

Suivi submillimétrique de réflecteurs radar

I G. QUIN - PH. LOREAUX / CEA-DAM Île-de-France

Nous présentons les résultats d'une expérience menée à l'aide de réflecteurs radar bidirectionnels nommés MUSE (Multipass Scattering Equipment). Ces réflecteurs, développés et brevetés par le CEA, permettent des mesures de déplacements du sol en 3D à l'aide d'images satellites radar. En effet, si l'on dispose de plusieurs images radar de ces réflecteurs acquises à des dates différentes, il est possible de mesurer précisément leurs déplacements au cours du temps par interférométrie. Le but de notre expérience est l'évaluation de la précision de cette mesure. Elle consiste à disposer des réflecteurs sur un site stable et à leur imposer manuellement des déplacements connus de quelques millimètres entre chaque acquisition à l'aide de verniers micrométriques. Les déplacements des réflecteurs sont ensuite calculés à l'aide de l'outil de traitement d'images radar du CEA, appelé CIAO (chaîne interférométrique radar opérationnelle). Nous montrons qu'il est possible de mesurer leurs déplacements avec une précision de 0,48 mm.

Les satellites radar évoluent en orbite polaire autour de la Terre et forment des images par émission de leur propre onde électromagnétique, suivie de la réception des échos réfléchis par le sol. Des images peuvent ainsi être acquises de jour comme de nuit, et quelque soit le couvert nuageux. La longueur d'onde radar varie entre 3 et 20 cm selon le satellite. Les images radar sont formées de pixels complexes dont l'amplitude correspond à la puissance du signal réfléchi et où la phase est liée au temps d'aller-retour de l'onde entre le satellite et le sol. Ces images peuvent être utilisées, entre autres, pour mesurer une déformation du sol suite à un séisme en utilisant la technique d'interférométrie. Pour ce faire, la comparaison d'un couple d'images acquises avant et après l'évènement est utilisée pour mesurer la déformation du sol. Cette donnée associée à la cartographie de la déformation permet alors de déduire des informations sur la nature du séisme et déterminer, par exemple, les failles mises en jeu. L'interférométrie radar est cependant limitée par certains phénomènes naturels qui gênent la mesure de déformation dans certaines zones, ou lorsque les images sont acquises à des dates trop éloignées. La solution est alors l'implantation de réflecteurs radar artificiels qui permettent des mesures fiables et précises sur de longues durées.

Le réflecteur MUSE

Les réflecteurs radar développés et brevetés par le CEA (Multipass Scattering Equipment, MUSE) sont des objets métalliques en forme de doubles coins de cube capables de réfléchir les ondes radar vers le satellite émetteur. L'innovation proposée consiste à pouvoir utiliser le réflecteur MUSE (figure 1) quelque

soit le satellite radar et quelque soit le mode de prise de vue du satellite (angle d'incidence, passe ascendante ou descendante). Les capteurs radar modernes permettant d'acquérir une image tous les jours, il est ainsi possible d'établir un suivi régulier d'un site. La mesure de déformation sur des cibles telles que des réflecteurs radar à l'aide d'images acquises régulièrement, utilise une variante de l'interférométrie radar classique. On parle alors de mesure sur réflecteurs permanents (en anglais *Permanent Scatterers*, PS). Ces PS sont des pixels dans les images aux propriétés temporelles stables et fiables. Il existe des PS naturels, le plus souvent en zones urbaines, contenant des structures géométriques capables de réfléchir les ondes radar vers le satellite. Hors des zones urbaines, les PS naturels sont rares et des réflecteurs radar artificiels comme MUSE peuvent être mis en place pour



Figure 1. Dispositif expérimental montrant les réflecteurs MUSE sur leurs platines mobiles.

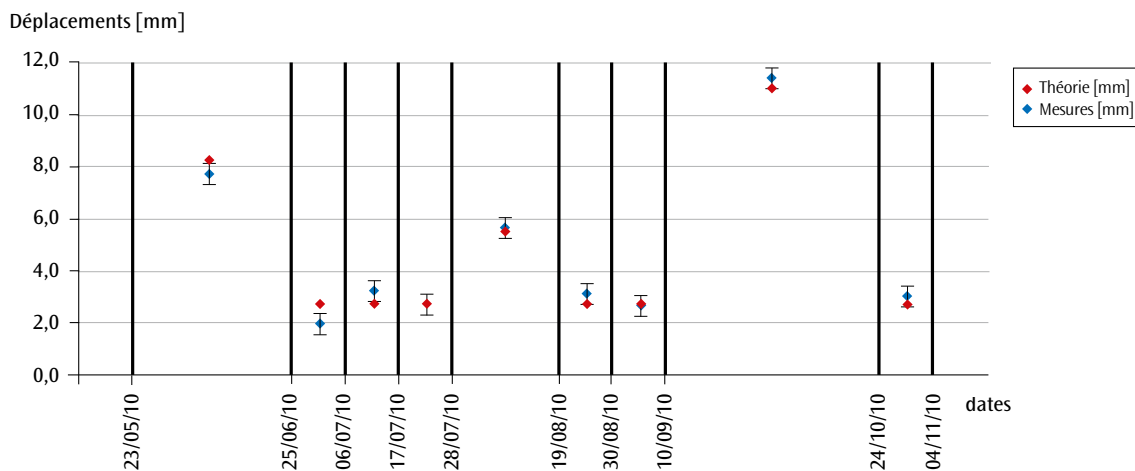


Figure 2. Déplacements d'un des réflecteurs MUSE, mesurés à partir des 10 images radar par CIAO, comparés aux données terrain.

densifier les points de mesure. Afin d'estimer la précision des mesures de déplacements des réflecteurs MUSE à l'aide de la chaîne de traitement d'images radar du CEA (CIAO), nous avons mis en place une expérience à partir de déplacements connus.

Protocole expérimental

Pour l'expérience, trois réflecteurs MUSE ont été montés sur des platines munies de verniers micrométriques permettant de contrôler finement leurs déplacements au cours de l'acquisition d'une série temporelle de 10 images acquises par le satellite allemand TerraSAR-X. Un quatrième réflecteur fixe sert de référence pour les trois autres. Le dispositif expérimental est présenté sur la **figure 1**. Cette expérience est la première à utiliser un dispositif aussi précis pour contrôler le mouvement de réflecteurs. Entre chaque image, les déplacements imposés aux réflecteurs sont de l'ordre de quelques millimètres, de sorte à simuler une vitesse de déplacement constante au cours du temps.

Résultats

Les mesures de déplacements d'un des réflecteurs par rapport au réflecteur fixe sont représentées sur la **figure 2**, où elles sont comparées aux déplacements théoriques imposés. Nous constatons un très bon accord entre les mesures et les données terrain. La précision accessible évaluée sur l'ensemble des réflecteurs mobiles est de 0,48 mm. Les vitesses de déplacements de chacun des réflecteurs ont égale-

ment pu être évaluées par CIAO avec une précision de 0,4 mm/an. De plus, ces performances sont en accord avec les simulations effectuées lors de la définition du protocole expérimental [1,2].

Conclusion

Nous avons montré que nous pouvions suivre les déplacements des réflecteurs MUSE avec une précision submillimétrique de 0,48 mm à l'aide de CIAO, aussi bien que leurs vitesses moyennes avec une précision de 0,4 mm/an.

Nous travaillons actuellement sur le développement d'un radôme de protection pour le réflecteur, qui devra permettre son utilisation dans diverses conditions climatiques sans dégrader la précision des mesures.

Références

- [1] G. QUIN, PH. LOREAU, "Submillimeter Accuracy of Multipass Corner Reflector Monitoring by PS Technique", *IEEE T. Geosci. Remote*, **51**(3), p. 1775-1783 (2013). doi: 10.1109/TGRS.2012.2206600.
- [2] PH. LOREAU, G. QUIN, "Passive electromagnetic wave reflector for measuring local strain in a structure on the earth surface", brevet WO/2012/101072 (2012).