



## Radio science for connecting humans with information systems / L'homme connecté

## Foreword



In 2014, URSI-France organized its yearly scientific workshop, whose topic was the connection between humans and information systems. In addition to being highly topical in terms of societal impact, this area of research embodies a large spectrum of scientific disciplines, which play a critical role and allow one to progress in terms of understanding of the various issues and of technological developments.

How can man be “connected” with an “information system”? The simplest way is to go through the human senses, which can be activated and transformed into engineered signals owing to an external transducer, then communicated through a classical communication medium as air (wirelessly). The other way, technically much more difficult, but carrying immense future potentialities, is the direct connection between internal organs (such as nerves or brain cells) and an artificial device, which serves as a gateway between the biological world and the electronic world. In all cases, the technology/body interfaces require a careful design and must take into account many compatibility aspects between these two worlds, foreign to each other.

URSI (“Union radio scientifique internationale”) is a world-level body under the umbrella of the International Council for Science Unions (ICSU). This scientific society is responsible for stimulating and coordinating, on an international basis, studies, research, applications, scientific exchange, and communication in the fields of radio science. Basically, one main driving force of URSI is to be a scientific aggregator and a catalyser for radio science research, often leveraging on its multidisciplinary and interdisciplinary capacities. This is typical of the connection between biology and electromagnetism, see, e.g., the May 2013 issue of this journal (*Electromagnetic fields, from dosimetry to human health*). URSI-France is the French branch of URSI; it acts through 10 thematic commissions covering all areas of URSI, and involves them as much as possible within its annual workshop on topics changing every year.

In this issue, we focus on the *interaction between radio waves and the human body*, and on the inherent scientific/technical challenges to achieve properly designed devices and systems. The authors of the seven papers of this dossier have been selected by the scientific committee of the URSI-France 2014 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 R. Mitharwal and F. Andriulli, presents a Boundary Element Method (BEM) formulation for contactless electromagnetic field assessments. The objective is to be able to characterize accurately the electromagnetic fields generated within the body, from the knowledge of those generated at the surface of a “Huygens box”, as a substitute to the full 3D description of the generating source (such as a radio device). The paper highlights a “regularization” and hybridization mathematical technique, which makes the problem numerically solvable efficiently.

The second paper, by K. Ali et al., addresses the propagation of radio waves around the body, according to a mechanism known as “creeping waves”. Such waves are important to understand how a device can radiate around the body; they have many implications as regards benefits for communications or more generally the impact of radiated waves by a device in close proximity to the body. The presented work concentrates on the simplified geometry of the cylinder, which is a very simplified shape of body, but has the advantage to allow an easy modelling and an easier comprehensive understanding than with complex shapes. The paper describes methods involving the Green’s function for such a cylinder, which are important building blocks for electromagnetic modelling in general.

The third paper is authored by C. Roblin, and describes a methodology for the statistical assessment of the electromagnetic field exposure. When field exposure sensors are directly worn by a user, body proximity effects can introduce significant errors in the ambient field measurement. Relying on extensive electromagnetic simulations as well as on measurements of a triaxial sensing probe placed at different positions on a set of whole-body phantoms, the proposed approach consists in accounting for the propagation environment in a stochastic fashion. Quantitative results are obtained using statistical channel models for polarimetric and non-polarimetric measurements in various propagation scenarios, and preliminary correction schemes are suggested.

In the fourth paper, by M. Grzeskowiak et al., monolayer and compact multilayer stacked ingestible coils are investigated in view of ingestible capsule systems, the ingestible coil transmitting to on-body receive coils. The inductive link through

the human body is modelled in order to evaluate the efficiency of the near-field magnetic induction link in the air, in the homogeneous human body and in the three-layer human body, also accounting for coupling effects.

The fifth contribution, authored by A. Cihangir et al., presents a feasibility study to design 4G antennas for eyewear devices. Those eyewear devices should be connected with the last-generation cellular networks, Wireless Local Area Networks or wireless hotspots. Specific Absorption Rate (SAR) simulations when the eyewear is positioned over homogeneous and heterogeneous phantoms are somewhat higher than authorized levels with worrying high electromagnetic field distributions close to the eyes of the user. The paper further presents experimental results obtained with 3D printed eyewear devices and coupling elements etched on classical PCB substrates, with simulated and measured values in very good agreement.

The sixth paper, by T. Andriamiharivolamena et al., reports on the design and the realization of a compact wearable monopole antenna directly placed over an on-body Artificial Magnetic Conductor (AMC). The major contribution is that there is neither space between the monopole and the AMC, nor between the AMC and the body. Simulation results and measurements are in good agreement and show that the antenna's performances are as good as the best ones reported so far in the literature, while having a smaller volume.

In the seventh and final paper, Vin et al. consider a novel high-accuracy localization approach, combining fingerprinting and polarization diversity. On-site measurements illustrate that this method can be useful in the context of search and rescue activities or electronic surveillance in urban areas.

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 expert assistance. We hope that you will enjoy this issue on how radio science can help better (re)connect humans with information systems.

## Avant-propos

En 2014, Ursa-France a organisé ses journées scientifiques annuelles sur le thème de la connexion entre l'homme et le monde du numérique. Outre l'actualité du sujet, compte tenu de son impact sociétal grandissant, il emporte un large spectre disciplinaire, qui joue un rôle critique au plan de la compréhension des divers mécanismes impliqués et des développements technologiques.

De quelle façon l'homme peut-il se « connecter » à des systèmes d'information ? La méthode la plus simple est d'utiliser les sens, qui peuvent être actionnés et participer à l'émission de signaux électriques/électromagnétiques au travers de transducteurs et à leur transmission sur un milieu de propagation classique (l'air, s'agissant de technologies sans fil). L'autre méthode, bien plus complexe, mais porteuse de grands progrès futurs, est d'interfacer directement ces signaux avec des organes internes tels que les nerfs ou les cellules neuronales. Dans tous les cas, ces passerelles exigent une conception fine et doivent prendre en compte la compatibilité entre les mondes de la biologie et de l'électronique, étrangers l'un à l'autre.

L'Ursa (Union radio scientifique internationale) est un organisme opérant au niveau mondial dans le cadre du Conseil international pour les unions scientifiques (Icsu). 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. Une des raisons d'être principales de l'Ursa est sa vocation à agir en tant que catalyseur pour la recherche dans le domaine, en s'appuyant sur ses capacités multidisciplinaires et interdisciplinaires. Cela est typiquement le cas des liens entre biologie et électromagnétisme, voir par exemple le numéro de mai 2013 des *Comptes rendus Physique* (*Champs électromagnétiques : de la dosimétrie à la santé humaine*). Ursa-France est le comité national français de l'Ursa, agissant au travers de ses 10 commissions thématiques, et impliquant ces dernières aussi largement que possible dans l'élaboration de journées scientifiques annuelles sur des thèmes tournants.

Dans ce numéro, on se concentre sur *l'interaction entre les ondes radio et le corps humain*, et sur les défis scientifiques et techniques pour aboutir à des dispositifs et systèmes bien conçus. Les auteurs des sept articles de ce dossier ont été sélectionnés par le comité scientifique des journées 2014 d'Ursa-France et invités à soumettre une version étendue, relue, critiquée et amendée conformément aux règles des *Comptes rendus Physique*.

Le premier article, par R. Mitharwal et F. Andriulli, présente une formulation de la méthode des éléments de frontière (BEM) pour l'évaluation sans contact du champ électromagnétique. L'objectif est de caractériser avec précision les champs électromagnétiques à l'intérieur du corps, à partir de ceux représentés sur une surface de Huygens et représentant la source 3D du rayonnement (se substituant aux détails du dispositif). L'article s'appuie sur une technique mathématique de régularisation et d'hybridation, qui rend le problème numérique soluble efficacement.

Le deuxième article, par K. Ali et al., porte sur la propagation des ondes radio autour du corps, selon un mécanisme connu sous le vocable d'« ondes rampantes ». De telles ondes sont importantes pour comprendre comment un dispositif peut rayonner de l'autre côté du corps, et elles ont d'importantes implications en ce qui concerne les communications radio ou plus largement l'impact des ondes rayonnées par un dispositif proche du corps. Le travail présenté se concentre sur une géométrie particulière, qui est le cylindre, comme modèle simplifié du corps, avec l'avantage d'une modélisation et d'une compréhension facilitées de ces effets. L'article décrit des méthodes mettant en jeu les fonctions de Green pour le cylindre, qui constituent des briques élémentaires pour la modélisation électromagnétique.

Le troisième papier a pour auteur C. Roblin, et décrit une méthodologie pour l'évaluation statistique de l'exposition aux champs électromagnétiques. Lorsque les dosimètres sont directement portés par un utilisateur, les effets de proximité du

corps peuvent introduire des erreurs importantes dans la mesure du champ ambiant. Se fondant sur des simulations électromagnétiques ainsi que sur des mesures par une sonde triaxiale placée à différentes positions sur un ensemble de fantômes, l'approche proposée consiste en la prise en compte de l'environnement de propagation d'une manière stochastique. Des résultats quantitatifs sont obtenus en utilisant des modèles de canaux statistiques pour des mesures polarimétriques et non polarimétriques, et des concepts préliminaires de correction sont suggérés.

Dans le quatrième papier, par M. Grzeskowiak et al., des boucles monocouche et multicouche compactes sont étudiées pour des systèmes de gélule ingérable. Le lien inductif à travers le corps humain est modélisé afin d'évaluer l'efficacité de la liaison de l'induction magnétique en champ proche dans l'air, dans un corps humain homogène et dans un corps humain à trois couches, également en tenant compte des effets de couplage.

La cinquième contribution, rédigée par A. Cihangir et al., propose une étude de faisabilité afin de concevoir des antennes 4G permettant de connecter des lunettes à des réseaux cellulaires de dernière génération, des réseaux sans fil locaux ou des *hot spots*. Il ressort de l'étude que les débits d'absorption spécifique (DAS) simulés sur des fantômes homogènes et hétérogènes sont un peu plus élevés que les niveaux autorisés, notamment à proximité des yeux de l'utilisateur. L'article présente en outre des résultats expérimentaux obtenus avec des lunettes imprimées en 3D, avec des valeurs simulées et mesurées en très bon accord.

Le sixième article, par T. Andriamiharivolamena et al., a pour objet la conception et la réalisation d'une antenne de type monopole placée directement au-dessus d'un conducteur magnétique artificiel (AMC) sans introduire une couche supplémentaire entre les deux. Les résultats des simulations, qui ont été validés par des mesures, montrent que les performances de l'antenne étudiée sont aussi bonnes que celles rapportées jusqu'à présent.

Dans le septième et dernier article, I. Vin et al. envisagent une nouvelle approche de localisation de haute précision, combinant identification d'empreinte et diversité de polarisation. Des mesures sur site montrent que cette méthode peut être utile dans le contexte de la surveillance ou de la recherche de personne en environnement urbain.

En conclusion de cet éditorial, 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 de la (re)connexion entre l'homme et le monde du numérique !

Alain Sibille  
LTCl, CNRS, Télécom ParisTech, Université Paris-Saclay,  
46, rue Barrault, 75013 Paris, France  
E-mail address: [alain.sibille@telecom-paristech.fr](mailto:alain.sibille@telecom-paristech.fr)

Claude Oestges  
ICTEAM Electrical Engineering, Université catholique de Louvain,  
3, place du Levant, B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgium  
E-mail address: [claudio.oestges@uclouvain.be](mailto:claudio.oestges@uclouvain.be)