

Techniques innovatrices d'interférométrie radar pour la surveillance opérationnelle de déformation des sols par rapport à des risques géologiques

Anne Urdiroz¹, Fifamè Nadège Koudogbo¹, Jean-Luc Gibert², Bruno Marsaud³

¹Altamira Information, 8-10 rue Hermès, F-31520 Ramonville Saint-Agne

²Régie des eaux et de l'assainissement - 58 av Victor Hugo – F-40100 Dax

³ANTEA Ouest-Sud-Ouest – Parc Technologique Europarc – 19 av Léonard de Vinci – F-33600 Pessac

1. Introduction

La Ville de Dax est une station touristique et thermale dont l'activité repose sur la présence de ressources thermo-minérales abondantes générées par un contexte géologique et hydrogéologique particulier. En effet, la cité dacquoise est bâtie au-dessus d'un diapir de sel, vraisemblablement encore actif, dont le périmètre d'émergence peut présenter des risques particuliers d'instabilité. La présence du diapir a d'autre part donné lieu, dans la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle, à une extraction minière du sel, sur un site implanté en ville. Cette mine a connu des épisodes successifs d'effondrements, depuis son abandon, phénomènes qui ont perduré jusqu'à une date récente, rendant la zone concernée interdite à tout aménagement. D'autres sites miniers ont été exploités au XX^{ème} siècle sur le territoire communal, conduisant à des restrictions d'usage du sol pénalisantes.

L'appel à projet du CNES lancé en 2009 a été l'occasion, pour Altamira Information, société experte dans la mesure des déformations du sol par interférométrie radar, de proposer cette technique dans la problématique des mouvements du sol. Une étude historique, réalisée en 2010 et basée sur l'utilisation de données satellites acquises entre 2003 et 2010, a permis de démontrer le potentiel de l'interférométrie radar pour une surveillance globale et à long terme du territoire de la ville de Dax. Les déformations mesurées ont été analysées et interprétées au sein d'Antea Group qui possède une large connaissance du contexte géologique de la ville de Dax et des phénomènes locaux en jeu.

Le second volet du projet a été entamé en 2013 ; il vise à conduire une étude de faisabilité dont l'objectif est de démontrer l'apport des missions satellite Haute Résolution pour améliorer la densité de points de mesures nécessaire à la gestion patrimoniale visée par la ville de Dax.

2. Contexte de l'étude

2.1 La zone d'intérêt

La zone d'étude est la ville de Dax, située dans le département des Landes en France. La Régie des Eaux qui est l'utilisateur du service et agit pour le compte de la ville de Dax, a identifié différents secteurs affectés par des phénomènes de subsidence/surrection qui entraînent des désordres. Ces secteurs sont identifiables sur la Figure 1.

- Quartier du Sablar dont digues de protection, voie ferrée et collecteur principal d'assainissement;
- Les ouvrages de protection contre les crues
- Centre-ville dont la place des Salines, l'immeuble Biraben et les immeubles ou constructions (remparts) qui l'entourent, l'emprise du collecteur de ceinture de la vieille ville ;
- L'emprise du collecteur principal des quartiers Saint-Pierre et du Gond ;
- L'emprise des anciennes mines du Boudigot et de Lescourre,

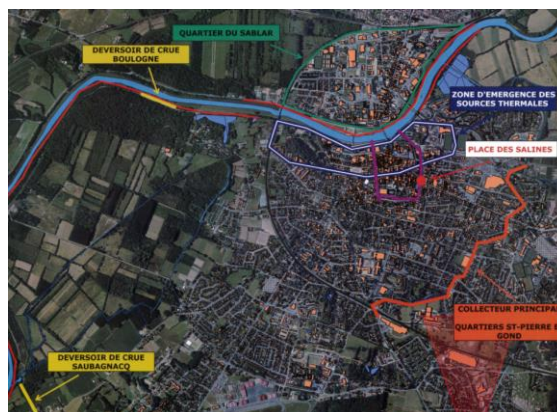


Figure 1 : Localisation géographique des secteurs d'intérêt

2.2 Méthodologie de la mesure de mouvement du sol

L'interférométrie radar (InSAR pour *Interferometry SAR*) consiste à mesurer des variations de distance entre le satellite et le sol lors de passages successifs au-dessus d'une même zone. En analysant l'évolution de la distance entre le capteur et un point au sol au fil du temps, la technologie InSAR permet de dériver une information très précise sur la topographie de la scène et sur les mouvements du sol.

La chaîne interférométrique SPN (Stable Point Network ou Réseau de Points stables) a été développée par Altamira Information [1] et fait l'objet d'une certification par l'ESA dans le cadre du programme TerraFirma [2]. Cette technique, basée sur des traitements statistiques itératifs, requiert une grande quantité d'images (14 à 25 au minimum en fonction des missions satellite). L'algorithme SPN identifie les cibles qui diffusent le signal radar vers le satellite d'une manière nette et constante (en raison de leurs caractéristiques géométriques et

diélectriques) et qui sont communes à toutes les images (réflecteurs persistants ou *Persistent Scatterers* en anglais). La mesure des mouvements de terrain (en chaque réflecteur persistant) est alors dérivée de la comparaison de l'information de phase fournie par chaque image durant la période d'étude.

Le résultat du traitement est une carte de déformation de surface qui indique pour chaque point de mesure la déformation moyenne sur la période d'analyse. Un profil montrant l'évolution temporelle du mouvement de chaque point de mesure est aussi fourni. Il est à noter que plus le nombre d'images disponibles est grand, meilleure sera la qualité finale du produit en terme de nombre de points de mesure et de précision.

La grande variété de systèmes satellitaires scientifiques et commerciaux permet, pour un site d'intérêt donné, de sélectionner la mission satellite la plus adéquate en fonction de l'application concernée, de la nature du site, de l'archive d'images disponible, etc.... L'étude historique réalisée en 2010 à partir de l'archive de données ENVISAT ASAR a ainsi permis de montrer le potentiel de la technologie InSAR pour une étude globale des déformations du sol affectant la ville de Dax. Les résultats obtenus ont été publiés dans le cadre des applications spatiales, Toulouse Space Show 2012, [3]. La deuxième phase de l'étude, a été entamée en 2013 et est basée sur l'utilisation de données Haute Résolution. Les résultats obtenus sont présentés en détail dans ce qui suit.

3. Analyse des mouvements du sol à partir de données Haute Résolution

3.1 Jeu de données satellitaires COSMO-SkyMed

Les données ont été acquises par COSMO-SkyMed, constellation de satellites de dernière génération opérant en Bande-X [4]. La résolution spatiale de 3 m est nettement supérieure à celle de la mission ENVISAT considérée pour l'étude historique [3], permettant d'obtenir une plus grande densité de points de mesure en zone urbaine et une plus grande sensibilité à la mesure de mouvements de terrain.

La distribution temporelle des images utilisées est schématisée par la Figure 2.



Les caractéristiques et précisions des traitements SPN réalisés sont reportées dans le Tableau 1 ; les résultats obtenus lors de l'étude historique sont fournis à titre indicatif. Dans le cas présent, l'usage de la bande X a permis d'augmenter la résolution spatiale et la précision planimétrique de la mesure. Le nombre restreint d'images prises en compte n'a cependant pas permis d'obtenir des résultats optimaux, l'usage de la bande X pouvant permettre en zone urbaine d'obtenir une précision absolue de la mesure oscillant entre 2 et 3 mm.

Mission	Résolution spatiale	Précision de la localisation planimétrique	Précision absolue de déformation
COSMO-SkyMed	3 m	1-3 m	6 mm
ENVISAT ASAR	40 m	3-5 m	5 mm

Tableau 1 : Précision de la mesure de déplacement

3.2 Présentation générale des cartes de mouvement du sol

Le déplacement cumulé sur la période de 6 mois s'étendant de mai à novembre 2011 est présenté sur la Figure 3. Les différents points de couleur correspondent aux réflecteurs persistants (§2.2). La zone d'intérêt étant essentiellement urbaine à l'exception des digues de l'Adour, ces cibles correspondent aux habitations, infrastructures ou sols nus qui n'auront pas subi de transformation durant la période d'analyse ; peu de points de mesure sont détectés dans les zones agricoles. L'information sur la déformation cumulée est donnée en mm à partir de l'échelle variant du rouge au bleu, suivant l'orientation et l'intensité du mouvement. Le point de référence de la mesure de mouvement est directement sélectionné lors du traitement ; c'est un point de mesure de très bonne qualité, situé dans une région détectée comme stable.

La Figure 4 montre les résultats de l'étude historique réalisée en 2010 à partir de données bande C ENVISAT ASAR. La longue période d'analyse avait permis de calculer le taux de déplacement moyen (en mm/an) et de mettre en évidence des zones de mouvement. La figure 3 témoigne de l'augmentation de la densité de points de mesure qui est clairement visible sur l'ensemble du bâti et du réseau d'infrastructures.

Le Tableau 3 donne une moyenne des performances des traitements SPN réalisés. L'utilisation de données Haute Résolution a permis de pratiquement tripler le nombre de points de mesure, même dans ce cas limite de traitement où un nombre restreint d'images COSMO-SkyMed était à disposition.

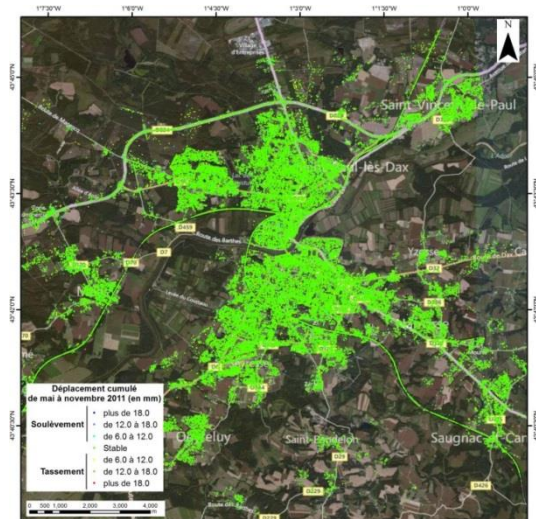


Figure 3 : Carte de déplacement cumulé générée à partir de l'étude de données COSMO-SkyMed

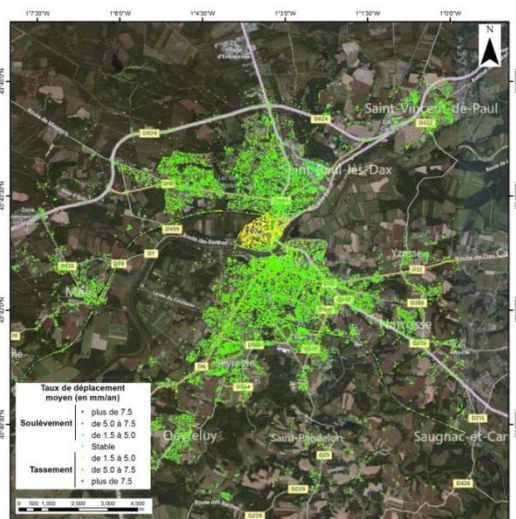


Figure 4 : Carte de déplacement générée à partir de l'étude de données ENVISAT ASAR

Mission	Période de l'étude	Nombre d'images	Nombre de réflecteurs
COSMO-SkyMed	Mai - Novembre 2011	14	133147
ENVISAT ASAR	Mai 2003-Avril 2010	33	56 248

Tableau 2 : Performances des traitements SPN

3.3 Analyse des déplacements observés

Comme attendu sur une si courte période de temps, aucune zone de mouvement n'a été détectée. Dans ce paragraphe, certains secteurs d'intérêt sont analysés de manière plus détaillée afin de mettre en évidence les avantages des données Haute Résolution.

3.3.1 Place des Salines

Des effondrements avaient été constatés, principalement en 1924, dans les années 1950 et une dernière réplique en 1979 sur cette place située au-dessus d'une ancienne mine. En raison de la magnitude du phénomène, l'édifice Biraben, bordant la Place des Salines a été décrété en péril depuis 1979. Les résultats obtenus lors de l'étude historique ont prouvé le contexte stable de l'édifice et bâtiments voisins, permettant de reconsidérer cette immobilisation importante de patrimoine.

La Figure 5a) montre la carte de déplacement cumulé dans le centre de la ville de Dax. La Place des Salines sur laquelle est localisé l'édifice Biraben est indiquée par un rectangle orange. Une dizaine de points de mesure ont été en particulier détectés sur cet édifice, pour lequel on ne disposait que de 4 points lors de l'étude historique (Figure 5b)). Des séries temporelles des points de mesure indiqués par leur code sur la Figure 5a) sont tracés sur le graphe de la Figure 6. Comme attendu, aucun mouvement notable du bâtiment sur les 6 mois de la période d'analyse n'est détecté.

3.3.2 Quartier Sablar

Un agrandissement de la carte de déformation au niveau du Quartier Sablar est présenté sur la Figure 7a). La densité de points de mesure détectée peut être également comparée aux résultats de l'étude historique (Figure 7b)). En effet, 11691 points (42 points/Km²) avaient été détectés sur le quartier du Sablar lors de cette dernière ; ce nombre a maintenant doublé et s'élève à 21972 (79 points/Km²).

Ici aussi, comme attendu, aucun mouvement à grande échelle n'est détecté sur les 6 mois, alors que l'étude historique sur 7 ans avait permis de mettre en évidence une subsidence généralisée au niveau de ce quartier. Cette subsidence a été mise en relation, par Antea, avec le contexte géotechnique (tassement des horizons vaseux à tourbeux) de ce secteur d'intérêt.

4. Conclusion

Les avantages de l'utilisation de données Haute Résolution en termes de densité de points de mesure ont pu être mis en évidence ; le nombre de réflecteurs persistants ayant pratiquement triplé par rapport à l'étude historique réalisée en 2010 et ce malgré le nombre restreint d'images considéré. Ces premiers résultats très prometteurs permettent d'envisager l'interférométrie radar comme outil opérationnel d'aide à la décision dans la gestion du territoire et surveillance des risques.

La seconde phase de cette étude est actuellement en cours, un nombre plus important d'images Haute Résolution couvrant la période 2012-2013 sera analysé afin d'évaluer les performances obtenues en termes de densité de points, capacité de détection des bâtiments, ouvrages affectés par des mouvements et mise en évidence de gradients de déformation ; Enfin, un réseau de coins réflecteurs artificiels installé en avril 2013 sur la place des Salines permettra d'évaluer la concomitance des mesures de mouvement obtenues d'une part

par l'interférométrie radar, d'autre part par le réseau de points nivelés de manière classique sur cette place, opération engagée par la DREAL Aquitaine et la ville de Dax. De plus amples informations seront données lors de la conférence sur ce dispositif qui permet de garantir des points de mesure sur des sites où l'on ne dispose pas de points de mesure stables du fait de la présence de végétation.

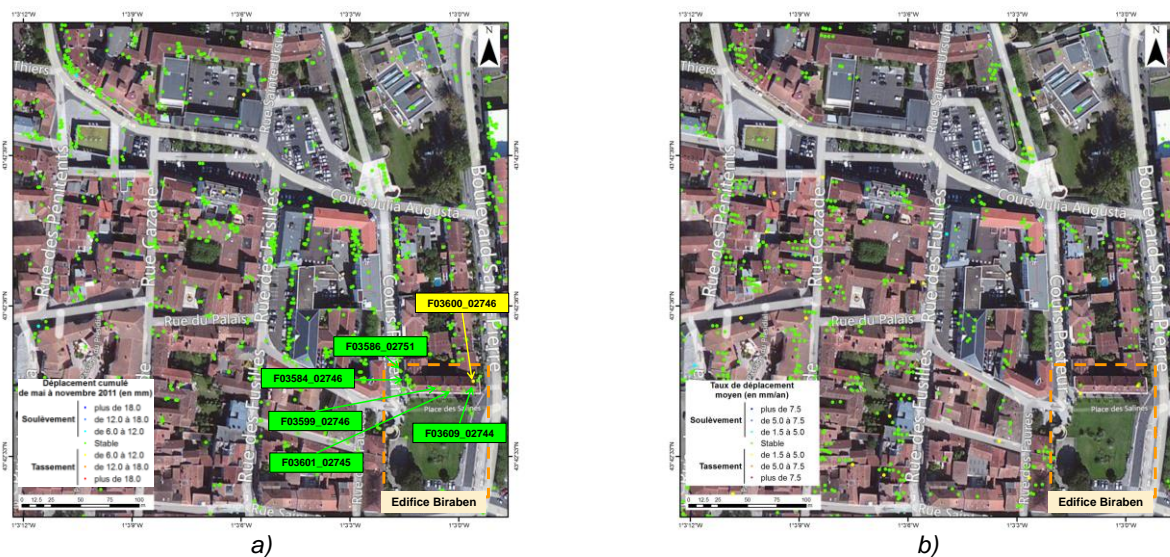


Figure 5 : Secteur de la Place des Salines : a) Déplacement cumulé entre mai et nov.2011 et b) Taux de déplacement moyen (étude historique 2003-2010) - Microsoft® Bing™ Maps collection pour l'image d'arrière-plan

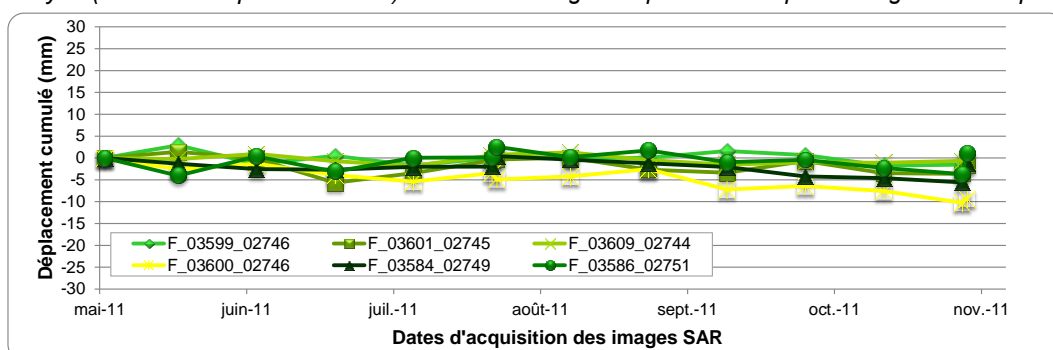


Figure 6 : Séries temporelles de points de mesure localisés sur l'édifice Biraben (Figure 5a)

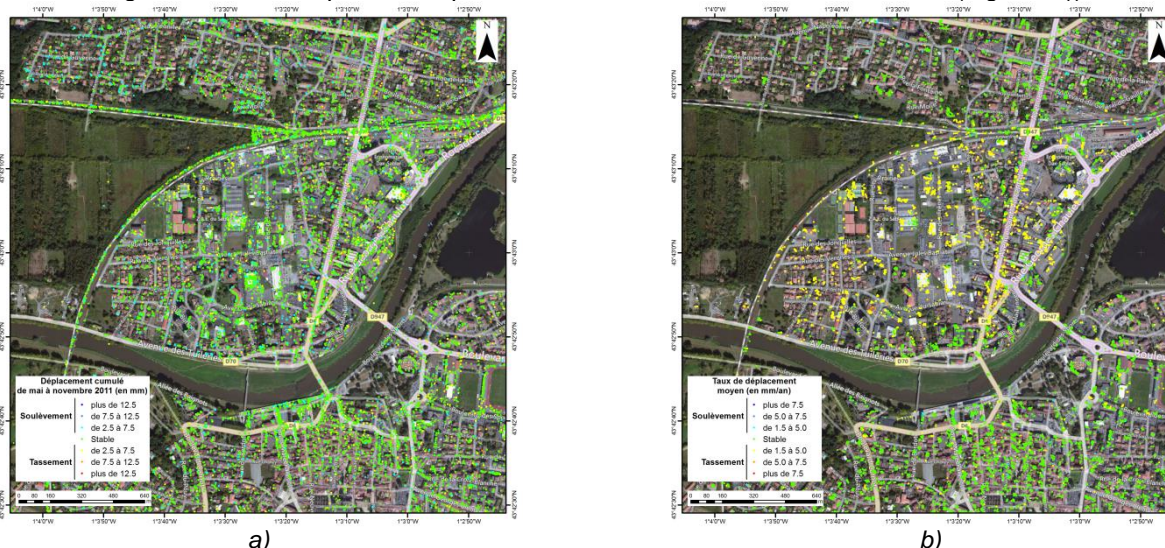


Figure 7 : Secteur du quartier Sablar : a) Déplacement cumulé entre mai et novembre 2011 et b) - Taux de déplacement moyen (étude historique 2003-2010) - Microsoft® Bing™ Maps collection pour l'image d'arrière-plan

Références

- [1] J. Duro, J. Inglada, J. Closa, N. Adam, et A. Arnaud. High resolution differential interferometry using time series of ERS and ENVISAT SAR data. FRINGE 2003, 1-5 Décembre 2003
- [2] N. Adam, A. Parizzi et M. Crosetto. Practical Persistent Scatterer Processing Validation in the Course of the Terrafirma Project. Journal of Applied Geophysics, vol. 69, pp.59-65, 2009
- [3] A. Urdirioz, F.N. Koudogbo, J-L. Gibert et B. Marsaud. L'interférométrie Radar, une technique opérationnelle de mesure des mouvements du sol à l'échelle des territoires. Conférence Space Appli 2012, 25 – 28 Juin 2012
- [4] <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/cosmo-skymed>

Mots clés

Ville de Dax, Interférométrie radar, Satellite Haute Résolution, Mouvement de terrain, gestion du territoire.