



# Journées « Propagation radioélectrique »

## Introduction

**Jacques Claverie**

Membre senior de la SEE  
Chercheur associé au CRéC St-Cyr

**Ces journées d'étude ont connu leur troisième édition à l'INSA de Rennes, en novembre 2023. Le sujet de la propagation hertzienne avait fait l'objet d'un gros plan publié dans la REE, dans le numéro 2022-2. Nous revenons ici sur les temps forts de l'édition 2023 en insistant sur la richesse et la variété des applications abordées.**

### Contexte scientifique

S'intéresser aux phénomènes de propagation affectant les ondes radio c'est faire le lien entre les théories de l'électromagnétisme et des champs d'applications technologiques en évolution perpétuelle. Que de chemin parcouru depuis les précurseurs que furent Marconi pour les radiocommunications et Hülsmeyer pour les systèmes radar. Comme je le disais souvent à mes élèves de St-Cyr, quand on s'intéresse aux radiocommunications on choisit un aller simple mais quand on fait du radar il faut considérer l'aller-retour !<sup>1</sup>

Qu'il s'agisse de systèmes de télécommunication ou de détection, toutes les

gammas des fréquences radio sont utilisées : des très basses fréquences jusqu'aux THz désormais. Les applications visées peuvent être très courte distance ou longue distance. Quant aux débits numériques (donc aux bandes passantes nécessaires) à acheminer la tendance est au « toujours plus ».

Etudier la propagation des ondes radio dans le vide serait d'un ennui mortel. En environnement terrestre, il faut prendre en compte les effets atmosphériques, les effets du sol, du sursol et des obstacles d'origine humaine. Réfraction, réflexion, diffraction, atténuation, dépolarisation sont les phénomènes à quantifier pour calculer et prédire les performances des systèmes que l'on souhaite déployer. Et même le traitement de signal le plus ingénieux ne pourra rien contre les lois de la physique. Bien comprendre ces lois,

pour mieux jouer avec - pas contre -, en toute humilité, voilà tout l'enjeu !

### Historique des journées

Si les journées d'étude dont nous parlons s'intitulent « Propagation radioélectrique », il ne faut pas oublier la mention complémentaire « caractérisation de l'environnement ». Cela peut s'interpréter d'au moins deux façons :

- Avec quelle finesse, quels détails, doit-on décrire l'environnement de propagation compte tenu des performances que l'on souhaite atteindre ?
- Dans quelle mesure l'analyse des signaux reçus, comparativement à celle des signaux émis, nous renseigne-t-elle sur certaines caractéristiques du milieu traversé ?

<sup>1</sup> En configuration monostatique, évidemment.

La première édition des journées d'étude « Propagation Radioélectrique - caractérisation de l'environnement » a eu lieu à Rennes en novembre 2018 à l'initiative conjointe du groupe Ouest de la SEE et de la Direction générale de l'armement (DGA) <sup>2</sup>. Sur un plan logistique, l'organisation des journées a été soutenue par l'IMT Atlantique, site de Rennes.

La 2<sup>ème</sup> édition s'est déroulée, par chance entre 2 vagues de COVID 19, en novembre 2021 et a reçu le soutien scientifique de l'URSI-France.

Pour la 3<sup>ème</sup> édition, en novembre 2023, l'INSA de Rennes a rejoint les deux organisateurs historiques en apportant soutien logistique et scientifique, la caution scientifique d'URSI-France étant toujours acquise.

Deux partenaires industriels ont également été fidèles à ces journées : il s'agit de Mathworks et d'Altair. Qu'ils soient ici chaleureusement remerciés pour leur engagement à nos côtés.

Lors de chacune des éditions une assez grande partie de la communauté française travaillant sur ces sujets a pris plaisir à se retrouver autour de plus d'une trentaine de présentations orales.

## Présentation des articles du dossier

Les présentations faites lors de l'édition 2023 des journées étaient toutes d'un excellent niveau scientifique <sup>3</sup>. Huit d'entre elles émanaient de doctorants et un prix de la meilleure présentation faite par un étudiant a pu être décerné. Le lauréat fait d'ailleurs partie des auteurs sélectionnés pour ce dossier.

<sup>2</sup> L'établissement DGA-MI situé à Bruz, dans l'agglomération rennaise, comporte de nombreux experts dans les domaines des radiocommunications et des radars.

<sup>3</sup> Niveau scientifique largement équivalent à celui de conférences internationales réputées et traitant du même sujet.

Les cinq articles qui composent ce dossier ont été choisis de façon à illustrer la grande diversité des travaux scientifiques (et des applications associées) décrits lors des journées d'études.

Le premier article de **Nicolas Bui et al.** traite d'une modélisation rigoureuse de la propagation longue distance pour des gammes de fréquence HF, VHF et UHF tout en prenant en compte la complexité des effets de terrain (relief, surfaces liquides, forêts, etc.).

Le deuxième article de **Joseph Hoellinger et al.** évoque les études menées au CEA Leti dans le domaine des communications V2V (véhicule à véhicule) qu'il faut caractériser si on espère un jour généraliser les véhicules autonomes. Des données expérimentales illustrent les travaux menés.

Le canal de propagation ferroviaire est également complexe à étudier : grandes vitesses de déplacement, nombreux pylônes métalliques, tunnels, etc. L'article de **Nicholas Attwood et al.** présente des travaux menés, tant à l'IMT Atlantique qu'à l'université Gustave Eiffel, pour développer de nouveaux sondeurs

de canal permettant d'effectuer les mesures expérimentales nécessaires au déploiement de futurs systèmes de radiocommunication ferroviaire.

Le quatrième article de **Gurjot Singh Bhatia et al.** de l'entreprise SIRADEL se focalise sur la modélisation et les mesures de propagation en milieu industriel. Il s'agit d'un milieu excessivement complexe : bâtiments et/ou hangars fermés contenant de nombreux obstacles métalliques. L'enjeu est d'importance dans le contexte du développement des réseaux 5G puis 6G pour l'industrie 4.0.

Le cinquième article de **Charles-Antoine Guérin et Dylan Dumas** nous permet de retrouver les grands espaces et des applications longue distance dans le domaine des radars. Il nous explique comment la propagation des ondes de sol dans la gamme HF permet de mesurer les courants maritimes et les vagues. L'article est illustré de résultats de mesures réalisées à partir de radars déployés sur la côte méditerranéenne.

Excellente lecture à toutes et tous ! ■

## Les articles

<b>Modélisation rigoureuse de la propagation horizontale longue distance dans des environnements réels - La simulation numérique à grande échelle</b> .....	p.70
<b>Mesures de canal radio dynamique véhicule à véhicule aux longueurs d'onde millimétriques</b> .....	p.77
<b>Cartes reconfigurables pour la caractérisation radio des milieux ferroviaires en bande sub-6 GHz et en bande millimétrique</b> .....	p.82
<b>Propagation radio en milieu industriel - Application de la modélisation par tracer de rayons</b> .....	p.90
<b>Les radars océanographiques en Méditerranée - Comment cartographier les courants et les vagues en temps réel jusqu'à 100 km des côtes ?</b> .....	p.96