



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Comptes Rendus Physique

www.sciencedirect.com



Radio science for Humanity / Radiosciences au service de l'humanité

Foreword



URSI (*Union Radio-scientifique internationale*) is a renowned worldwide body under the umbrella of the International Council for Science, formerly International Council of Scientific Unions (ICSU). This scientific society has a longstanding tradition of fostering and coordinating, on an international basis, scientific studies, research, applications, exchanges, and communication in the fields of radio science and, more generally, on all aspects of electromagnetism. One of the URSI's roles is to promote research using interdisciplinary and multidisciplinary resources.

URSI-France, officially the *Comité national français de radioélectricité scientifique* (CNFRS), like the international scientific Radio Union, aims to stimulate and coordinate, at the national level, areas of scientific studies, telecommunications and electronics, in order to promote and organize research requiring national and international cooperation. Furthermore, it encourages the adoption of standards of measurements as well as the assessment of methodology and the calibration of measuring instruments used in scientific works.

URSI-France is placed under the authority of the French Academy of Science, represented by the *Comité français des unions scientifiques internationales* (COFUSI).

URSI-France organises annually a national Workshop. The one of 2017 had the theme “Radio-Sciences for serving Humanity”, a very broad theme, indeed! The scientific committee sought to deal with eclecticism by selecting presentations from eight areas. A total of nine invited talks brought synergetic views necessary for the widening the scope of the selected subjects. This, however, resulted in a densely packed conference program.

Electromagnetism, telecommunications, electronics, and photonics are an essential pivot of our modern society. The developments of these activities benefit humanity in a wide range of issues, ranging from extreme situations to the simple comfort of our daily lives. In this fast-moving area, we are interested in the fundamental and conceptual aspects as well as the technological developments and the resulting applications. Thus, the conference covered a wide range of topics: electromagnetic waves and fields, both from the point of view of metrology, theory, propagation effects, and modelling of communication systems and their applications. The treatment of electromagnetic wave propagation included the monitoring of the environment (surface and sub-surface), the ionosphere, and even applications in radio astronomy. Electromagnetics in biology and medicine, also present in the aforementioned areas, were duly addressed.

A session in tribute to François Lefeuvre gave us an opportunity to trace both his scientific work and his activities at URSI, amongst others as president of URSI-France (1996–1999) and then vice-president of URSI and finally president of URSI (2005–2008 and 2009–2011).

The scientific developments and the resulting technical applications necessarily pose a dialectic between technological innovation and their purpose of application. The confluence of these activities, in turn, reflect ethical issues and dilemmas.

Without pretending to overestimate the scope of the conference contribution in these difficult broad areas, the theme of the 2017 URSI-France scientific meeting was chosen to remind us that, in the end, even these URSI subjects impact upon the global technical-cum-scientific developments in serving humanity.

The theme of public protection and disaster relief is clearly an illustration of what high-performance scientific applications can offer to deal with distressful events.

Note that the URSI and ISPRS Unions decided (2017) to join efforts by establishing an *ad hoc* committee before the AG 2020 of the ISPRS¹ due to be held in Nice (France).

Beyond all these applications, the plurality of the subjects of the conference facilitates the representation that everyone can have of the microscopic as well as macroscopic worlds. These aspects, including ethical issues, have been addressed since a long time. We can quote, for example, Max Planck during his conference “Physics in struggle for a representation of the world”.²

¹ ISPRS, General Assembly, July 2016, Prague, Czech Republic.

² Max Planck, *Die Physik im Kampf um die Weltanschauung*, 6 March 1935, Johann Ambrosius Barth ED, Leipzig 1937.

This issue presents a sample of the contributions from the areas of radio-wave interaction and scientific-cum-technical challenges to achieve well-designed systems and devices. The authors were selected by an ad hoc committee (listed below), created specifically for the occasion, whom we thank wholeheartedly. Seven of them were then invited to submit extended, proofread, peer-reviewed revised versions in accordance with the rules of the journal *Comptes rendus Physique*.

The first article, entitled "Conforming discretizations of boundary element solutions of the forward problem electroencephalography", written by Lyes Rahmouni, Simon B. Adrian, Kristof Cools, and Francesco Paolo Andriulli, concerns the electroencephalography (EEG) of scalp potentials, as one of the main non-invasive techniques to map and study the electrical activity of the brain. EEG imaging is of crucial importance in the electrical characterization of seizures. This is particularly true for patients affected by focal lesions, when the localization and characterization of the source of epilepsy is a key step in the pre-operative examinations preceding the removal of the brain area that contains an abnormal electrical activity. The authors provide a basis for solving Poisson's equations representing the electrical activity of the brain. After a detailed treatment of three different formulations based on the classic discretizations, they adopt the simplest stable discretization involving combinations of basic linear piecewise-constant functions. Some aspects of errors in these approaches to the problem of spherical layers (for which an exact solution exists) are presented.

The second article, "DEMETER observations of man-made waves which propagate in the ionosphere", written by Michel Parrot, is a review of the airwaves, due to human activity, observed by the ionospheric satellite DEMETER. This concerns the waves radiated by the transmitter in very low-frequency band (VLF in English, TBF: 3 kHz to 30 kHz) and extremely low-frequency bands (EBF, ELF in English: 3 Hz to 30 Hz) from radio stations, from power lines, and other active devices. For the first time recorded examples of radiation emitted by EBF transmitters are shown. These waves propagate to the magnetosphere and they can be observed at the points of magnetic dipole from their region of emission. According to their frequencies, they disturb the ionosphere, and the particles in the radiation belts thus triggering new emissions.

This contribution, therefore, describes systematically all the results observed by the ionospheric satellite DEMETER. It deals with the waves emitted by terrestrial VLF and ELF transmitters from broadcasting stations, by harmonic radiation from the power lines, industrial RF noise and active devices. The record of a wave produced by an ELF transmitter is also presented.

The third article, "Solar radio astronomy and space weather", is authored by Karl-Ludwig Klein, Carolina Salas Matamoros, and Pietro Zucca. It deals with the activities of the solar corona, ejections of large amplitude plasma, and the magnetic field, causing major disruptions that can seriously affect the Earth's free-space environment. This activity is characterized by massive coronal bursts (CME) and the projection of high-energy particles (SEP). The consequences on the functioning of satellites, and even ground infrastructure, are of such importance that indicators for predicting the arrival of CME and SEP effects are actively sought. This article shows how the observation of solar microwave sources can lead (i) to estimate the speed of a CME and its time of arrival on the earth surface, (ii) to forecasting of SEP events reaching the Earth. This contribution explores a promising way based on the analysis of the RF signals emitted by the Sun. The results presented are based on an uninterrupted emission of microwave fluxes (5 and 9 GHz) measured by the authors over a period of 13 months (December 2011 to December 2012).

In the fourth article, entitled "The double Brewster angle effect", Laetitia Taylor-Lefèvre and Régis Guinvarc'h, after detailing the properties of Brewster effect and particularly the double Brewster angle, which were widely studied at optical wavelengths, demonstrate that a similar approach can be used in the X-band radar frequencies. Employing the values of the Brewster angle that lead to the characteristics of the materials and their permittivity, a radar approach was identified in order to ascertain the nature of the reflecting materials (concrete, bitumen, forest, etc.) or to detect possible artifacts marring the radar measurements.

The described method is of interest and importance in the field of remote sensing and radar signal analysis. It allows the extraction of additional information from observed radar images. In this sense, the proposed method offers possibilities to characterize the nature of the observed elements. The contributed paper lays the foundations for an original methodology leading to the development of a new tool for remote sensing.

The fifth contribution, whose title is "From quantum physics to digital communication: Single-sideband continuous phase modulation", is written by Haïfa Fares, D. Christian Glattli, Yves Louët, Jacques Palicot, Christophe Moy, and Preden Roulleau. The authors propose to reduce the spectral occupation of signals generally used in digital communications by using the Single Side Band Frequency Shift Keying – Continuous Phase Modulation (SSB-CPM).

The proposed feature of Continuous Phase Modulation (FSK-CPM) having the feature of single sideband (SSB) provided a very compact bandwidth occupation. First of all, the original principle, inspired by quantum physics (levitons), is presented. Then the authors address the problem of this new waveform based on low complexity method exploiting the orthonormality of the wave functions used to perform matched filtering for demodulation. They show that the proposed modulation can operate using existing digital communications, given the availability of operational technology. Finally, they develop simulations of this continuous-phase single-sideband modulation.

The sixth article, "RFI: a key technology for Humanity", is written by Yvan Duroc and Smail Tedjini. The objective of this contribution is to provide a synthesis of RFID and its applications (with the given focus), as well as of the current and associated perspective approaches. It is not merely a comprehensive description of applications; instead, the paper takes through a significant number of examples, both to show the utility of RFID in this area, and to highlight the most common standards, before putting the current trends and new opportunities into perspective.

Briefly, the first part of this paper examines the basic concepts of RFID technology and shows its link with radio sciences. The second part illustrates the impact of RFID technology in the field of industrial development and applications in the field of automation and assistance for the disabled. The last part highlights an overview of the perspectives and future directions of RFID applications dedicated to Humanity.

The seventh and last article, "Drone-borne GPR design: Propagation issues", written by Tullio Joseph Tanzi and Madhu Chandra, addresses the feasibility of a ground-penetrating drone-borne radar sensor intended, amongst other uses, to humanitarian applications as a part of disaster management. The authors address the problems of propagation of electromagnetic waves in order to determine the feasibility of such a radar sensor for sub-surface penetration of ground observed from a drone. The study of the frequency, polarization, transmission, attenuation, and the dispersion of signals penetrating the surface were reported in order to determine the applicability of a sensor mounted on a drone. The functionality of the radar is therefore evaluated in terms of the key parameters that include radar, depth of frequency modulation and the mode of radar operation (pulsed FM, FM-CW), and the type of antenna within the available power budget.

In the presented analysis, the radar equation, as well as the effects of propagation in the radar equation, is used to simulate the signal strength of the radar echoes under different conditions of selected key parameters and physical properties of the medium under the surface. The study assesses if the system is workable and if it can be built with the technology available today. Because of the close binding of this application with public protection and disaster relief, the ideas here have a character of a forward-looking and exploratory nature. The objective is to examine if, in the near future, such a solution is feasible.

To conclude this foreword, we would like to warmly thank the authors for their contributions to this issue of the journal *Comptes rendus Physique* of the French Academy of Sciences, the Editorial Board, and the referees for their expertise and support. We hope that our readers will enjoy this issue on the theme of "Radio sciences in the service of humanity".

International Editorial Board

- Jacques Villain, Académie des sciences, France
- Denis Gratias, Académie des sciences, Paris, France
- Frederique de-Fornel, CNRS – Université de Bourgogne Franche-Comté, France
- Madhu Chandra, Chemnitz University of Technology, Germany
- Orhan Altan, Istanbul Technical University, Department of Geomatics, Turkey
- Plamena Zlateva, ISER – Bulgarian Academy of Sciences, Bulgaria
- Dimeter Velev, University of National and World Economy, Bulgaria
- Andrew F. Peterson, Georgia Tech Computational Electromagnetics, USA
- Thomas Eibert, Technical University of Munich, Germany
- Giuseppe Vecchi, Politecnico di Torino, Italy
- Joël Hamelin, URSI France
- Jean Isnard, URSI France
- Tullio Joseph Tanzi, Institut Mines-Telecom – Telecom ParisTech, France

Avant-propos

L'Union radio scientifique internationale (URSI) intervient au niveau mondial dans le cadre de *l'International Council for Science (ICSU)* regroupant les académies des sciences et les unions scientifiques. Elle est en charge de l'animation et de la coordination internationale des études, recherches, applications, échanges scientifiques et actions de communication dans le domaine des radiosciences et, plus généralement, sur tous les aspects de l'électromagnétisme. Une des raisons d'être de l'URSI est sa vocation à agir en tant que catalyseur pour la recherche en s'appuyant sur ses capacités multidisciplinaires et interdisciplinaires.

URSI-France, officiellement le Comité national français de radioélectricité scientifique (CNFRS), à l'instar de l'Union radio scientifique internationale, a pour but de stimuler et de coordonner, à l'échelle nationale, les études des domaines des sciences de la radioélectricité, des télécommunications et de l'électronique, de promouvoir et d'organiser les recherches exigeant une coopération nationale et internationale, d'encourager l'adoption de méthodes de mesures communes, ainsi que la comparaison et l'étalonnage des instruments de mesure utilisés dans les travaux scientifiques.

URSI-France est placé sous l'autorité de l'Académie des sciences, représenté par le Comité français des unions scientifiques internationales (COFUSI).

URSI-France organise annuellement des journées scientifiques. Celles de 2017 avaient pour thème « Les radiosciences au service de l'humanité », sujet on ne peut plus vaste que le comité scientifique a cherché à traiter avec éclectisme, en sélectionnant des exposés dans huit secteurs d'activité. Neuf conférences invitées ont apporté les vues synthétiques nécessaires au foisonnement des sujets. Il en est résulté, néanmoins, un programme très dense.

L'électromagnétisme, les télécommunications, l'électronique et la photonique constituent un pivot essentiel de notre société moderne. Le développement de ces activités profite à l'humanité dans un large éventail de problématiques, des situations extrêmes jusqu'au simple confort de notre vie quotidienne. Dans ce domaine qui évolue rapidement, nous nous

sommes intéressés aux aspects fondamentaux et conceptuels ainsi qu'aux développements technologiques et aux applications qui en résultent. Ainsi, une large gamme de thématiques fut couverte : les ondes et champs électromagnétiques, tant du point de vue de la métrologie que de celui de la théorie, la propagation et la modélisation, les systèmes de communication ainsi que leurs applications. La propagation électromagnétique pour la surveillance de l'environnement (surface et sous-sol), la propagation ionosphérique ou encore la radioastronomie ont aussi été traitées. L'électromagnétisme en biologie et en médecine a été également présent dans les sujets de ces journées.

Une session en hommage à François Lefeuvre a été l'occasion de retracer tout à la fois ses travaux scientifiques et ses activités dans le cadre de l'URSI, entre autres comme président d'URSI-France (1996–1999), puis vice-président de l'URSI, et enfin président de l'URSI (2005–2008 et 2009–2011).

L'accroissement des applications techniques issues de développements scientifiques considérables conduit naturellement à une dialectique de la technique et à une réflexion sur la finalité de ces activités au confluent des questions techniques, environnementales et éthiques.

Sans prétendre contribuer directement à ce sujet aussi vaste que difficile, le thème des journées scientifiques 2017 d'URSI-France a été choisi pour rappeler qu'*in fine* l'URSI, même très modestement, participait en amont à ce mouvement mondial technico-scientifique, et qu'en tant qu'union internationale elle ne pouvait faire fi de tout ce qui, au premier chef, intéresse l'humanité toute entière.

Le thème de la protection du public et du secours en cas de catastrophe est évidemment une illustration de ce que des applications très performantes peuvent offrir pour faire face aux détresses.

À noter que les unions URSI et ISPRS ont décidé (en 2017) de joindre leurs efforts en constituant un comité *ad hoc* avant l'AG 2020 de l'ISPRS³ à Nice.

Au-delà de toutes ces applications, la pluralité des sujets de la conférence facilite la représentation que tout un chacun peut se faire du monde aussi bien macroscopique que microscopique. Ces aspects, y compris les questions d'éthique, ont été abordé depuis bien longtemps. Nous pouvons citer, par exemple, Max Planck lors de sa conférence « La physique en lutte pour une représentation du monde ».⁴

Dans ce numéro, nous présentons un échantillon des contributions centré sur l'interaction des ondes radio et sur les défis scientifiques et techniques pour aboutir à des dispositifs et systèmes bien conçus. Les auteurs ont été sélectionnés par un comité de lecture ad hoc (liste en fin de ce texte), spécifiquement créé pour l'occasion, que nous remercions. Sept d'entre eux ont été ensuite invités à soumettre une version étendue, relue, critiquée et amendée conformément aux règles des *Comptes rendus Physique*.

Le premier article, intitulé « *Conforming discretizations of boundary element solutions of the electroencephalography forward problem* », rédigé par Lyes Rahmouni, Simon B. Adrian, Kristof Cools, et Francesco Paolo Andriulli, concerne l'électro-encéphalographie (EEG) de potentiels de cuir chevelu, comme l'une des principales techniques non invasives pour cartographier et étudier l'activité électrique du cerveau. L'imagerie EEG est d'une importance cruciale dans la caractérisation électrique des crises d'épilepsie. Cela est particulièrement vrai pour les patients touchés par l'épilepsie focale, lorsque la localisation et la caractérisation de la source est une étape clé du protocole préopératoire qui précède la suppression de la zone de cerveau qui présente une activité électrique anormale.

Les auteurs fournissent une base de résolution d'équations représentant celle de Poisson. Après un traitement détaillé des trois formulations différentes basées sur la discrétisation classique, ils adoptent la discrétisation stable, plus simple, impliquant des combinaisons de fonctions affines par morceaux. Certains aspects d'erreur dans ces approches pour le problème de sphère en couches (pour laquelle une solution exacte existe) sont présentés.

Le deuxième article, « *DEMETER observations of man-made waves that propagate in the ionosphere* », proposé par Michel Parrot, est une revue des ondes, dues à l'activité humaine, observées par le satellite ionosphérique DEMETER. Cela concerne les ondes émises par les émetteurs très basse fréquence (TBF, VLF en anglais : 3 kHz à 30 kHz) et extrêmes basse fréquence (EBF, ELF en anglais : 3 Hz à 30 Hz), par les stations de radio, par le rayonnement des lignes électriques et par les expériences actives. Des exemples sont proposés dont, pour la première fois, l'enregistrement d'une onde émise par un émetteur EBF. Ces ondes se propagent vers la magnétosphère et elles peuvent être observées au point conjugué magnétique de leur région d'émission. Selon leurs fréquences, elles perturbent l'ionosphère et les particules dans les ceintures de radiation, et de nouvelles émissions sont déclenchées.

Cette contribution décrit systématiquement tous les résultats observés par le satellite ionosphérique DEMETER. Il traite des ondes émises par les émetteurs VLF et ELF terrestres, par les stations de radiodiffusion, par les rayonnements harmoniques des lignes de puissance, par le bruit industriel et par des expériences actives. Est présenté aussi l'enregistrement d'une onde venant d'un émetteur ELF.

Le troisième article, « *Solar radio astronomy and space weather* », a pour auteurs Karl-Ludwig Klein, Carolina Salas Matamoros et Pietro Zucca. Il traite de l'activité de la couronne solaire, éjections de grandes amplitudes de plasma et du champ magnétique associé, qui engendrent de fortes perturbations pouvant gravement affecter l'environnement spatial de la Terre. Cette activité est caractérisée par des bouffées coronales massives (CME) et la projection de particules de haute énergie (SEP). Les conséquences sur le fonctionnement des satellites, et même sur celui des infrastructures terrestres, sont telles

³ ISPRS, assemblée générale, juillet 2016, Prague, République tchèque.

⁴ Max Planck, *Die Physik im Kampf um die Weltanschauung*, conférence du 6 mars 1935, Johann Ambrosius Barth éditeur, Leipzig, 1937.

que tout indicateur permettant d'anticiper l'arrivée des CME et SEP est activement recherché. Cet article montre comment l'observation des sources micro-ondes solaires peut conduire (i) à estimer la vitesse d'une CME et son temps d'arrivée à la Terre, (ii) à prévoir les événements SEP atteignant la Terre. Cette contribution explore une voie prometteuse prenant appui sur l'analyse des signaux radiofréquences émis par le soleil. Les résultats présentés reposent sur une solide série ininterrompue de densités de flux de micro-ondes à 5 et 9 GHz, mesurée par les auteurs sur une période de 13 mois (décembre 2011 à décembre 2012).

Dans quatrième article, « *The double Brewster angle effect* », Laetitia Thirion-Lefevre et Régis Guinvarc'h, partant de la définition et des propriétés de l'angle de Brewster, et plus particulièrement du double angle de Brewster, lesquelles ont été largement étudiées aux longueurs optiques, font la démonstration qu'une approche similaire peut être utilisée aux fréquences radar en bande X. De même que les valeurs de l'angle de Brewster permettent, en optique, de remonter aux caractéristiques des matériaux et à leur permittivité, de même, aux fréquences radar, par une approche « double angle de Brewster », est-il possible d'identifier la nature des matériaux (béton, bitume, forêt...) observés ou, dans l'analyse du signal, de détecter de possibles artefacts entachant la mesure ?

L'intérêt de la méthode décrite est important ; en télédétection, toute technique d'analyse du signal permettant d'extraire des informations complémentaires des scènes observées est recherchée. En ce sens, la méthode proposée est riche d'enseignement quant à la possibilité de caractériser la nature des éléments observés. L'article proposé jette les bases d'une méthodologie originale devant aboutir au développement de nouveaux outils pour la télédétection.

La cinquième contribution, « *From quantum physics to digital communication : Single-sideband continuous phase modulation* », est due à Haïffa Farès, D. Christian Glattli, Yves Louët, Jacques Palicot, Christophe Moy et Preden Roulleau. Les auteurs proposent de réduire l'occupation spectrale des signaux généralement utilisées dans les communications numériques en utilisant une approche Bande Latérale Unique - Modulation de Phase continue (BLU - CPM).

La modulation de phase continue (FSK-CPM) proposée, ayant la caractéristique de bande unique (SSB), fournit une occupation de fréquence très compacte. Tout d'abord, le principe original, inspiré de la physique quantique (lévitons), est présenté. Ensuite les auteurs abordent le problème de la détection cohérente de cette nouvelle forme d'onde par une méthode de faible complexité issue des fonctions orthonormales d'onde utilisées pour effectuer le filtrage apparié de démodulation efficace. Ils montrent par cela que la proposition de la modulation peut fonctionner à l'aide de technologies de communication numérique existantes, étant donné les opérations effectuées. Ils développent enfin les simulations de cette modulation de phase à bande latérale unique.

Le sixième article, qui a pour titre « *RFI : A key technology for Humanity* », est proposé par Yvan Duroc et Smail Tedjini. L'objectif de cette contribution est de fournir une synthèse sur la RFID et ses applications (avec le focus donné), ainsi que sur les approches actuelles et perspectives associées. Il ne s'agit pas de faire un descriptif exhaustif des applications mais, à travers un nombre d'exemples significatif, à la fois de montrer la présence de la RFID dans ce domaine, d'en souligner les standards les plus rencontrés, avant de mettre en perspective les tendances actuelles et les nouvelles possibilités.

Brièvement, la première partie du présent document examine les concepts fondamentaux de la technologie RFID et montre son lien avec les radiosciences. La seconde partie illustre l'impact de la technologie RFID au service de la société, avec une mise au point des applications dans le domaine de l'autonomie et du handicap. La dernière partie met en évidence un panorama des perspectives et orientations futures des applications RFID dédiées au service de l'humanité.

Le septième et dernier article, « *Drone-borne GPR design : Propagation issues* », rédigé par Madhu Chandra et Tullio Joseph Tanzi, aborde la faisabilité d'un capteur radar à pénétration de sol, embarqué sur un drone, destiné entre autres aux applications humanitaires dans le cadre des catastrophes. Les auteurs abordent les problèmes de propagation d'onde électromagnétique, ce qui permettra de déterminer la faisabilité d'un tel capteur radar à pénétration de sol embarqué sur un drone. L'étude de la fréquence, de la polarisation, de la diffusion, de l'atténuation et de la dispersion des signaux radar pénétrant sous la surface permettent de déterminer l'applicabilité d'un capteur sur drone. La fonctionnalité du radar est donc évaluée en fonction des paramètres clés qui incluent la fréquence radar, la profondeur de modulation et le mode de fonctionnement des radars (pulsé FM, FM-CW), le type d'antenne en fonction du budget puissance disponible.

Dans l'analyse présentée, l'équation radar, ainsi que les effets de propagation susmentionnés, servent à simuler la puissance du signal des échos radar sous différentes conditions découlant des paramètres clés choisis et des propriétés physiques du milieu sous la surface. L'étude a pour objectif de démontrer si le système est réalisable et s'il peut être construit avec les technologies disponibles aujourd'hui. En raison du contexte très contraignant des applications pour la protection du public et secours en cas de catastrophe, les idées développées ici revêtent un caractère tout à la fois prospectif et exploratoire, l'objectif étant d'examiner si, dans un avenir proche, une telle solution est applicable.

En conclusion de cet avant-propos, nous tenons à remercier chaleureusement les auteurs pour leurs contributions à ce numéro des *Comptes rendus Physique* (Académie des sciences, Paris), le bureau éditorial et les rapporteurs, pour leur assistance. Nous espérons que le lecteur appréciera autant que nous ce dossier sur le thème des « Radiosciences au service de l'humanité ».

Comité de lecture

- Jacques Villain, Académie des sciences
- Denis Gratiàs, Académie des sciences
- Frederique de-Fornel, CNRS – Université de Bourgogne Franche-Comté, France

- Madhu Chandra, Chemnitz University of Technology, Allemagne
- Orhan Altan, Istanbul Technical University, Department of Geomatics, Turquie
- Dr. Plamena Zlateva, ISER – Académie des sciences de Bulgarie
- Dimeter Velez, Université d'économie nationale et mondiale, Bulgarie
- Andrew F. Peterson, Georgia Tech Computational Electromagnetics, USA
- Dr.-Ing. Thomas Eibert, Université technique de Munich, Allemagne
- Giuseppe Vecchi, École polytechnique de Turin, Italie
- Joël Hamelin, URSI France
- Jean Isnard, URSI France
- Tullio Joseph Tanzi, Institut Mines-Telecom – Telecom ParisTech, France

Tullio Joseph Tanzi *

*Institut Mines-Télécom – Télécom ParisTech, Université Paris-Saclay, LCTI
Campus SophiaTech Les Templiers, 06410 Biot, France
E-mail address: tullio.tanzi@telecom-paristech.fr*

Madhu Chandra

*Chemnitz University of Technology
Str. der Nationen 62, 09111 Chemnitz, Germany
E-mail address: madhu.chandra@etit.tu-chemnitz.de*

* Corresponding author.