

SUBSIDENCE : APPORT DE LA TECHNOLOGIE INSAR

Société d'accueil : FUGRO GEOID SAS
PFE présenté par : Jean-Christophe CUBRY
Directeurs du PFE : M. Claude MICHEL, M. Sylvain LACOMBE
Correcteurs : Mme Tania LANDES, M. Jacques LEDIG



Mots clés : Radar, subsidence, interférométrie, corrélation de mesures, PSI, DifSAR, InSAR

1. Présentation de l'étude

De nos jours, les industriels sont de plus en plus préoccupés par les problèmes d'affaissement du terrain en surface. Ces déformations, définies par subsidence du terrain, se retrouvent sur les zones d'extraction d'hydrocarbures et représentent un risque certain pour l'environnement naturel, les infrastructures et l'homme (glissements de terrain, effondrements...).

Dans le but de proposer une solution globale à cette problématique, la société FUGRO GEOID SAS a démarré un plan de Recherche et Développement en janvier 2009 visant à améliorer ses connaissances en matière de mesures topographiques, géophysiques et géologiques. L'aboutissement de ce projet est prévu pour fin 2011.

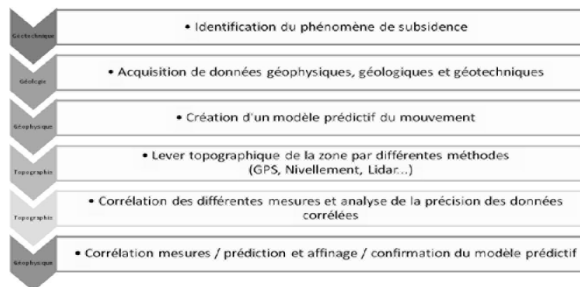


Figure 1 : Organigramme des différentes actions dans l'analyse de la problématique de subsidence

Une première étude (de M. Guillaume KAUTZMANN en 2009) a mis en évidence la complexité du phénomène et l'ensemble des techniques disponibles pour sa mesure.

L'objet de mon travail est de pouvoir comprendre et analyser l'apport de la technologie InSAR à cette problématique.

1. Le site test de Vauvert

a. Présentation

La zone de test se situe sur la commune de Vauvert, sur une saline d'une surface de 160 ha dans le bassin de la Camargue. Plusieurs millions de tonnes de saumure sont extraits chaque année par une entreprise actrice de la chimie mondiale depuis 1973.

Le géologue de la société, a mis en évidence les causes du mouvement :

- un enfouissement naturel du bassin de Camargue lié à la faille de Nîmes,
- un affaissement dû à l'extraction de saumure.

b. Données topographiques disponibles

Données de l'IGN

Ayant conscience de l'affaissement du terrain, la société ARKEMA missionne chaque année l'IGN, depuis 1995, pour réaliser un nivellement direct de précision afin de contrôler la subsidence sur les différentes stations de pompage. Le réseau est constitué d'une maille d'auscultation et d'une maille de stabilité. L'ensemble représente 50 points rattachés au système altimétrique IGN 69.

Données du BRGM

En 2003, une première campagne InSAR a été réalisée par un géologue du BRGM (Bureau des Recherches Géologiques et Minières). Les données issues des satellites ERS-1 et ERS-2 s'échelonnaient de 1993 à 1999. Le traitement DifSAR (Differential InSAR) a permis de quantifier un affaissement du sol de l'ordre de 1,5cm par an au centre d'un bol de subsidence de 6km de diamètre sur l'axe Nord-Sud et 8km sur l'axe Est-Ouest. De plus, il s'est avéré que la maille de stabilité de l'IGN se trouvait à l'intérieur du bol. Par conséquent, depuis 2003, le rattachement du réseau se fait sur des repères de nivellement situés sur la commune de Beauvoisin à plusieurs dizaines de kilomètres de la saline.

Données de FUGRO GEOID SAS

En 2009 deux campagnes d'acquisitions ont été réalisées :

- un vol LiDAR de haute précision,
- une auscultation GPS.

Ces deux campagnes ont constitué un état zéro sur le site. En 2010, une nouvelle campagne de GPS précis est venue compléter les données déjà disponibles pour constituer l'état 1 sur le site.

Désirant connaître l'apport de la technologie InSAR pour la mesure de subsidence, FUGRO GEOID SAS a missionné FUGRO NPA, filiale du groupe FUGRO spécialiste en imagerie satellite pour réaliser deux traitements interférométriques sur ce site. Les traitements DifSAR et PSI (Permanent Scatterers InSAR) ont été générés à partir de données ERS et ENVISAT qui s'échelonnent de 1992 à 2000 et de 2002 à 2009. Les résultats ont permis de caractériser l'affaissement tout en apportant une analyse critique sur les traitements opérés.

3. Analyse des résultats obtenus

a. Traitements DifSAR

Le DifSAR est aujourd'hui une méthode éprouvée dans de nombreux domaines : séismes, subsidence, génération de MNT... Cette technique a pour but de comparer deux acquisitions radar après recalage de l'une sur l'autre pour en déduire un déplacement relatif dans la ligne de visée du satellite avec une précision centimétrique. Sur le site de Vauvert, ce traitement nous a permis de visualiser, suivre et quantifier le bol de subsidence sur l'ensemble de la période d'étude.

b. Traitements PSI

Le PSI est une nouvelle technique en interférométrie radar basée sur la détection de réflecteurs permanents. Grâce à une multitude de données SAR, l'algorithme extrait une information ponctuelle de forte cohérence permettant un calcul millimétrique sur un grand réseau de points (typiquement 20 points/km²). Ce traitement nous permet de caractériser la nature d'un réflecteur permanent sur site en abordant une nouvelle technique employée en imagerie radar.

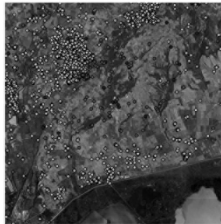


Figure 2 : Résultat DifSAR à gauche et PSI à droite sur le site de Vauvert pour les données ENVISAT

c. Corrélation des données

Il est intéressant de pouvoir corréler différentes observations réalisées pour pouvoir à la fois contrôler les données mais aussi visualiser l'apport de chaque technique pour notre étude.

DifSAR et Nivellement Direct

Compte tenu du peu de réflecteurs permanents (PSI) à proximité des repères de nivellement, il était impossible de comparer le traitement PSI et le nivellement direct. Pour ce qui est du DifSAR, le fort taux de cohérence sur le site a permis de vérifier et de valider l'ensemble des résultats obtenus. Afin de corréler les deux types de mesures, il a fallu interpoler l'ensemble des données mesurées sur la période de recouvrement. Une intégration sur l'outil SIG ArcGIS a permis de réaliser une étude statistique.



Figure 3 : Résultats statistiques obtenus après corrélation DifSAR et Nivellement Direct

Les écarts calculés sont inférieurs au centimètre (précision relative du DifSAR) ce qui représente un excellent résultat pour une première étude.

Les erreurs liées à la corrélation sont principalement dues au fait que les deux systèmes n'observent pas dans le même référentiel : le SAR observe les mouvements dans sa ligne de visée, le nivellement direct fournit des dénivelés verticales dans le système altimétrique IGN69.

DifSAR et GPS

Il est impossible à l'heure actuelle de corréler les données obtenues par GPS précis et les résultats InSAR sur site car nous ne disposons d'aucun recouvrement des données dans le temps. Néanmoins, la comparaison et voire même l'association de ces deux types de mesure semble être un excellent choix pour l'avenir. En effet, le GPS est un système totalement relatif et permet de s'affranchir de bon nombre de mouvements locaux. De plus, l'intégration d'observations GPS à un traitement interférométrique fournirait des points de calages précis pour les données SAR.

4. Perspectives pour l'avenir

a. Analyse de réflecteurs permanents

Le traitement PSI a détecté un certain nombre de réflecteurs sur site. Il était intéressant de se rendre sur le terrain pour analyser à la fois la disparité spatiale et la nature de ces points remarquables. Une première analyse sur Google Earth a mis en évidence le fort taux de détection pour les zones urbaines (environnement réflecteur qui varie très peu dans le temps). Néanmoins, certains points ont été détectés sur des zones au fort couvert végétal. Une reconnaissance sur le terrain a démontré que ces points représentaient des éléments métalliques caractéristiques : pylônes, éoliennes, toitures en amiante...

Il apparaît à l'issue de cette analyse que les éléments métalliques représentent d'excellents réflecteurs pour les ondes radar offrant un écho constant dans le temps permettant ainsi une mesure plus précise du mouvement.

Il serait intéressant pour une prochaine étude de pouvoir classifier la réflectivité radar de différents objets pour prévoir sur de futures campagnes la pertinence d'un traitement PSI après une reconnaissance sur le terrain.

b. Intégration de réflecteurs artificiels

Certains puits d'extraction de saumure sont équipés de passerelles en fer qui ont été parfaitement identifiées par l'algorithme PSI. Ces points fondamentaux sont très intéressants pour notre étude car ils permettent de suivre l'affaissement des infrastructures de l'entreprise Arkema (pompes, forage...).

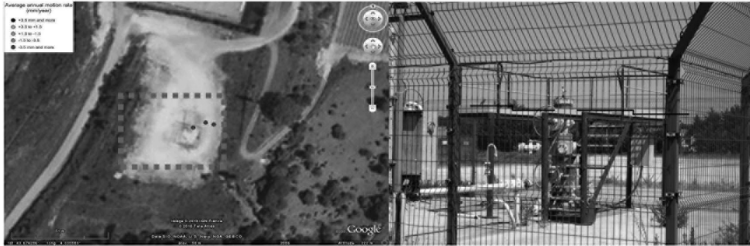


Figure 4 : Forme de « L » détectée par l'algorithme PS (points rouges sur la vue Google Earth) sur le puit LA3

Pour les puits dépourvus de ce type d'éléments, il serait intéressant pour l'avenir d'installer des réflecteurs artificiels afin d'obtenir un ensemble de données permettant de suivre l'évolution du pompage et l'affaissement résultant.

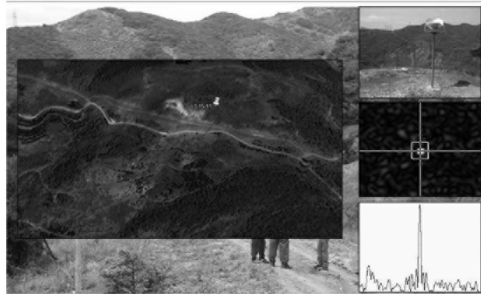


Figure 5 : Illustration d'un réflecteur artificiel (position sur la scène radar et amplitude retournée)

De plus, à l'inverse d'un réflecteur permanent dont la position n'est pas clairement définie sur le terrain, il serait possible de réaliser une campagne GPS sur l'emplacement des réflecteurs artificiels. Cela permettrait à la fois de corrélérer les différentes données tout en assurant un contrôle supplémentaire sur des points fondamentaux.

5. Conclusion

La technologie InSAR est un excellent outil pour mesurer l'affaissement lié au phénomène de subsidence. Elle possède de nombreux avantages comme sa précision, ses grandes zones de couvertures, ou encore son suivi du mouvement dans le temps. Néanmoins, un certain nombre de limitations se posent rapidement comme la cohérence difficile à obtenir sur des zones à fort couvert végétal. Il est intéressant de souligner qu'à partir d'images brutes, diverses solutions et traitements peuvent être proposés. Le traitement PSI aura à terme la capacité de détecter des échos cohérents et cela, même si le DifSAR est inopérant.

Vis-à-vis d'autres types de mesures comme le nivellement direct ou le GPS précis abordés ici, l'InSAR fournit des données indispensables comme la forme du mouvement, ses limites, son sens. Néanmoins, les résultats obtenus sont relatifs et il est très difficile d'obtenir un résultat exploitable en absolu. Nous retiendrons donc que pour proposer une solution complète à la problématique de subsidence, une étude InSAR est indispensable. Elle doit cependant être corrélée avec d'autres types d'observations comme le GPS précis afin de fournir un résultat global dans un système absolu.

TERRITOIRE NUMERIQUE 3D : ELABORATION DE LA MAQUETTE DU TERRITOIRE ANNECIEN

Société d'accueil : Ville d'Annecy
PFE présenté par : **Sylvain Bardin**
Directeur du PFE : M. Alain Noël
Correcteurs : M. Mathieu Koehl
M. Emmanuel Alby



1. Introduction

Forte d'un patrimoine naturel exceptionnel, nichée entre lac et montagnes, la ville d'Annecy, préfecture du département de la Haute-Savoie et ville centre d'une agglomération de 140 415 habitants, est un haut lieu touristique. Souhaitant préserver son image, elle a su mettre en place des outils d'aménagement permettant la préservation des éco-systèmes et des paysages ainsi que le respect des solidarités et de l'épanouissement des annéciens. Ville dynamique, par le nombre d'opérations d'aménagement urbain avec la délivrance de 100 permis de construire annuels, et l'existence de grands projets tels que la création d'un éco-quartier de 700 logements au nord de la commune, elle est également candidate aux Jeux Olympiques d'hiver de 2018. L'enjeu des opérations d'urbanisme menées sur la commune a incité la ville à mettre en place des outils de connaissance du territoire pour l'aménagement urbain. C'est dans ce cadre que s'inscrit la démarche 3D.

Cette dernière a commencé en 2007, notamment avec une convention « Bâti 3D » signée par la communauté d'agglomération d'Annecy (C2A), la Régie de Gestion des Données des Pays de Savoie (RGD 73-74) et l'Institut Géographique National (IGN) portant sur la production de modèles 3D texturés de l'ensemble des bâtiments de l'agglomération. Un an plus tard, la mise à jour, du plan photogrammétrique de la ville d'Annecy, ou Plan Général de la Ville au 1/500 (PGV500), de classe de précision 10 cm a permis d'acquérir suffisamment de données 3D afin d'envisager l'élaboration d'une maquette numérique 3D. Une évaluation du logiciel LandSIM3D de la société Bionatics effectuée à l'automne 2009, accompagnée d'une formation, a rendu possible la réalisation d'une première maquette du territoire. Celle-ci a été présentée aux décideurs qui ont validé la proposition d'acquisition du logiciel et le principe de constitution d'une maquette numérique 3D, sujet de mon Projet de Fin d'Etudes.

La démarche de la ville restant exploratoire, la direction SIG et Données Urbaines (SIGDU), porteuse du projet, a souhaité effectuer une veille technologique, comprenant notamment l'évaluation du logiciel SpacEyes 3D Builder. Cette veille technologique fait donc partie intégrante de mon PFE.

2. La constitution de la maquette numérique 3D du territoire annécien

Cette partie représente le cœur de mon étude. A partir de l'exploitation des données existantes de la ville et de celles issues de la convention « Bâti 3D », j'ai engagé la constitution de la maquette 3D de la ville d'Annecy.

Après en avoir monté le socle, j'ai intégré le bâti puis effectué des traitements afin de représenter la diversité végétale de la ville, composante importante du paysage urbain. Enfin, j'ai intégré le mobilier urbain en me concentrant plus particulièrement sur l'éclairage public.

Une fois chacun des éléments cités ci-dessus défini, j'effectuerai une présentation rapide des actions menées et des résultats.