

Introduction

Les astéroïdes sont des objets encore peu explorés et dont la structure interne nous est connue principalement par des mesures indirectes et des télédétections depuis la Terre.

L'astéroïde Itokawa, exploré par la mission Hayabusa (JAXA) a été l'un des rares dont le régolithe, la couche de poussière recouvrant le corps principal, a été observé de près.

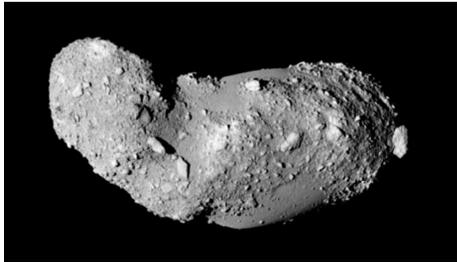


Fig.1 Astéroïde Itokawa^[1]

On y a découvert des zones très rugueuses, les Highlands, couvertes de blocs de plus de 6 mètres de large, et que des zones beaucoup plus plates, les mers, couvertes de particules de régolithe plus fines, de l'ordre du centimètre.

Le SAR pénétrant est une technique particulièrement adaptée pour étudier la structure 3D du régolithe afin de comprendre les mécanismes qui contrôlent sa formation et son évolution.

Cette technique est largement répandue sur Terre, mais la géométrie délicate du problème, la taille du corps, sa vitesse de rotation et le mouvement relatif de l'astéroïde remettent en question la légitimité des hypothèses émises pour les cas d'observation de la Terre.

Une simulation SAR complète prenant en compte l'orbitographie et la vitesse de rotation du corps est donc nécessaire.

Simulations

On cherche à développer un simulateur de la réponse de la surface de l'astéroïde, capable de résoudre aussi bien les particules centimétriques qui composent les mers que les blocs décimétriques des Highlands. On utilise en premier modèle l'approximation de Kirchhoff².

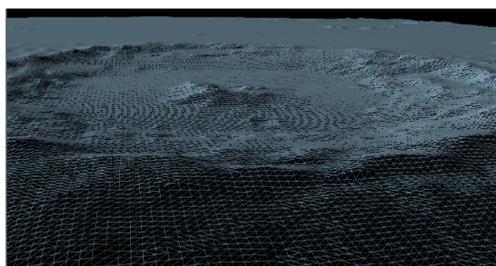


Fig.1 Discrétisation de la surface

On utilise une approximation de la surface en plan tangents, ici des facettes triangulaires. On applique le coefficient de réflexion de Fresnel local et on calcule l'onde diffusée par ce plan.

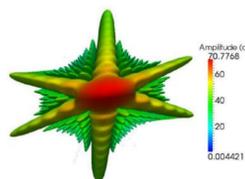


Fig.2 Résultats d'un synthèse KA d'une cible ponctuelle avec des facettes triangulaire

On applique dans un premier temps des variations aléatoires centimétriques de surface à une zone pour simuler une surface rugueuse aléatoire, sur laquelle on appliquera le simulateur.

Traitement

On utilise un programme effectuant une synthèse SAR sous le langage IDL pour la validation des performances de nos simulations.

On y spécifie les caractéristiques du radar, la géométrie du problème, la durée de notre simulation et la zone sur laquelle la simulation est souhaitée, et le programme nous répondra la synthèse SAR complète.

Ce simulateur sera dans la suite qualifié de « brute force » puisqu'il n'effectue aucune hypothèse simplificatrice, compense le délai et la phase du signal simultanément et fonctionne sur des cibles ponctuelles.

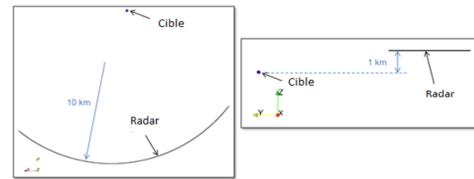


Fig.2 Géométrie du problème³

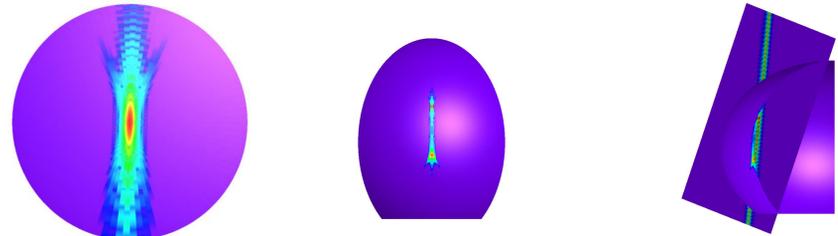


Fig.3. Résultat de la synthèse du traitement brute – force avec une cible ponctuelle⁴

Pour améliorer la robustesse du traitement on peut utiliser des algorithmes appelés autofocus qui compensent automatiquement la qualité de l'image radar

Autofocus

Lorsque l'orbite que suit le radar n'est pas identique à celle calculée au préalable, la qualité de l'image radar est dégradée à cause des erreurs de phase quadratique du signal radar.

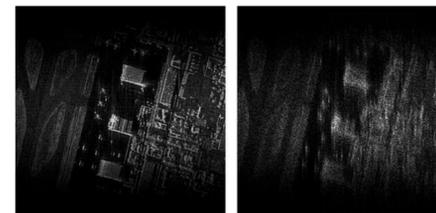


Fig.6. Image dégradée par des erreurs de phase quadratique⁵

Pour améliorer la robustesse de la synthèse SAR face aux erreurs de restitution d'orbite on met en place des algorithmes d'autofocus qui estiment automatiquement l'erreur de phase pour la corriger sur l'image

Algorithme Mapdrift

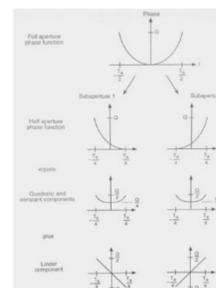


Fig.7. Description de Mapdrift⁵

On découpe la trajectoire du radar en 2 sous trajectoires, on calcule les deux images qui en découlent puis on estime la différence de phase entre les deux images par une intercorrélation. Cette différence est l'erreur de phase quadratique de l'image

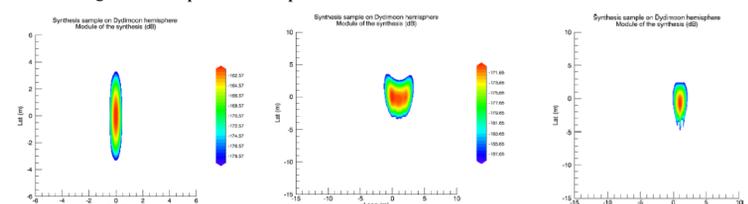


Fig.8 Synthèse radar initiale, synthèse corrompue par des erreurs de phase quadratique, synthèse corrigée

On observe une première amélioration, imparfaite étant donnée la précision moyenne de l'algorithme, mais non négligeable

Conclusions

Le régolithe des astéroïdes est aussi bien composé de grains centimétriques que de blocs d'une dizaine de mètre de large. On a donc besoin d'un simulateur capable de résoudre ces deux composantes. Dans notre cas on utilise l'approximation de Kirchhoff, dont les performances seront validées par notre traitement brute force. Les algorithmes d'autofocus apportent de la robustesse par rapport aux erreurs de restitution d'orbites qui sont fréquentes et non négligeables dans le cas de l'observation de petits corps.

Références

- JAXA
- BERQUIN, Y (2014), Assessing the performances and optimizing the radar sounder design parameters for the EJSM mission (Ganymede and Europa)
- ROGEZ, Y, (2016), Task 4 User Manual for Performance Estimator
- HERIQUE, A (2015) AIM-HFR Specifications, TASK 1
- CARRARA, W.G; GOODMAN, R.S; MAJEWSKI, R.M; (1995), Spotlight Synthetic Aperture Radar Signal Processing Algorithms, Norwood : Artech House