



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

## Comptes Rendus Physique

www.sciencedirect.com



Probing matter with electromagnetic waves / Sonder la matière par les ondes électromagnétiques

## Foreword



URSI (“Union radio-scientifique internationale”) is a world-level body under the umbrella of the International Council for Science, formerly International Council of Scientific Unions (ICSU). This scientific society is responsible for stimulating and coordinating, on an international basis, studies, research, applications, scientific exchanges, and communication in the fields of radio science. In 2015, the yearly scientific workshop of URSI-France was focused on the theme “Probing matter with electromagnetic waves”. This research area covers all the activities of the various scientific commissions of URSI.

Two thousand years ago, Pliny the Elder observed the spectral decomposition of light through a prism, which gave birth to the concept of chromatic dispersion, explained only in the 18th century. In the last century, the first mobile radiology tools were used on the field. Nowadays, satellites, radars and radio telescopes sense our immediate and distant environment for a better understanding of physical phenomena and toward the development of new applications, such as remote sensing. Structural health monitoring and non-destructive testing of material are invading the industry. In the context of these constantly progressing technologies, the 2015 scientific workshop of URSI France has reviewed the progress achieved in wave-matter interaction towards scientific and fundamental goals as well as for meeting application needs.

In this issue, a large spectrum of the applications of the interactions between electromagnetic waves and matter are presented. The authors of the eight papers of this dossier have been selected by the scientific committee of the URSI-France Workshop, and invited to submit an extended version, which has been peer-reviewed according to the standards of the journal *Comptes rendus Physique* and improved accordingly.

The first contribution, by L. Klinkenbusch and H. Brüns, addresses the combination of the spherical-multipole analysis in sphero-conal coordinates with a uniform complex-source beam (CSB) in order to analyze the scattering of a localized electromagnetic plane wave by any desired part of a perfectly conducting elliptic cone. Then the concept of the uniform CSB is introduced and thoroughly applied to the diffraction by a semi-infinite elliptic cone. A new modal form of the Green function for the elliptic cone is derived based on the principle that there is no energy loss to infinity. The numerical evaluation includes the scattered far fields of a CSB incident on the corner of a plane angular sector with different opening angles.

The second paper, by V. Ciarletti, is a brief review of the radars designed for the Solar System planets and bodies’ exploration. This review does not aim at being exhaustive, but focus on the major results obtained. The variety of radars that have been or are currently designed in terms of frequency or operational modes is highlighted.

A. Baudry et al., in the third contribution, give a brief introduction to the main properties of a radio telescope and recall the most sensitive radio interferometers, the IRAM mm array and, especially, the recently built ALMA mm/submm array. These interferometers can reveal the fine spatial details of the Orion clouds of gas and dust within which new stars and associated planetary systems are being formed. The high spectral resolution and sensitivity of both interferometers allowed us to map the emission from a number of complex organic molecules, to estimate the molecular abundances, and to address some important aspects of the molecular complexity in Orion. The authors have underlined, in this paper, the possible links between the prebiotic molecules observed in space and the chemistry leading to early terrestrial life.

The fourth article, by J. Crovisier et al., gives an historical review of the radio observations of comets. The radio domain is a privileged tool to study the composition of cometary ices. Observing the OH radical at a wavelength 18 cm allows us to measure the water production rate. A wealth of molecules (and some of their isotopologues) coming from the sublimation of ices in the nucleus have been identified by observations in the millimeter and submillimeter domains. The authors focused on the results from their group, including recent observations with the Nançay radio telescope, the IRAM antennas, the *Odin* satellite, the Herschel space observatory, ALMA, and the MIRO instrument onboard the *Rosetta* space probe.

The fifth paper, by R. Dusséaux et al., presents the radar technics used to determine the different layers of sea-ice thickness. This is a key parameter in Arctic studies, and it is derived from radar altimeter height measurements of the freeboard, taking into account not only the snow load, but also the penetration depth of the electromagnetic waves inside the snow—this is not generally the case. Within the framework of the small slope approximation method, the authors study

in the Ku band ( $f = 13$  GHz) the electromagnetic signature of an air/snow/sea ice rough layered medium. The snow is inhomogeneous and is represented as a stack of several layers with different values of the relative permittivity.

The sixth contribution, by M. Lesturgie et al., gives rapidly the measure of the attenuation level, with limited equipment, in the L-band, for various elevation angles. The signal backscattered by a plane flying over the forest next to an airport is received on many antennas. The signals received by these antennas are digitalized and processed to extract the plots of the opportunistic targets that approach the airport. The magnitudes of each plane echo are measured on each channel, and a comparison of the level of signal is made between the antenna above and under the forest. The magnitude ratio between the two measurements on each polarization component gives the absorption factor of the foliage at the place of the experiment. This experiment has been deployed on two forested sites near an airport in South-East Asia.

The seventh paper, by R. Sabot et al., sets out microwave imaging diagnostics that are extremely useful for observing magnetohydrodynamic (MHD) instabilities in magnetic fusion plasmas. Two imaging diagnostics will be available on the WEST tokamak. A method was developed to reconstruct electron density maps from electron density profiles measured by ultrafast reflectometry, a technique based on the FM-CW radar principle. It relies on plasma rotation to perform 2D reconstruction. An Electron Cyclotron Emission Imaging (ECEI) diagnostic will image directly the temperature fluctuations. These two complementary techniques will contribute to the validation of the MHD models.

The last and eighth contribution, by R. Guyard et al., presents the ability to develop an optical fiber sensor to measure strain in two (radial and axial) dimensions. When a fiber Bragg grating strain sensor is embedded inside a structure, the interaction of the sensor with the host material would lead to spurious results if the radial strain were neglected. In this article, the authors use numerical simulations to show that the axial and radial strains can be simultaneously measured with a single fiber in which a Bragg grating and a long-period grating are superimposed. Moreover, they present an optimal architecture of the sensor.

To conclude this foreword, we would like to warmly thank the authors for their contributions to this dossier of the journal *Comptes rendus Physique* (French Academy of Sciences), the Editorial Board, and the referees for their expertise and support. We hope that our readers will enjoy this issue, which will introduce how radio science can help us to analyze our near and far environments.

## Avant-propos

L'Union radio-scientifique internationale est un organisme opérant au niveau mondial dans le cadre du Conseil international des unions scientifiques (Icsu). Elle est en charge de l'animation et de la coordination internationale des études, recherches, applications, échanges scientifiques et actions de communications dans le domaine des radiosciences. Dans ce contexte, les journées scientifiques 2015 de l'URSI-France avaient pour thème « Sonder la matière par les ondes électromagnétiques ». Ce sujet, couvrant des champs disciplinaires et d'applications vastes, englobe l'ensemble des activités scientifiques des différentes commissions de l'URSI. De plus, l'interaction ondes-matière constitue un phénomène physique qui n'a cessé d'être au cœur des interrogations scientifiques au cours des siècles.

L'homme a pu éveiller sa curiosité scientifique par l'observation de phénomènes physiques rencontrés dans la nature, tels que la décomposition de la lumière du soleil par une averse (arc en ciel). Pline l'ancien a pu observer ce phénomène à travers un prisme il y a maintenant deux mille ans. Ce sont les balbutiements scientifiques des études de l'interaction ondes-matière. Le comportement des ondes électromagnétiques (interférences, diffraction), la mise en équation des phénomènes par Maxwell et l'ensemble des travaux de la communauté scientifique ont permis d'exploiter ces ondes et d'en faire des outils incontournables de notre société. L'utilisation la plus courante et qui vient rapidement à l'esprit concerne les télécommunications. Mais les ondes électromagnétiques sont couramment mises en œuvre pour analyser les inhomogénéités, discontinuités... de la matière traversée par les ondes électromagnétiques concernées. C'est notamment le cas des applications radar. Dans certains cas, l'émission-absorption de certaines ondes électromagnétiques par la matière peut aussi être utilisée pour mieux connaître sa composition ; ce principe est couramment utilisé en radioastronomie ou en spectroscopie... Les applications de types radar sont généralement réalisées dans la partie « basse fréquence » du spectre couvert par les ondes électromagnétiques, ce qui a tout d'abord permis de développer des moyens de détection ou de localisation ayant la résolution nécessaire et suffisante pour pouvoir localiser et identifier des objets divers et variés (avions, nuages...).

Dans ce numéro, on donne un spectre large des avancées récentes dans la connaissance de l'interaction ondes électromagnétiques et matière. Les auteurs des huit articles de ce dossier ont été sélectionnés par le comité scientifique des journées d'URSI-France et invités à soumettre une version de leur contribution étendue, relue, critiquée et amendée conformément aux règles des *Comptes rendus Physique*.

Le premier article, par L. Klinkenbusch et H. Brüns, présente l'étude de la diffraction d'une onde électromagnétique plane par la pointe d'un cône elliptique en un conducteur parfait. Ces travaux présentent la notion de faisceau source complexe (*complex beam source*) et d'analyse multipôle sphérique en coordonnées sphéro-coniques, en vue de pouvoir déterminer la fonction de Green associée à un cône elliptique éclairé par une telle source électromagnétique. Les résultats des simulations numériques donnent alors accès à la distribution du champ électromagnétique diffracté par un cône pour plusieurs angles d'ouverture. Ces travaux théoriques, donnant lieu à des temps de calcul numérique très courts, laissent entrevoir la possibilité d'analyses de signatures pour des objets à formes coniques, et par conséquent la détection de telles structures.

La seconde contribution, due à V. Ciarletti, fournit une revue non exhaustive des radars scientifiques pour l'exploration des planètes et des autres corps du système solaire. Quelques résultats majeurs sont présentés. Une attention particulière

est portée à la variété des radars actuellement conçus en terme de fréquence ou de modes opératoires en fonction des cas d'application. Cet article constitue une synthèse qui permet au lecteur d'avoir une vision à ce jour des outils radar employés pour l'étude du système solaire.

Dans le troisième article, A. Baudry et al. mettent l'accent sur l'emploi du radiotélescope pour sonder la nébuleuse d'Orion. En effet, l'emploi d'interféromètres en ondes millimétriques et submillimétriques (Iram et ALMA) permet de détecter des nuages de gaz et de poussière de la nébuleuse d'Orion où se forment de nouvelles étoiles et leurs systèmes planétaires associés. L'émission de plusieurs molécules complexes organiques est observée avec ces outils et soulignent les abondances moléculaires, qui nous confrontent avec quelques questions importantes en lien avec la complexité moléculaire dans Orion.

Le quatrième travail, par J. Crovisier et al., présente un panorama historique des découvertes sur les comètes faites en radioastronomie. En effet, la radioastronomie est un outil privilégié pour l'étude des glaces cométaires. Le domaine décimétrique permet de mesurer la production en eau par l'observation du radical OH à 18 cm de longueur d'onde. Le domaine millimétrique et submillimétrique permet d'observer de nombreuses molécules provenant de la sublimation des glaces du noyau, ainsi que leurs isotopologues. Les auteurs mettent l'accent sur les résultats de leur groupe, et incluent des observations récentes avec le radiotélescope de Nançay, les antennes de l'Iram, le satellite *Odin*, l'observatoire spatial Herschel, ALMA et l'instrument MIRO de la sonde spatiale *Rosetta*.

R. Dusséaux et al., dans le cinquième article, s'intéressent à la détermination des différentes couches d'une mer gelée enneigée sous la forme air/neige/glace/mer pour l'étude du fonctionnement de la zone Arctique. Cette grandeur est obtenue à l'aide de mesures faites depuis un altimètre radar spatial sur le bord franc de la banquise. Les auteurs étudient à l'aide de la méthode des faibles pentes la signature radar en bande Ku ( $f = 13$  GHz) d'une structure air/neige/glace/mer où la couche de neige est inhomogène et représentée comme un empilement de plusieurs couches ayant des permittivités relatives différentes.

Dans la sixième contribution, M. Lesturgie et al. évaluent rapidement et avec un équipement limité le niveau d'atténuation d'un signal en bande L. L'aspect novateur consiste ici à exploiter le signal issu d'un radar d'aéroport diffusé par un avion survolant une forêt. Des antennes situées judicieusement sur le site de mesure (c'est-à-dire la forêt concernée) permettent ensuite d'accéder à l'atténuation du feuillage. Cette expérience a été déployée sur deux sites forestiers à proximité d'un aéroport d'Asie du Sud-Est.

Le septième article, par R. Sabot et al., traite des techniques d'imagerie micro-ondes, qui sont extrêmement utiles pour analyser les instabilités magnétohydrodynamiques (MHD) dans les plasmas de fusion magnétique. Les deux diagnostics d'imagerie qui seront disponibles sur l'expérience de fusion magnétique du tokamak WEST sont décrits dans cet article. Une méthode a été développée pour reconstruire une image bidimensionnelle de la densité du plasma à partir des profils de densité mesurés par réflectométrie ultrarapide, une technique basée sur le principe du radar FM-CW. Ces deux systèmes seront complémentaires et contribueront à valider les modèles numériques de MHD. La pertinence des deux outils est donc explicitée par les auteurs dans ce travail.

Enfin, le dernier papier, par R. Guyard et al., présente une nouvelle architecture de capteurs de déformations à fibre optique basée sur la superposition d'un réseau de Bragg et d'un réseau longue période afin de mesurer, à partir de deux signaux linéairement indépendants, les déformations transverse et longitudinale dans un milieu hôte. Un dimensionnement du capteur est réalisé par résolution numérique des conditions de résonance des réseaux ; la possibilité d'évaluer simultanément ces déformations sans altération de la précision des mesures par rapport aux capteurs de déformation à fibre optique classiques est démontrée.

Pour conclure cet avant-propos, nous tenons à remercier vivement les auteurs pour leur contribution à ce numéro des *Comptes rendus Physique* (Académie des sciences, Paris), le bureau éditorial et les rapporteurs pour leur travail rigoureux et sérieux. Nous espérons que le lecteur appréciera ce dossier sur le thème « Sonder la matière par les ondes électromagnétiques ».

Alain Priou

Professeur émérite

IUT de Ville-d'Avray, Université Paris-Ouest – Nanterre – La Défense

50, rue de Sèvres, 92410 Ville-d'Avray, France

E-mail address: [alain.priou@u-paris10.fr](mailto:alain.priou@u-paris10.fr)

Cyril Lupi\*

GeM UMR 6183, Université de Nantes

2, rue de la Houssinière, 44322 Nantes, France

E-mail address: [cyril.lupi@univ-nantes.fr](mailto:cyril.lupi@univ-nantes.fr)

Available online 15 September 2016

\* Corresponding author.