

2020-144

Imagerie par Radars à Synthèse d'Ouverture spatiaux et traitements associés pour l'archéologie – Approches multicateurs et Machine Learning

Créé le 13/10/2019 à 11:30

Proposant

Nom & Prénom Tourneret Jean-Yves (IRIT/TéSA), Ovarlez Jean-Philippe (ONERA), Angelliaume Sébastien (ONERA), Lapiere Luc (CNES)

Organisme TéSA

Adresse 7, boulevard de la Gare

Code postal 31500

Ville Toulouse

Adresse mail contact@tesa.prd.fr

Année campagne 2020

N° de fiche 2020-144_v2

Statut

Complet

Email du Directeur du Laboratoire

corinne.mailhes@tesa.prd.fr

Descriptif du sujet

La recherche archéologique fait régulièrement appel à des outils de télédétection qui permettent d'explorer la surface du sol ou le sous-sol de façon non intrusive à des fins de prospection ou de diagnostic avant de décider d'une campagne de fouille.

L'analyse d'images de télédétection peut être menée à 3 grands niveaux :

- Au sol, par l'analyse des paramètres géophysiques (propriétés et/ou contrastes électrique, magnétique) de la zone sondée ou par l'utilisation d'un géoradar dit RPS (Radar à Pénétration dans le Sol) ou encore GPR (Ground Penetrating Radar). Ces outils de sondage sont habituellement mis en œuvre par les archéologues, soit en se déplaçant eux-mêmes à pied ou depuis un véhicule tractant le système de mesure. La surface au sol couverte par ces instruments est ainsi relativement limitée.
- Aéroportés : il s'agit essentiellement d'imagerie aérienne optiques et/ou infrarouge, de lidar permettant d'obtenir la microtopographie du sol sous un couvert végétal ou sous l'eau s'agissant de bathymétrie ou encore de radar à synthèse d'ouverture (RSO ou SAR en anglais). Ces images sont réalisées dans le cadre de campagnes spécifiques. Le porteur peut-être un avion ou un hélicoptère ou encore un drone. Ce dernier prend une place grandissante vu sa commodité de mise en œuvre sur le plan technique. En revanche, ces moyens aéroportés sont généralement

soumis à une demande d'autorisation de survol. Les surfaces analysées sont souvent plus grandes que les précédentes, mais restent limitées.

- Satellites : ils offrent des moyens de télédétection optique, infrarouge ou radar et permettent d'obtenir la topographie du sol. Ils ont une résolution généralement moindre que les moyens aéroportés, mais ils couvrent de larges étendues avec un taux de revisite de quelques jours et sans autorisation de survol. Ce type d'instrument permet d'envisager la recherche archéologique, préventive ou programmée, non plus seulement au niveau local mais aussi sur de très grandes zones.

C'est souvent de la combinaison de plusieurs de ces moyens de télédétection que dépend la qualité d'une prospection ou d'un diagnostic

Cette thèse porte sur les radars à synthèse d'ouverture spatiaux fort des succès qu'ils ont déjà obtenus. Elle traite de l'amélioration de la qualité de détection des sites archéologiques par imagerie radar et en association avec d'autres sources d'images. S'agissant des résultats déjà obtenus pour l'archéologie grâce à des images radar, on peut citer :

- Les données acquises par le radar imageur SIR-C/X-SAR embarqué à bord de la navette spatiale Endeavour en 1994 qui ont permis de découvrir un monument archéologique majeur sur le site d'Angkor (Cambodge) et inconnu jusque-là car totalement dissimulé sous la forêt tropicale ou encore la découverte de la cité perdue de Ubar dans la péninsule arabique.
- La mission spatiale BIOMASS de l'Agence Spatiale Européenne (ESA) qui sera lancée en 2021 va embarquer un radar imageur polarimétrique basse fréquence (bande P) qui offre, de par les capacités de pénétration à travers les milieux observés à cette longueur d'onde, de nouvelles opportunités pour la télédétection de sites archéologiques depuis l'espace. En phase de préparation de cette mission spatiale, l'ONERA a réalisé une campagne de mesure SAR aéroportée en bande P (435 MHz) en 2010 dans le désert du Sahara au sud de la Tunisie. Les données ont permis de mettre en évidence une canalisation enterrée en direction de l'oasis de Ksar Ghilane (32.98°N-9.63°E). Ce type de données n'a été que très peu exploré jusqu'à ce jour et un travail méthodologique pour identifier les paramètres radar les plus efficaces pour des applications archéologiques reste à réaliser.
- Sans avoir de connaissances d'applications archéologiques du satellite radar japonais ALOS-2 PALSAR-2 en bande L (1,257 GHz) on s'attend à des capacités intéressantes, car il peut pénétrer dans la végétation ou le sol, certes moins que BIOMASS, mais sa résolution est bien meilleure, elle est de 10 m en mode stripmap fine.
- Des données acquises par Sentinel-1 (programme COPERNICUS de ESA) avec une résolution de 20 m (pixels de 10 m) ont permis de mettre en évidence une portion du tracé de la *via Domitia* en Occitanie (à l'ouest de Leucate), ce qui est relativement inattendu.
- TerraSAR-X fonctionne à 9,65 GHz et possède plusieurs modes d'imagerie dont le plus résolu peut atteindre jusqu'à 50 cm de résolution spatiale. TerraSAR-X a été utilisé avec TanDEM-X (topographie) sur la Syrie pour évaluer les impacts de la guerre civile. Le satellite CosmoSkyMed de l'agence spatiale italienne (ASI) a des capacités du même ordre.

Activités de la thèse :

Après un état de l'art des travaux menés en télédétection pour la recherche archéologique, il s'agira d'étudier :

- Les capacités des radars spatiaux vis-à-vis de divers besoins archéologiques pour lesquels ils peuvent potentiellement être intéressants ;
- De déterminer / mettre au point, les traitements les plus appropriés pour les divers cas à traiter ;
- D'établir un catalogue de signatures radar pour divers types de vestiges archéologiques.
- De fusionner les données radar à des données d'autres sources d'images (optiques, infrarouges, topographiques) afin d'augmenter la qualité de la détection des sites archéologiques par des méthodes de Machine Learning.

Plusieurs gammes d'images radar pourront être étudiées dans cette thèse selon :

- Les bandes de fréquences : P (Biomass), L (ALOS), C (Sentinel-1), X (TerraSAR-X, COSMO-SkyMed) ;
- La résolution : Biomass, Sentinel-1, ALOS-2-PALSAR-2 / TerraSAR-X / COSMO-SkyMed (selon le mode : spotlight, stripmap, scanSAR) ;
- Les divers modes polarimétriques.

Etudes de divers aspects :

- Physique de la mesure sur plusieurs cas types de vestiges en termes de :
 - o Géométrie : ancienne voie se distinguant par une bande linéaire avec la présence de cailloux exogènes, grosse pierre taillée parallélépipédique, vestige de bâtiment constitué de nombreuses pierres taillées ou non. On commencera par l'étude de la réponse de cibles canoniques dans les différentes voies polarimétriques ;
 - o Rugosité : ensemble de pierres taillées ou non de différentes tailles réparties sur le sol, irrégularités du sol due à la présence de vestiges sous-jacents ;
 - o Enfouissement : capacité du signal radar à révéler des vestiges enfouis dans le sol ou sous le couvert végétal, en fonction de ses caractéristiques et de la nature du sol ou de la végétation.
- Etudes de traitements faisant mieux ressortir les vestiges archéologiques.
- En combinaison avec d'autres types d'images (images multispectrales optiques et infrarouges, topographiques) :
 - o Fusion des images radar avec d'autres types d'images afin de mieux cibler les zones d'intérêt ;
 - o Essais de classification (établissement de la diversité des vestiges archéologiques identifiables et leurs signatures) ;
 - o Apprentissage par Machine Learning en vue d'identifier des sites archéologiques et de faire de la cartographie automatique (localisation de sites et étendue de ces sites).
- Maîtrise des artefacts de mesure,
- Prise en compte des conditions d'obtention des images :
 - o Direction d'arrivée du signal radar, ...
 - o Météorologie : humidité, pluie avant ou pendant la prise de vue, ...

A l'issue de ce travail de recherche de Doctorat, la définition de méthodologies selon le type de vestige à détecter pourront être proposées à la communauté des archéologues. Elles devront être basées sur l'exploitation de données de télédétection acquises depuis l'espace et avoir été validée expérimentalement.

Bibliographie :

[1] Radar imaging survey of the Angkor Eco-Site, Report of the first scientific roundtable, Princeton, New Jersey, February 1-2, 1995

[2] Evans D., Pottier C., Fletcher R., Hensley S., Tapley I., Milne A., Barbetti M., A comprehensive archaeological map of the world's largest preindustrial settlement complex at Angkor, Cambodia, PNAS, september 2007

[3] Moore, E., Freeman, T. and Hensley, S. (2007) "Spaceborne and airborne radar at Angkor: introducing new technology to the ancient site," in J. Wiseman and F. El-Baz (eds) Remote Sensing in Archaeology, Interdisciplinary Contributions to Archaeology book series, New York: Springer.

[4] Ph. Paillou, "Mapping Palaeohydrography in Deserts: Contribution from Space-Borne Imaging Radar," in Water 2017, 9, 194.

[5] Luo, Lei & Wang, Xinyuan & Guo, Huadong & Lasaponara, Rosa & Xin, Zong & Masini, Nicola & Wang, Guizhou & Shi, Pulong & Khatteli, Houcine & Chen, Fulong & Tariq, Shahina & Shao, Jie & Bachagha, Nabil & Yang, Ruixia & Yao, Ya. (2019). Airborne and spaceborne remote sensing for archaeological and cultural heritage applications: A review of the century (1907-2017). *Remote Sensing of Environment*. 232. 10.1016/j.rse.2019.111280.

[6] Eppe, Etcheto, Hiron, Lapierre (Chapitres histoire et archéologie, dont la *via Domitia*, dans l'Antiquité), Petterle, Philippe, Pignol, Rabasse, 2018, Si Leucate m'était conté ... De la Préhistoire au traité des Pyrénées, Edition du Cap Leucate, 200 p.

[7] Tapete, Cigna, Trends and perspectives of space-borne SAR remote sensing for archaeological landscape and cultural heritage applications, British Geological Survey, Natural Environment Research Council.

[8] Stewart, SAR for Archaeological Prospection in Europe and in Middle East, *Remote Sensing for Archaeology and Cultural Landscape*, Springer, 2020, pp. 59-84

[9] Lasaponara, Masini, Active Satellite Sensors in Cultural Heritage Research: The Use of SAR for Archaeological Prospection, *Remote Sensing for Archaeology and Cultural Landscape*, Springer, 2020, pp. 107-121

R&T CNES associée

Non

Cofinancier proposé

ONERA

Laboratoire d'accueil envisagé

TéSA

Profil du candidat (veuillez préciser la spécialité du Master)

Etudiant de formation ingénieur ou master 2 avec spécialisation en radar ou en traitement d'images.

Directeurs de thèse

Nom & Prénom Tourneret Jean-Yves (IRIT/TéSA), Ovarlez Jean-Philippe et Angelliaume Sébastien (ONERA)

Adresse mail jean-yves.tourneret@toulouse-inp.fr, jean-philippe.ovarlez@onera.fr,
sebastien.angelliaume@onera.fr

Responsable CNES de la thèse

Nom & Prénom Lapierre Luc

Structure DNO/OT/LOT

Adresse mail Luc.lapierre@cnes.fr