



Propagation and remote sensing / Propagation et télédétection

Foreword

The properties of propagation media are at the heart of remote sensing, because they are affecting the visibility of targets and profoundly influence the structure of equipment. Moreover, the targets interact with their environments necessitating a good knowledge of the latter, i.e. sea, vegetation, clouds, dust... which are themselves subjects of research.

The articles of the present issue originate in the annual workshop of CNFRS (Comité national français de radioélectricité scientifique, also called URSI-France), the French committee of URSI (Union radio scientifique internationale), which took place in March 2009 in Paris. Its theme was "Propagation and remote sensing". Even if propagation is limited to non-ionised media, it constitutes a broad and diverse domain. Consequently, the workshop is not intended to be exhaustive, but rather to offer scientists an opportunity to present their ongoing work and invite them to discuss with their peers in a confident way. Among the submitted presentations, the scientific committee selected eleven articles, which are representative of the workshop.

With respect to propagation, one can refer in a first approximation to the many Reports and Recommendations of ITU-R. However, given the diversity of applications and the complexity of propagation media these documents are no longer sufficient. Five articles of the present issue of *Comptes rendus* illustrate this situation.

It would, however, appear that beyond the manifold studies on local configurations the task of integrating general and local models in a coherent and efficient way remains to be done.

As far as targets are concerned, the situation is similarly complex. Physical properties of targets as well as those of their environment are another factor to be taken into account in the design of equipment.

The study of physical phenomena, depending highly on frequencies, shows that the determination of spectrum access conditions constitutes a necessary step in the scientific approach.

These conditions becoming increasingly compelling it is necessary to foresee the choice of the desired frequency bands well in advance so as to initialise the protracted process of allocation, with the need to find the best compromise in terms of measurement quality (if the frequency bands are not exactly those desired), the feasibility of sensors and the conditions of insertion among the many other applications. If, in spite of this compromise, the desired frequency bands are not available it will be necessary to start again the long process of request for a new allocation, which involves a great number of parties, and leads to uncertain results.

In the domain of remote sensing (called radiolocation in the ITU jargon) the next World Radiocommunication Conference (WRC-12, in Geneva January 23–February 17) will decide on three items of its agenda:

- Use of portion of VHF band (30–300 MHz) by the radiolocation service (Res. 611, item 1.14 of the agenda) with bandwidths no larger than 2 MHz;
- Use of the radiolocation service between 3 and 50 MHz to support high-frequency oceanographic radar operation (Res. 612, item 1.15) for a primary allocation with bandwidths no larger than 600 kHz;
- Use of the band 15.4–15.7 GHz by the radiolocation service including protection criteria to ensure that radiolocation systems can operate compatibly with systems already in the band, in particular taking account of the safety nature of the aeronautical radionavigation service (Res. 614, item 1.21).

Moreover, the WRC-12 will have to update the spectrum use between 275 GHz and 3000 GHz by passive services (Res. 950, item 1.6).

Finally, the Conference invites ITU-R to carry out studies (Res. 673, item 8.1.1.c) on possible means to improve the recognition of the essential role and global importance of Earth observation radiocommunication applications. Indeed, several international bodies such as the Group on Earth Observation (GEO), the World Meteorological Organization (WMO) and the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) are working on the matter; the collaboration of ITU-R with these bodies could be important; in particular, GEO is leading a worldwide effort to build a Global Earth Observation System of Systems (GEOSS) to provide comprehensive and coordinated Earth observations from thousands of instruments worldwide, transforming the collected data into vital information for society and mankind. Administrations are requested to favour the

utilization and benefits of these applications, for disaster management, resources and active and passive space-based sensing systems “as they apply to disaster and emergency relief situations” (ITU-D, Question 22/2).

Regarding propagation, three articles illustrate the diversity of ongoing studies aiming at a deeper knowledge and possibly in real time, of media properties.

In radiocommunication as time and frequency domains are currently used, the space domain is now explored. In “Characterisation, modelling and simulation of the MIMO propagation channel” G. El Zein et al. offer a large review of the various aspects of the MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) technique, namely the characterisation and the modelling of the propagation channel: deterministic and stochastic models, channel characterisation, measurement systems, simulation and optimisation. Of course, due to the broad variety of environments, some significant effort is still to be done. In remote sensing domain, multipaths are usually viewed as an obstacle to a stationary detection. One should take example of Radiocommunication to explore the subject and build up a strategy for using the phenomenon even if there is, like in radiocommunication, some price to pay to get benefit from it.

In “Assessment of rain fade mitigation techniques at EHF band with Syracuse 3, 20/44 GHz low elevation link” L. de Montera et al. are exploring the short-term forecasting of rain fade in view of implementing Fade Mitigation techniques (FMT) in a configuration of a low elevation angle (17°). They use the new generation of French military SATCOM system.

As far as attenuation levels are concerned, results are in good agreement with the ITU-R model (P 1623-1) at 22 GHz. But the model cannot be used at 44 GHz because clouds and gas contributions cannot be neglected, so a “frequency scaling factor” has to be calculated from the lower frequency.

Concerning real-time fade mitigation the ARIMA-GARCH model has been found too pessimistic in terms of prediction errors due probably to the frequency scaling factor (from Ka-band to Q-band) used to predict the uplink channel propagation conditions from those of the down link. Further studies should clarify this point.

It should be noted that these bands are used not only for radiocommunications but also for remote sensing, particularly for airborne equipment.

A new way to get a fine insight on propagation mechanisms is to use reverberation chambers techniques, which are now well mastered. In “Coupled reverberation chambers for emulating MIMO channels” O. Delangre et al. describe an experimental set up for emulating MIMO channels, based on two mode stirred reverberation chambers, coupled through a waveguide. With such a device, it is possible to control the order of the channel diversity, the chambers generating a Rayleigh environment.

Reverberation chambers with an aperture on the front face can also be used to generate high power microwave pulses. M. Davy et al. in “Focusing and amplification of electromagnetic waves by time-reversal in a leaky reverberation chamber” take advantage of the pulse compression property of time reversal, the so-called Time Reversal Mirror (TRM), to generate high amplitude peaks outside the chamber. Comparison with a directive antenna of the same aperture is given.

Practical applications for railways gave E. Masson et al. the opportunity to revisit an ancient subject in their article “Radio wave propagation in arch-shaped tunnels: measurements and simulations using asymptotic methods”. This is an example for which the ITU-R Recommendations are of little use. Logically for a first approach the authors chose to use asymptotic methods such as ray tracing and ray launching, these solutions being well matched to the considered bands (above 1 GHz). To take care of the increasing number of images induced by tessalation in the case of curved surfaces the authors treat systematically and carefully its influence. It comes that the results of the ray launching method with the interpolation of the facets’ normals are in good agreement with experimental results. Further studies on this interesting subject are expected.

As far as remote sensing is concerned a very interesting configuration from both a theoretical as well as a practical point of view is the one described by F. Barbaresco and U. Meier in “Radar monitoring of wake vortex: electromagnetic reflection of wake turbulence in clear air”. This article combines, on the one hand, propagation and air reflectivity, and on the other, a description of wake vortex physics and the origin of wake vortex radar cross section (RCS) in clear air. This allows to explain measured Doppler radar signature.

This shows that a precise model of the aerological phenomena is indispensable for extracting relevant data from radar Doppler spectra.

The interaction of a target with its environment is, of course, largely depending on the physical properties of the latter; two articles are devoted to the very difficult subject of detecting objects near the surface of conducting or partially conducting rough surfaces.

The scattering from canonical (cylinder and cross) objects above a sea-like one-dimensional rough surface in monostatic configuration is the subject of G. Kubické et al. in “Monostatic RCS of an object above a sea surface from a rigorous method”. The authors have developed a fast numerical method the main interest of which is to confirm physical mechanisms of the coupling, for example that the detection of objects in such configuration of a slightly rough sea surface is easier in H polarisation.

In “Low-grazing angles scattering of electromagnetic waves from one-dimensional natural surfaces: rigorous and approximate theory” P. Spiga et al. propose an extrapolation technique for faster monostatic diagram computation than the so-called Grazing Method of Moment. They underline the sensitivity to the nature of the lower medium rather than the roughness parameters.

Three quite different subjects illustrate the variety of remote sensing situations.

The electromagnetic scattering by time-evolving sea surfaces illuminated by high-frequency (3–30 MHz) surface wave radars (HFSWR) is modelled in order to extract the characteristics of sea states (direction and speed of wind) from the

spectrum by Y. Demarty et al. in “Modelling of the electromagnetic scattering by sea surfaces at grazing incidence. Application to HF surface wave radars”.

In their article “Observing ice clouds with a Doppler cloud radar” A. Plana-Fattori et al. are looking for more realistic retrievals of vertical structures of microphysical properties of clouds containing ice particles obtained with the help of a vertically looking Doppler radar (95 GHz). One knows that the properties of ice clouds are difficult to summarise by a simple set of constants. The authors propose a higher order approximation between ice particle terminal velocity and radar reflectivity. The influence of height (between 6 and 10 km) is underlined. The method will certainly be useful to evaluate atmospheric models.

The remote sensing of targets embedded in a complex environment (forest) by means of an airborne SAR is the subject of F. Brigui et al. in “New polarimetric signal subspace detectors for SAR processors”. The authors underline the fact that a precise representation of media properties leads not only to the choice of a suitable band but also influences the radar structure including the signal processing. In addition the latter has to be integrated into an airborne SAR equipment. At this occasion the authors revisit in a singular way the theory of radar taking into account polarisation effects. First experimental validations are encouraging and should incite the authors to pursue their study including the origins of false alarms.

There is not only a great diversity of research work underway but also a broad variety of applications for which the findings of the former are essential.

As an illustration the Scientific Committee selected the article “Radio science and disaster management” by T. Tanzi and F. Lefeuvre, which encompasses numerous results indispensable for the pursuit of this vast and important subject.

To our regret we have to admit that given the small number of presentations on passive remote sensing, it was irrelevant to select articles for the present issue of *Comptes rendus*. Although it is undeniable that researchers in both active and passive remote sensing have developed their own corpus of concepts, it may surprise that they don't interact more. In conclusion of this very interesting workshop, we would like to express the wish that co-operation between researchers of the two groups be developed.

The Scientific Committee also selected six articles dealing with engineering matters for publication in *REE (Revue de l'électricité et de l'électronique)*, February 2010.

Avant-propos

Les propriétés des milieux de propagation sont au cœur même de la télédétection car elles affectent la visibilité des cibles et influent profondément sur la conception des équipements. De plus, les cibles recherchées interagissent avec leurs environnements ce qui demande de bien connaître ces derniers, mer, végétation, nuage, poussières . . . , eux-mêmes objets de recherche.

Les articles ont pour origine les Journées scientifiques d'URSI-France (officiellement le Comité national français de radioélectricité scientifique, CNFRS), section française de l'URSI (Union radio scientifique internationale) qui se sont tenues à Paris en mars 2009 ; le thème en était « Propagation et télédétection ».

Même si la propagation est ici entendue limitée aux milieux non ionisés le thème de ces journées constitue un domaine considérable ; aussi ne s'agissait-il pas d'être exhaustif mais bien plutôt d'offrir aux scientifiques une occasion d'exposer leurs travaux en cours et d'engager des discussions avec leurs pairs dans une atmosphère confiante.

Parmi les présentations le Comité scientifique a sélectionné onze articles représentatifs de ces journées.

En ce qui concerne la propagation, si on peut se reporter, en première approximation, aux nombreux Rapports et Recommandations publiés par l'UIT-R, compte tenu de la diversité des applications et des milieux de propagation souvent complexes ces données générales ne suffisent plus. Cinq articles de ce numéro des Comptes rendus illustrent de telles situations.

On imagine, qu'au-delà des nombreuses études sur des cas particuliers, il restera la tâche d'intégrer, de manière cohérente et efficiente, les modèles généraux et locaux de propagation.

Pour ce qui est des cibles, la situation est tout aussi complexe. En effet, les propriétés physiques des cibles autant que celles de leurs environnements représentent le second facteur à prendre en compte dans la conception des équipements.

Les propriétés physiques de la propagation et des cibles sont fonction de la fréquence mais le spectre de fréquences, mis à part quelques bandes exclusives et protégées, n'est plus entièrement disponible ; il s'agira donc de trouver, dans chaque cas, une bande sous-optimale mais possible pour l'insertion harmonieuse des capteurs. Il en résulte que la détermination des conditions d'accès au spectre représente une phase nécessaire de la démarche scientifique. Ces conditions devenant de plus en plus contraignantes, il s'agit de prévoir longtemps à l'avance le choix des bandes souhaitées afin d'initialiser le long processus d'attribution, nécessitant de trouver les meilleurs compromis entre la qualité des mesures (si les bandes disponibles ne sont pas exactement celles souhaitées), la faisabilité des capteurs et les conditions d'insertion parmi les nombreuses autres applications. Si malgré ces compromis les bandes souhaitées n'étaient pas disponibles, il s'agirait alors d'engager un long processus de demande d'attribution, impliquant un nombre important d'acteurs, avec des résultats incertains.

Rappelons que la prochaine Conférence mondiale des radiocommunications (CMR-2012, Genève, 23 janvier–17 février 2012) décidera de l'attribution de trois bandes au profit de la radiolocalisation active :

- dans la bande 30–300 MHz, point 1.14 de l'ordre du jour (Rés. 611) ;
- entre 3 et 50 MHz pour les applications océanographiques, point 1.15 de l'ordre du jour (Rés. 612) ;
- utilisation de la bande 15,4–15,7 GHz, point 1.21 de l'ordre du jour (Rés. 614).

En outre, l'identification des besoins en fréquences des services passifs de détection entre 250 GHz et 3 THz est l'objet du point 1.6 de l'ordre du jour (Rés. 950).

Enfin, notons que le point 8.1.1.c (Rés. 673) de cette même CMR vise à améliorer la reconnaissance des applications d'observation de la Terre et la connaissance de son utilisation (Services scientifiques). Est ainsi souligné l'effort mondial pour développer un système global d'observation de la Terre (GEOSS) centralisant les données acquises par les capteurs nationaux ou régionaux dans le but de les mettre à la disposition de l'humanité entière à des fins de sauvegarde de la vie, du développement économique, de la gestion des désastres, etc. L'importance de GEOSS a été soulignée au sommet mondial sur l'observation de la Terre de novembre 2007, au Cap, durant lequel cette résolution de l'UIT-R a été mentionnée.

En propagation, trois articles illustrent la diversité des études en cours visant une connaissance approfondie et, si possible, en temps réel, des propriétés des milieux ; deux autres articles traitent plus particulièrement des applications de la compression d'impulsions par retournement temporel et à la propagation dans les tunnels ferroviaires.

En radiocommunications les domaines temporel et fréquentiel sont déjà bien utilisés pour les applications, aussi est-ce le domaine spatial qui est maintenant à l'étude. L'article « Caractérisation, modélisation, simulation et capacité du canal de transmission MIMO » de G. EL Zein et al. offre un large panorama des différents aspects de la technique MIMO (Multiple-Input Multiple-Output), en particulier la caractérisation et la modélisation du canal de propagation : modèles déterministe et stochastique, systèmes de mesure, simulation et optimisation. Naturellement, compte tenu de la variété des environnements, il reste de nombreux sujets à étudier. En télédétection, les multitrajets sont généralement vus comme un obstacle à une détection stationnaire : il serait peut-être intéressant d'initier une réflexion sur le bénéfice potentiel des multitrajets au prix bien entendu d'un surcoût de réalisation des équipements.

Dans « Performance des modèles de similitude et de prédiction appliqués aux affaiblissements atmosphériques mesurés en bande EHF » L. de Montera et al. étudient les possibilités de prévision, à court terme, des évanouissements des liaisons Terre-Espace-Terre dus à la pluie dans les visées à faible incidence (17°) afin de mettre en oeuvre, en temps réel, des techniques de compensation. La nouvelle génération de satellites militaires SATCOM constitue leur système de mesure.

Pour ce qui est des atténuations à 22 GHz les résultats sont en accord avec le modèle de la Recommandation UIT-R P.1623-1, mais celui-ci ne peut être utilisé à 44 GHz du fait que les effets des nuages et des gaz de l'atmosphère ne sont plus négligeables à ces fréquences. Un « rapport de similitude en fréquence » doit être déduit de la fréquence 22 GHz.

En ce qui concerne la compensation en temps réel, le modèle ARIMA-GARCH a été testé ; il a été trouvé trop pessimiste dans sa prévision des erreurs, ceci probablement en raison d'une évaluation erronée du « rapport de similitude en fréquence ».

L'emploi de grands systèmes, notamment à satellites, comme SATCOM ou des réseaux de navigation, comme moyens de mesure, tend à se généraliser pour le bénéfice de tous, exploitants et scientifiques. Notons que ces bandes sont également utiles pour les équipements de télédétection aéroportés.

Une nouvelle façon d'explorer finement les mécanismes de propagation est de les reproduire en laboratoire grâce à la technique des chambres réverbérantes. Dans leur article « Emulation de canaux MIMO grâce à des chambres réverbérantes couplées » O. Delangre et al. décrivent un tel système expérimental fondé sur deux chambres réverbérantes couplées par guide d'ondes. Il est ainsi possible de provoquer expérimentalement des ordres de diversités de canal, le dispositif fournissant un environnement de Rayleigh.

Les chambres réverbérantes ont aussi la propriété de fournir de grandes amplitudes de signal micro-onde par la technique de compression d'impulsion par retournement temporel. C'est ce que décrivent M. Davy et al. dans leur article « Focalisation et amplification d'ondes électromagnétiques par retournement temporel dans une chambre réverbérante ». Les résultats sont établis par référence avec une antenne d'ouverture identique.

A l'occasion d'applications pratiques importantes pour les chemins de fer, E. Masson et al. reprennent un sujet ancien mais encore mal résolu dans leur article « Modèles asymptotiques et surfaces courbes : application au transport ferroviaire ». Voilà une configuration pour laquelle les Recommandations de l'UIT-R sont de peu d'aide ; très logiquement pour cette première approche, les auteurs ont choisi de mettre en oeuvre des méthodes de type asymptotique telles que le tracé de rayons ou le lancé de rayons, ces méthodes étant bien adaptées aux bandes considérées (au-dessus de 1 GHz). L'approximation des surfaces par des facettes planes conduit à un nombre croissant d'images, aussi l'influence de ce phénomène est-il traité de manière systématique et avec soin par les auteurs. Les résultats de calcul avec la technique de lancé de rayons sont en accord avec ceux des mesures. On attend la suite des travaux avec beaucoup d'intérêt.

En ce qui concerne la télédétection, cinq articles illustrent la diversité des situations rencontrées.

Une configuration particulièrement intéressante, aussi bien du point de vue théorique que pratique, est celle décrite par F. Barbaresco et U. Meier dans leur article « Télédétection radar de turbulences de sillages : rétro-propagation en air clair ». Dans cet article, sont combinées la propagation et la réflectivité de l'air en mouvement grâce à une représentation dynamique des turbulences, d'une part, avec les origines de la surface équivalente radar (SER) de la signature Doppler des turbulences, d'autre part, afin de comprendre les relations entre turbulence et signature radar. Ici, on voit combien une modélisation précise des phénomènes aérologiques est indispensable pour induire des résultats pertinents de l'observation des spectres Doppler.

L'interaction d'une cible avec son environnement est naturellement largement dépendante des propriétés physiques de ce dernier ; deux articles portent sur le sujet difficile de la détection d'objets très près d'une surface rugueuse conductrice ou qui l'est partiellement.

Dans leur article « Modélisation numérique de la diffraction de surface aux angles rasants » P. Spiga et al. propose une méthode de calcul de diagramme de rétro-diffusion plus rapide que la dite « Méthode des moments à incidence rasante ». Les auteurs mettent en évidence quantitativement la sensibilité comparée de la nature du milieu et de la rugosité des surfaces.

Trois sujets différents illustrent la variété des situations rencontrées en télédétection.

Y. Demarty et al. dans leur article « Modélisation de la diffusion électromagnétique par surfaces de mer en incidence rasante. Application aux radars HF à ondes de surface », établissent un modèle de diffusion de la surface de la mer en mouvement par les ondes HF (3–30 MHz) d'un radar à ondes de surface afin de mesurer l'état de la mer (direction et vitesse du vent) au large.

Dans leur article « Observation des nuages de glace avec un radar Doppler » A. Plana-Fattori et al. établissent une méthode permettant de trouver, de manière assez précise, la structure verticale des propriétés microphysiques des nuages contenant des particules de glace, à l'aide d'un radar Doppler émettant à 95 GHz à visée verticale. Ici aussi, compte tenu de la complexité des phénomènes, il est difficile de résumer ces propriétés en quelques nombres. Les auteurs proposent une méthode d'approximation reliant mouvement des particules de glace et signature radar. L'influence de l'altitude (6–10 km) est prise en compte. Cette méthode devrait être utile pour évaluer les modèles d'atmosphère.

La détection d'objets immergés dans un environnement complexe (forêt) au moyen d'un radar SAR aéroporté est le sujet de F. Brigui et al. dans leur article « Processeurs SAR basés sur des détecteurs à sous-espaces pour des applications FOPEN ». Les auteurs illustrent le fait qu'une représentation précise des propriétés du milieu de propagation conduit non seulement à un choix de bande de fréquences adaptée mais influe sur la conception du radar jusque et y compris le traitement du signal ; en outre, dans ce cas, ce dernier devra s'intégrer dans un équipement SAR aéroporté. C'est l'occasion pour les auteurs de visiter, à nouveau et de manière originale, la théorie du radar prenant en compte les effets de polarisation. Les premières vérifications expérimentales encourageantes devraient inciter les auteurs à poursuivre leurs travaux, notamment en y intégrant la recherche des sources de fausses alarmes.

A la diversité des travaux présentés ci-dessus correspond celle, tout aussi grande, des applications souvent très complexes dans lesquelles les résultats de ceux-ci sont mis en oeuvre. C'est ce que le Comité scientifique a souhaité illustrer en sélectionnant l'article « Radios sciences et gestion des catastrophes » par T. Tanzi et F. Lefeuvre dans lequel est sommairement brossé l'éventail des sujets dont les acquis sont indispensables aux travaux de ce thème aussi vaste qu'important.

Il faut aussi confesser le regret que le faible nombre d'exposés portant sur la détection passive n'ait pas permis une sélection pertinente d'articles. Au-delà de ce constat, on a l'impression que les scientifiques travaillant dans les domaines de télédétection active et passive pourraient coopérer encore plus ; certes chacun des domaines a développé un corpus de concepts nécessaire à l'efficacité des études, mais il semble dommage qu'une plus grande coopération n'ait pas lieu : c'est un vœu que nous formulons en conclusion de ces Comptes rendus issus de Journées scientifiques passionnantes.

Six autres articles dont les sujets sont orientés ingénierie systèmes ont été choisis par le Comité scientifique pour publication dans la REE (Revue de l'électricité et de l'électronique) numéro de février 2010.

Jean Isnard
Président de la Commission F « Propagation et télédétection » d'URSI-France
Académie des sciences
23, quai de Conti
75270 Paris cedex 06
E-mail address: jisnard-isti@club-internet.fr

Available online 25 February 2010