



SONDER LA MATIÈRE PAR LES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Astronomie radar et radioastronomie à l'aide d'un radar transhorizon

Jean-François DEGURSE***, Jean-Philippe MOLINIE *, Sylvie MARCOS**

* ONERA, Dept. Electromagnétisme et Radar, jean-francois.degurse@lss.supelec.fr, jean-philippe.molinie@onera.fr

** Laboratoire des Signaux et des Systèmes, CNRS-Supélec-UnivParisSud, sylvie.marcos@lss.supelec.fr

Mots clés (en français et en anglais) : radioastronomie, radar, radioastronomy, planetary science

Introduction

Le radar Nostradamus est un radar transhorizon à ondes de ciel. Il utilise la réflexion des ondes basses fréquences sur l'ionosphère pour voir au-delà de l'horizon. Sa fonction première est la veille lointaine, c'est-à-dire la surveillance de grands secteurs à très longue distance. Cependant, la conception originale du système a rendu possible son utilisation dans divers autres domaines scientifiques. En effet, le radar a été utilisé pour mener entre autres des recherches sur l'ionosphère, en océanologie et en sismologie.

Plus récemment, le radar a été utilisé à des fréquences trans-ionosphériques de manière active pour faire de l'astronomie radar, ainsi que de manière passive en faisant de la radioastronomie. Peu d'instruments opèrent aux longueurs d'ondes décimétriques, principalement à cause des sources d'interférences humaines qui gênent l'observation des sources cosmiques, bien plus faibles. Cependant, l'intérêt pour ces longueurs d'ondes grandit et de nouveaux instruments tels que LOFAR ont récemment été construits. Par rapport aux radiotélescopes, le radar peut aussi observer de manière active en émettant des ondes radar, et ainsi effectuer de l'astronomie radar, ce que très peu d'instruments sont capables de faire [1].

Après une brève présentation du radar Nostradamus, nous présenterons une application du système en astronomie radar, puis, nous étudierons des observations passives du Soleil et de Jupiter en bande HF.

1. Le radar Nostradamus

Le radar Nostradamus est un système constitué de 288 antennes distribuées le long de 3 bras disposés en étoile, séparés de 120°. Il fonctionne en bande HF (de 6 MHz à 28 MHz). Une partie de ces ondes basses fréquences, inférieures à 20 MHz, ont la particularité de se réfléchir sur l'ionosphère. En tant que radar de veille lointaine, sa fonction principale est la détection d'aéronefs à des distances allant de 700 à 3000 km. Alors que les radars transhorizon sont généralement des grands réseaux linéaires bistatiques, la conception particulière du radar NOSTRADAMUS lui permet de contrôler le faisceau d'émission et de réception en azimut et en élévation.



2. Astronomie radar

En utilisant les fréquences de fonctionnement les plus hautes du radar, il est possible de détecter des objets se trouvant au-delà de l'atmosphère terrestre. La puissance d'émission du radar permet d'envisager la détection de la Lune qui se situe à environ 384000 km de la Terre. Cette distance implique un temps d'aller-retour des ondes radar de plus de 2 secondes, ce qui est bien supérieur à la période de répétition maximale du système, dimensionnée pour observer des distances de quelques milliers de kilomètres. La période de répétition a dû être judicieusement choisie pour que les échos lunaires reviennent entièrement dans une période d'écoute du radar, et non d'émission.

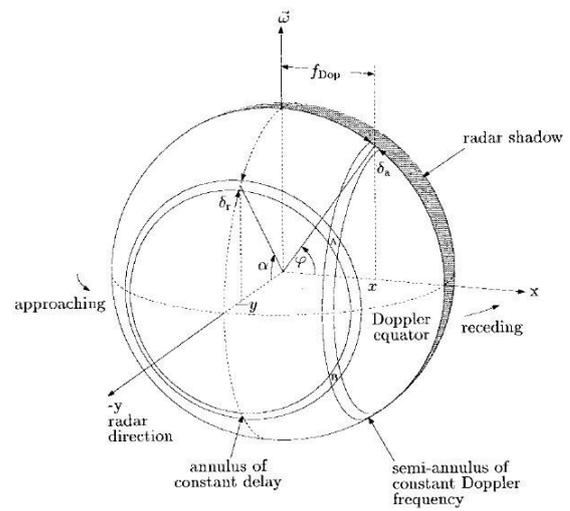
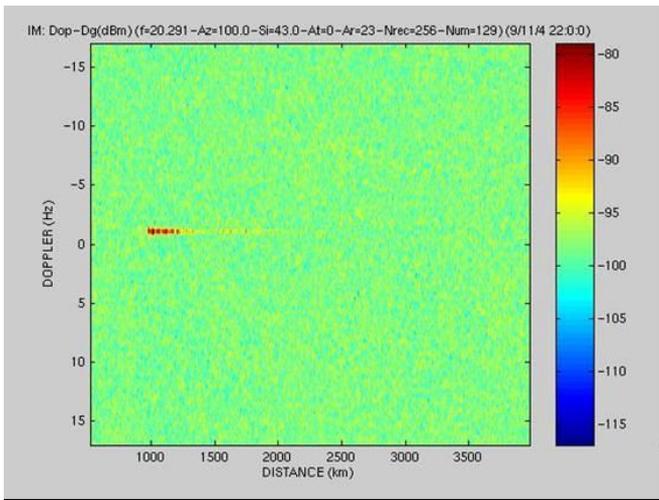


Figure 1: Image distance-Doppler de la Lune (à gauche) et principe de réflexion des ondes radar sur la surface lunaire (à droite)

L'écho lunaire reçu par le radar est clairement observable sur l'image distance-Doppler sur la Figure 1. Le signal de la Lune revenant après plusieurs pulses radar, la distance est ambiguë et l'axe distance ne correspond pas à la distance réelle entre le système et la Lune. En revanche, il est possible de mesurer le rayon de notre satellite. Chaque anneau de surface iso-distance renvoie un signal décalé en temps du fait de sa distance avec le radar (voir schéma de la Fig.1). La longueur de l'écho correspond ainsi au rayon du satellite. Le rayon mesuré à l'aide du radar Nostradamus est d'environ 1800 km, pour une valeur réelle de 1734 km. Le léger décalage en fréquence Doppler des ondes réfléchies est dû au biais ionosphérique. L'intérêt de cette expérience est que les ondes HF pénètrent dans le régolithe lunaire et permettent ainsi de sonder le sous-sol de la Lune. Des études plus poussées pourraient utiliser le mouvement de la Lune par rapport à la Terre et obtenir une image bien plus précise du satellite en bande HF.

3. Radioastronomie

Le radar Nostradamus peut aussi être utilisé en mode passif pour écouter le ciel en bande HF. Dans notre système solaire, le Soleil et Jupiter émettent à ces fréquences. Le système n'est pas assez sensible pour détecter le bruit continu qu'émet le Soleil à ces fréquences mais il peut détecter les « bursts » solaires émis lors des éruptions solaires. Les émissions en bande HF de Jupiter sont plus directives et leur observation depuis la Terre dépend de la position de son satellite Io. Il est ainsi possible de connaître à l'avance les périodes où ces émissions vont avoir lieu.

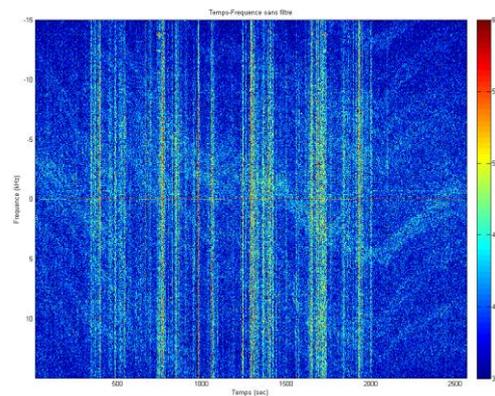
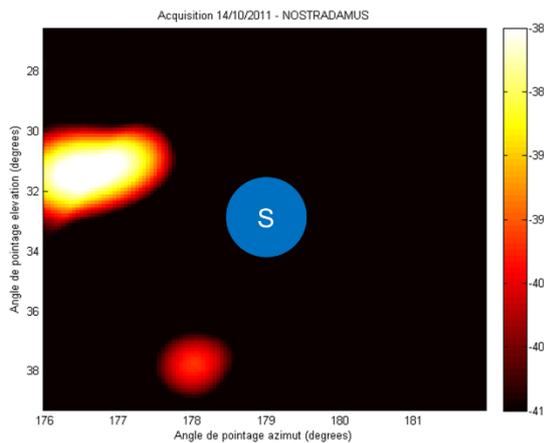


Figure 2 : image d'un « burst » solaire à 25,6 MHz Figure 3 : image temps-fréquence des émissions de Jupiter à 21,4 MHz

La Figure 2 est une image azimut-élévation d'une éruption solaire vue à 25,6 MHz. Les barres verticales, visibles sur l'image temps-fréquence (Figure 3) montrent les émissions joviennes observées par le radar Nostradamus. Ces émissions en HF ont été confirmées par les données du réseau décimétrique de la station de radioastronomie de Nançay [2].

Références bibliographiques

- 1- Rodriguez, P., Kennedy, E., & Kossey, P. (2003). High frequency radar astronomy with HAARP.
- 2- Lecacheux, A., Konovalenko, A. A., & Rucker, H. O. (2004). Using large radio telescopes at decametre wavelengths. Planetary and Space Science, 52(15), 1357-1374.