



université PARIS-SACLAY

# «CARACTÉRISATION DES SUBSURFACES PLANÉTAIRES À L'AIDE DE SONDES DE PERMITTIVITÉ : ANALYSE DES DONNÉES SESAME-PP/PHILAE/ROSETTA ET PWA-MIP /HASI/HUYGENS/CASSINI-HUYGENS» PAR ANTHONY LETHUILLIER

Présentée par : Anthony Le Thuillier Discipline : sciences de l'univers Laboratoire : LATMOS

## Résumé :

Les sondes de permittivité sont des instruments de prospection géophysique non destructifs qui donnent accès aux propriétés électriques, aux basses fréquences (10 Hz- 10 kHz), de la proche subsurface. Ce faisant, elles renseignent sur la composition, porosité, température et éventuelle hétérogénéité des premiers mètres sous la surface. Utilisant généralement 4 électrodes, le principe des sondes de permittivité est simple : il consiste à injecter un courant sinusoïdal de phase et d'amplitude connues entre deux électrodes (dipôle émetteur) et à mesurer l'impédance mutuelle (le rapport complexe entre la tension et le courant injecté) entre ce dipôle émetteur et un dipôle récepteur. La permittivité complexe du matériau de surface, à savoir sa constante diélectrique et sa

conductivité électrique, sont alors déduites de la mesure de l'amplitude et de la phase de cette impédance mutuelle. Les fréquences d'opération des sondes de permittivités sont basses là où l'approximation quasi-statique s'applique. A ce jour, les propriétés électriques de seulement deux surfaces planétaires extraterrestres ont été étudiées par des sondes de permittivité : celle de Titan par l'instrument PWA-MIP/HASI/Huygens /Cassini-Huygens et celle du noyau de la comète 67P/Churyumov–Gerasimenko par SESAME-PP/Philae/Rosetta. Je présente dans ce manuscrit la première analyse des données obtenues par SESAME-PP à la surface de la comète 67P/Churyumov–Gerasimenko. Grâce à un travail précis de modélisation numérique de l'instrument et de son fonctionnement, de campagne de mesures (en laboratoire et dans des grottes de glace) afin de valider la méthode d'analyse et d'hypothèses réalistes sur l'environnement proche de la sonde, j'ai pu contraindre la composition et surtout la porosité des premiers mètres du noyau cométaire montrant qu'ils étaient plus compacts que son intérieur. J'ai également travaillé à une nouvelle analyse des données obtenues en 2005 par PWA-MIP proposant notamment de nouveaux scénarios d'explication pour le changement brutal de propriétés électriques observé 11 min après l'atterrissage de Huygens. Ces nouveaux scénarios s'appuient, entre autres, sur les mesures de caractérisation électrique que j'ai menées au LATMOS sur des échantillons de composés organiques (tholins), analogues possibles des matériaux recouvrant la surface de Titan.

### **Abstract :**

Permittivity probes are non-destructive geophysical prospecting instruments that give access to the low frequency (10 Hz – 10 kHz) electrical properties of the close subsurface. This provides us with information on the composition, porosity, temperature, and heterogeneity of the first meters of the subsurface. Using 4 electrodes, the technique consists in injecting a sinusoidal current of known phase and amplitude between two electrodes (transmitting dipole) and measuring the mutual impedance (complex ratio of measured potential over injected current) between this dipole and a receiving dipole. The complex permittivity (i.e. Its dielectric constant and conductivity) of the subsurface material is derived from the measured phase and amplitude of the mutual impedance. The frequency range of operation of permittivity probes is low therefore the quasi static approximation applies. To this day the electrical properties of only two extraterrestrial surfaces have been studied by permittivity probes, the surface of Titan by the instrument PWA-MIP/HASI/Huygens/Cassini-Huygens and the surface of the nucleus of comet 67P /Churyumov–Gerasimenko by SESAME-PP/Philae/Rosetta. I present in this manuscript the first analysis of the data collected by SESAME-PP at the surface of the comet 67P /Churyumov–Gerasimenko. With the help of precise numerical models of the instrument, field measurements (in a controlled and natural environment) in order to validate the

analysis method, and realistic hypothesis on the close environment I was able to constrain the composition and porosity of the first meters of the comet's nucleus showing that it is more compact than its interior. I also worked on a reanalysis of the data collected in 2005 by PWA-MIP, offering new explanations for the abrupt change in the electrical properties observed 11 minutes after the landing of Huygens. These new scenarios were built in light of lab measurements of electrical properties I performed at LATMOS on samples of organic matter (tholins), possible analogue of Titan's surface material

## INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

**Elena PETTINELLI**, Professeur des Universités, à l'Université de Rome 3/Département de Mathématique et de Physique - Rome (Italie) - Rapporteur

**Eric QUIRICO**, Professeur des Universités, à l'Université Joseph Fourier Grenoble 1 /Institut de Planétologie et d'Astrophysique de Grenoble (IPAG) - Grenoble - Rapporteur

**Valérie CIARLETTI**, Professeur des Universités, à l'Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines/Laboratoire Atmosphères, Milieux et Observations Spatiales (LATMOS) - Versailles - Directeur de thèse

**Alice LE GALL**, Maître de Conférences, à l'Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines/Laboratoire Atmosphères, Milieux et Observations Spatiales (LATMOS) - Versailles - Co-Encadrant de thèse

**Nathalie CARRASCO**, Professeur des Universités, à l'Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines/Laboratoire Atmosphères, Milieux et Observations Spatiales (LATMOS) - Versailles - Examineur

**Jérémy LASUE**, Astronome-Adjoint, à l'Université de Toulouse/IRAP - Toulouse - Examineur

**Jean-Pierre LEBRETON**, Chargé de recherche, à l'Université d'Orléans/Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement et de l'Espace (LPC2E) - UMR 7328 - Orléans - Examineur

**Philippe GAUDON**, Chercheur, au CNES - Toulouse - Invité

**Rejean GRARD**, Chercheur, à l'Agence Spatiale Européenne (ESA) - AG Noordwijk (Pays-Bas) - Invité

**Contact :** dredval service FED : [theses@uvsq.fr](mailto:theses@uvsq.fr)