

# Quelques exemples de suivi de déformation de surface par interférométrie radar différentielle et sur diffuseurs permanents

FRUNEAU Bénédicte, DEFFONTAINES Benoît, GUEGUEN Yann, MAGALHAES Samuel, RUDANT Jean-Paul

Laboratoire Géo matériaux et Géologie de l'Ingénieur, Université Paris-Est Marne-la-Vallée, 5 bd Descartes, 77454 Marne-la-Vallée, France – courriel : fruneau@univ-mlv.fr

Mots-clés : déformations de surface, affaissements, Paris, Nord/Pas-de-Calais, bassin carbonifère, interférométrie différentielle, interférométrie sur diffuseurs permanents, DINSAR, PSI.

L'interférométrie radar satellitaire appliquée à la mesure des déplacements du sol est une technique inégalée en terme de performances combinées de densité, de couverture spatio-temporelle et de précision de la mesure (Hanssen, 2001). L'interférométrie différentielle (DINSAR) est ainsi utilisée depuis de nombreuses années pour un grand nombre d'applications géophysiques (Massonnet et Feigl, 1998), notamment l'étude des cycles sismiques, des déplacements de glaciers, des déformations de volcans actifs, des glissements de terrain. Plusieurs études ont également montré sa capacité à détecter et cartographier des affaissements du sol, pour la plupart anthropiques, liés à des extractions de fluides (gaz, pétrole, eau..) ou à une activité minière.

Cette technique requiert l'utilisation d'images de radar à synthèse d'ouverture acquises sur une même zone à différentes dates, qui sont combinées par deux pour construire des cartes de déformations. Elle est cependant soumise à quelques conditions d'utilisation. Une première limitation est la perte de cohérence, liée aux modifications de l'état de surface entre les deux acquisitions d'images radar, qui doit rester faible pour avoir des interférogrammes exploitables, et donc une mesure fiable. Les artefacts atmosphériques, introduits par les variations de l'atmosphère entre les deux acquisitions, viennent également perturber la mesure des déplacements.

La technique interférométrique sur diffuseurs permanents (PSI - Persistent Scatterer Interferometry), introduite depuis quelques années par une équipe italienne du Polimi (Ferretti et al., 2000, 2001), a été développée pour palier les limitations de l'interférométrie différentielle. Elle est basée sur la sélection de points particuliers (PS) dont la réponse radar est suffisamment forte sur tout le jeu de données. L'avantage de cette technique est de séparer plus finement l'information de déplacement des autres contributions indésirables (effets atmosphériques, artefacts topographiques et orbitaux) : la précision de la mesure s'en trouve ainsi nettement améliorée. Les mesures de déplacements se font sur les PS, dont on peut suivre l'évolution dans le temps. L'interférométrie PS, développée depuis par d'autres équipes (Arnaud, 2004, Kampes, 2006) rencontre un succès incontestable en zones urbaines, pour lesquelles la densité de PS est élevée.

Nous présentons plusieurs exemples de suivi de déformation de surface par interférométrie radar, dans divers contextes, notamment en milieu urbain et en contexte minier.

Sur la zone de la Gare Saint-Lazare (Paris, France), l'interférométrie différentielle a ainsi été testée avec succès (Fruneau et Sarti, 2000 ; Fruneau et al, 2005, 2004). Ce secteur a fait l'objet d'importants pompages, nécessaires lors des travaux de réalisation de la gare souterraine "Haussmann-Saint-Lazare" du RER Eole, et qui ont entraîné un tassement des terrains sus-jacents. Grâce à l'interférométrie différentielle, nous avons pu suivre les trois phases principales des déplacements verticaux sur la zone, phases directement liées à l'activité des pompages : une subsidence au début des pompages, une période de stabilité

durant les pompages et les travaux de construction, enfin une remontée des terrains due à l'arrêt des pompages. Nous avons pu également déterminer l'étendue spatiale et l'ampleur des phénomènes, et comparer les résultats obtenus avec diverses données piézométriques et de nivellement disponibles.

Dans le bassin minier Nord/Pas-de-Calais (France), les extractions minières se sont terminées en 1990, après une période de 270 années d'exploitation. Il est bien connu que l'extraction des ressources houillères entraîne un déséquilibre des structures géologiques se traduisant en surface par des affaissements. Si la plus grande partie des affaissements se produit lors de l'extraction, une subsidence résiduelle peut perdurer durant une période plus ou moins longue après l'arrêt des exploitations. Dans ce contexte, nous avons utilisé les méthodes interférométriques radar afin d'apporter un outil de qualité pour caractériser et quantifier les mouvements de surface sur une période de 15 ans (1992 à 2007) après la fin des exploitations (Guéguen, 2007). Nos résultats montrent une bonne détection et quantification des déformations qui présentent des amplitudes faibles, avec une vitesse maximum de 1 cm/an durant les 5 à 7 ans après la fin de l'exploitation. Ces résultats concordent avec les ordres de grandeurs des déplacements connus et apportent des informations nouvelles sur la forme et l'étendue des cuvettes d'affaissements d'origines minières. La mise en évidence d'autres phénomènes pouvant entraîner des mouvements du même ordre de grandeur a également été menée et en a permis une meilleure prise en compte dans l'étude des mouvements de surface dans le bassin Nord/Pas-de-Calais.

## Bibliographie

- ARNAUD, A., CLOSA, J. HANSEN, R., ADAM, N., EINEDER, M., INGLADA, J. FITOUSSI, G., KAMPES, B. , 2004, Development of algorithms for the exploitation of ERS-Envisat using the stable point network, Tech. Rep. ESA Contract 16702/02/I-LG, Altamira Information, Barcelona, Spain
- FERRETTI, A., PRATI, C. and ROCCA, F., 2001, Permanent Scatterers in SAR Interferometry, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **39**, 8-20
- FERRETTI, A., PRATI, C. and ROCCA, F., 2000, Nonlinear Subsidence Rate Estimation Using Permanent Scatterers in Differential SAR Interferometry, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **38**, 2002-2012.
- FRUNEAU B., DEFFONTAINES B., RUDANT J-P. and LE PARMENTIER A-M., 2005, Monitoring vertical deformation due to water pumping in the city of Paris (France) with differential interferometry. *Comptes Rendus Geosciences*, Volume **337**, Issue 13,1173-1183.
- FRUNEAU, B., DEFFONTAINES, B., PRUNIER-LEPARMENTIER, A.M., ET RUDANT, J.-P., 2004, Suivi des déplacements verticaux par interférométrie radar : exemple de la gare Haussmann-Saint-Lazare (Paris), *Revue Française de Géotechnique*, vol. 106-107,103-110.
- FRUNEAU B., SARTI F., 2000, Detection of ground subsidence in the city of Paris using radar interferometry: isolation of deformation from atmospheric artifacts using correlation, *Geophysical Research Letters*, vol. 27, 24, 3981-3984.
- GUEGUEN Y., 2007, Etude des mouvements de surface en environnement minier à partir d'interférométrie radar et identification des origines des déformations - L'exemple du bassin Nord/Pas-de-Calais, Thèse de l'Université Paris-Est Marne-la-Vallée.
- HANSEN, R. F., 2001, *Radar interferometry : Data interpretation and error analysis*, Springer Verlag edition.
- KAMPES, B.M., 2006, *Radar interferometry : Persistent Scatterer technique*, Springer.
- D. MASSONNET and K. FEIGL, 1998, Radar interferometry and its application to changes in the Earth's surface. *Rev. Geophys.*, **36**(4), 441-500.