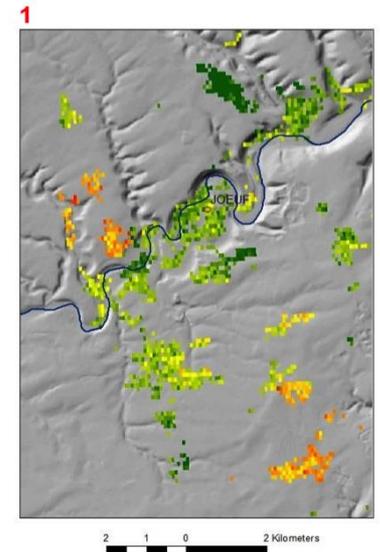
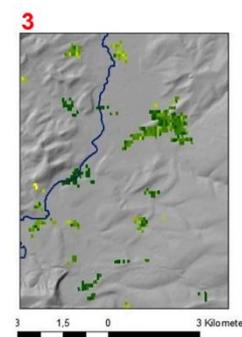
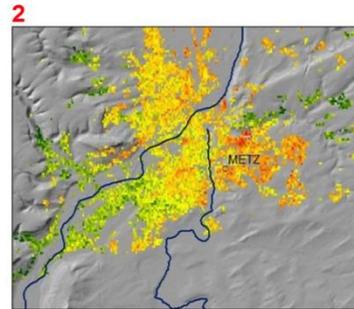
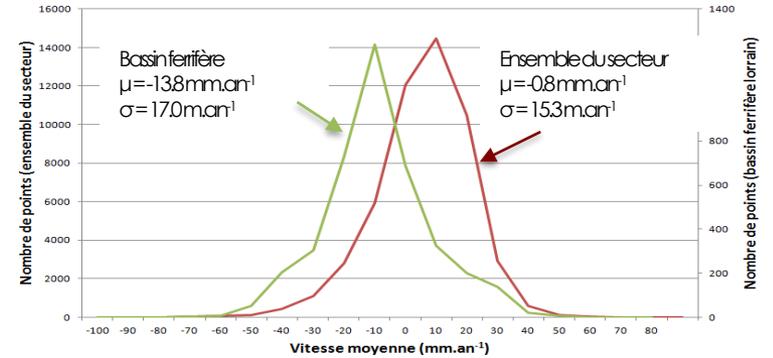


Vitesse moyenne du sol LOS (mm/an)

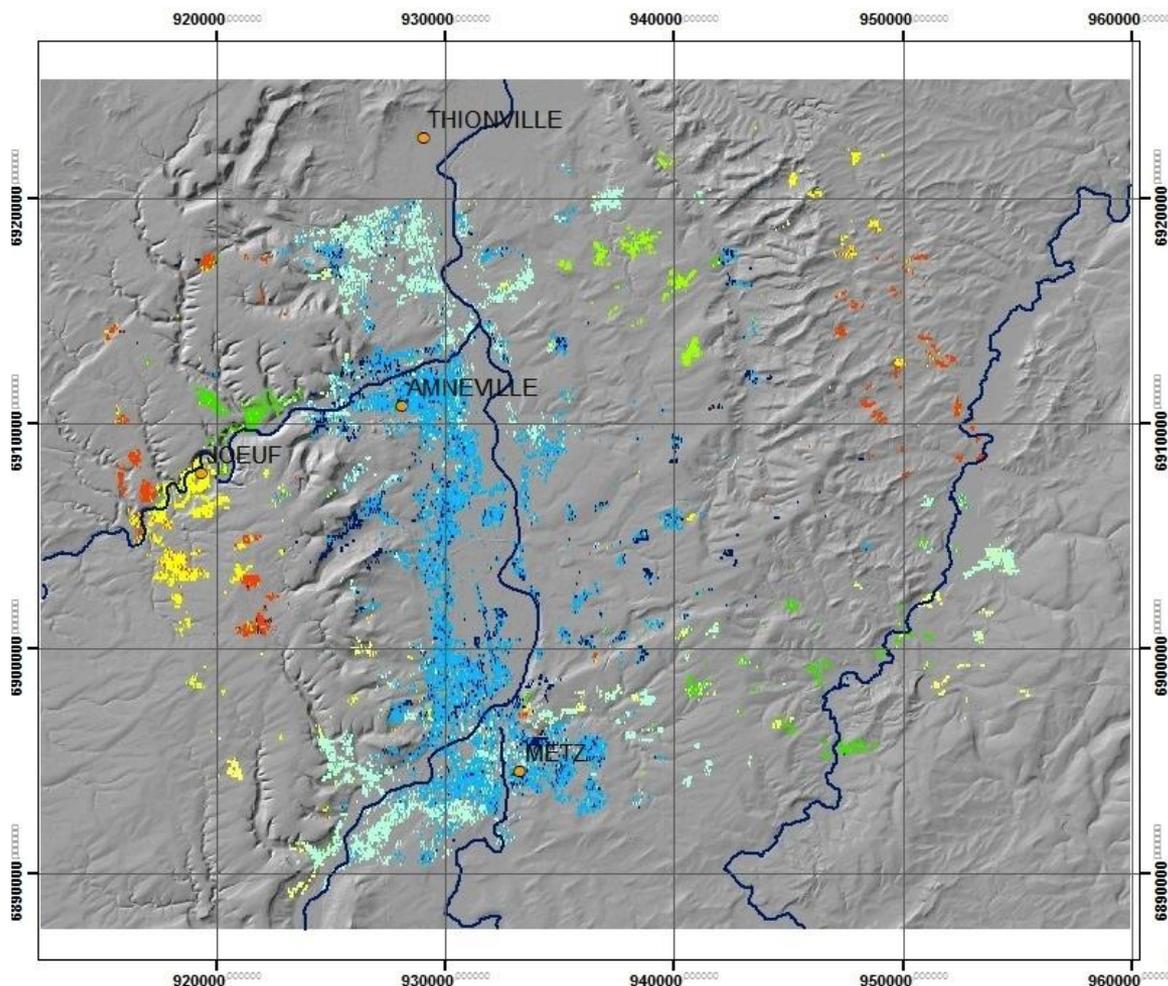


Réflecteurs Permanents 2008-2010
(Persistent Scatterers, PS / StaMPS)
Distribution des vitesses moyennes

Application : Déformation du bassin ferrifère lorrain



L'imagerie radar pour étudier les mouvements horizontaux et verticaux



Application : Déformation du bassin ferrifère lorrain

Évolution temporelle instable

- Instable et forte subsidence générale
- Instable et subsidence générale
- Instable et surrection générale

Évolution temporelle stable

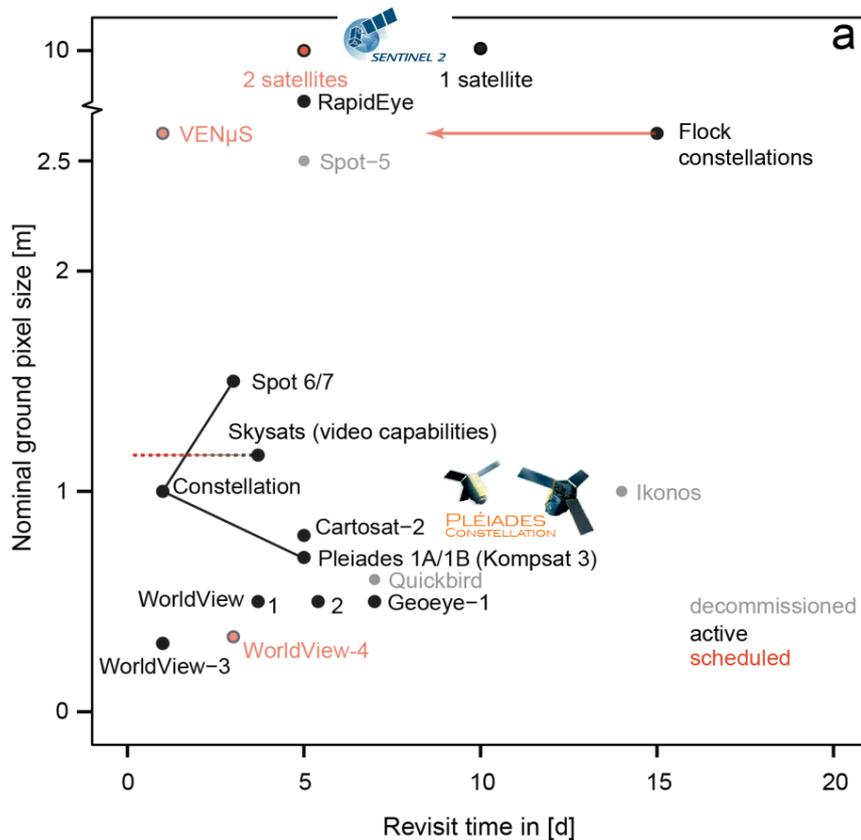
- Stable et subsidence générale
- Stable et surrection générale
- Stable et forte surrection générale

Autre évolution temporelle

- Autre - forte subsidence générale
- Autre - subsidence générale

Groupes de points avec une évolution temporelle comparable

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