



## L'ÉLECTROMAGNÉTISME, 150-1 UNE SCIENCE EN PLEINE ACTION !

### Étude de la propagation des ondes électromagnétiques pour le déploiement des réseaux sans fil à bord d'un bateau

### Electromagnetic waves propagation study for the deployment of wireless networks on board ships

---

*Hussein Kdouch\**, *Gheorghe Zaharia\**, *Christian Brousseau\*\**, *Hanna Farhat\**, *Thierry Tenoux\*\*\**,  
*Guy Grunfelder\**, *Ghaïb El Zein\**

\* IETR-INSA, UMR CNRS 6164, 20 avenue des Buttes de Coësmes, CS 70839, 35708 Rennes Cedex 7, France,  
{prenom.nom}@insa-rennes.fr

\*\* IETR-Université de Rennes 1, 263 avenue Général Leclerc, 35042 Rennes, France,  
christian.brousseau@univ-rennes1.fr

\*\*\* Siradel, 3 Allée Adolphe Bobierre 35000 Rennes, France, ttenoux@siradel.com

---

Mots-clefs : Propagation radioélectrique ; modèle d'atténuation ; sondage de canal ; navires.

Keywords: Radio wave propagation; path loss; channel sounding; ships.

---

#### Résumé

Afin de déployer des réseaux de communications sans fil (réseau local sans fil, réseau de capteurs, téléphone sans fil) à bord des navires, une étude de la propagation des ondes électromagnétiques (EM) est nécessaire dans cet environnement particulier. En effet, les communications sans fil à l'intérieur d'un bateau peuvent être sévèrement limitées par la structure métallique des ponts, des cloisons et des portes étanches. Cet article présente une étude expérimentale de la propagation des ondes EM à bord des navires. Ce travail fait partie du projet SAPHIR financé par la région Bretagne. Des mesures en porteuse pure, visant à déterminer la couverture radioélectrique pour des environnements typiques, ont été réalisées à bord d'un ferry. Ensuite, d'autres mesures, consistant en une caractérisation doublement directionnelle du canal de propagation en utilisant un sondeur MIMO (Multiple Input Multiple Output), ont été réalisées. Les mesures MIMO visent à déterminer les principales directions de propagation des ondes EM dans des scénarios typiques, tels que la communication entre des pièces adjacentes, les ponts adjacents, ou entre les cabines des passagers et les couloirs.

#### Introduction

Les télécommunications sans fil connaissent une croissance importante pratiquement partout dans le monde. Il est devenu plus économique et plus rapide d'installer des réseaux sans fil que de mettre en place une infrastructure filaire. Ainsi, les constructeurs de bateaux essaient de déployer différents types de réseaux sans fil à bord de leurs navires (réseaux WiFi pour les passagers, téléphones sans fil pour les membres de l'équipage, réseaux de capteurs sans fil pour le système d'alarme et de surveillance, etc.). Cependant, les communications sans fil à l'intérieur d'un bateau peuvent être sévèrement limitées par la structure métallique des ponts, des cloisons et des portes étanches.

Cet article présente une étude expérimentale de la propagation des ondes électromagnétiques (EM) à l'intérieur des bateaux. Différentes campagnes de mesures ont été effectuées à bord d'un ferry afin d'optimiser l'emplacement des points d'accès et les modules de communications sans fil. Des mesures en porteuse pure, visant à déterminer la couverture radioélectrique pour des environnements typiques, ont été réalisées à bord d'un ferry. Ensuite, d'autres mesures ont été réalisées pour une caractérisation bidirectionnelle du canal de propagation en utilisant un sondeur MIMO (Multiple Input - Multiple Output). Ces mesures MIMO visent à déterminer les principales directions de propagation des ondes EM dans des scénarios typiques, tels que la communication entre des pièces adjacentes (à travers des portes étanches métalliques), des ponts adjacents, ou entre les cabines des passagers et les couloirs.

#### 1. Mesures de propagation en porteuse pure à bord des bateaux

Afin de proposer un modèle de propagation spécifique à cet environnement, des mesures de la puissance reçue en fonction de la distance entre l'émetteur et le récepteur ont été effectuées à fréquence fixe, dans différentes parties caractéristiques de l'architecture d'un navire. En particulier, des mesures supplémentaires ont été aussi réalisées afin

d'estimer les pertes de puissance supplémentaires dues à la fermeture des portes étanches. La Figure 1 présente les pertes de puissance (en dB) en fonction de la distance (en m) pour tous les environnements et configurations étudiés à bord d'un ferry. Ces résultats montrent que l'exposant d'affaiblissement  $n$  est d'environ 4 pour la configuration sans visibilité directe (émetteur et récepteur placés dans deux pièces adjacentes avec une porte de communication ouverte) dans la salle des machines. Comme la cloison entre l'émetteur et le récepteur est totalement métallique, le trajet direct est absent. Dans ces conditions, la puissance reçue résulte des trajets multiples ayant subi plusieurs réflexions/diffractions sur les parois et les équipements métalliques de la salle. Les résultats montrent aussi que l'exposant d'affaiblissement  $n$  est inférieur à 2 pour toutes les configurations de mesure dans le parking. Les murs métalliques de cette salle permettent de guider les ondes EM entre l'émetteur et le récepteur quelles que soient les conditions de visibilité entre l'émetteur et le récepteur. Cependant, l'exposant d'affaiblissement  $n$  est supérieur à 2 sur le pont des passagers à cause des meubles situés autour des antennes [1]. Les mesures précédentes ont été effectuées lorsque l'émetteur et le récepteur étaient placés dans la même salle ou dans deux salles voisines dont la porte commune était ouverte. D'autres mesures ont été effectuées lorsque l'émetteur et le récepteur étaient placés dans deux salles voisines dont la porte étanche les séparant était fermée. Les résultats de ces mesures ont montré que la fermeture d'une porte étanche induit une atténuation moyenne supplémentaire de 25 dB lorsque la porte est proche du trajet direct entre l'émetteur et le récepteur, et de 17 dB lorsqu'elle est éloignée de ce trajet.

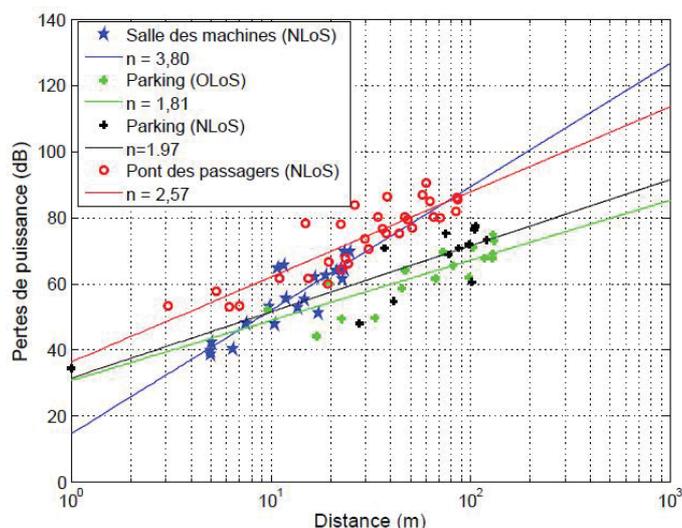


Figure 1 Pertes de puissance (dB) en fonction de la distance (m) pour différents environnements caractéristiques d'un ferry-boat.

## 2. Sondage de canal MIMO à bord des bateaux

Cette partie présente et analyse les résultats d'une caractérisation bidirectionnelle du canal de propagation en utilisant un sondeur MIMO. Cette campagne de mesures vise à déterminer les directions de départ et d'arrivée des ondes EM afin d'identifier les meilleurs emplacements pour les équipements sans fil. Les résultats recueillis ont été analysés à l'aide de la technique « Beamforming » [2] et de l'algorithme haute résolution SAGE [3]. Ils sont ensuite comparés aux résultats de simulations basées sur le tracé de rayons et effectuées par la société SIRADEL [4]. Le système de mesure consiste en un sondeur de canal MIMO et des réseaux d'antennes linéaires et circulaires, développés au sein de l'IETR [5]. Plusieurs configurations de mesures ont été considérées.

### 2.1. Propagation radioélectrique à travers les cloisons métalliques et les portes étanches

Malgré la structure entièrement métallique des cloisons et des portes étanches sur les ponts inférieurs des ferries, les mesures en porteuse pure ont montré que les communications sans fil entre pièces adjacentes restent possibles après la fermeture des portes étanches. Ce résultat prouve l'existence d'ouvertures dans la cloison commune entre pièces adjacentes. Cependant, les mesures en porteuse pure n'indiquent pas les sources de fuites radio. Ainsi, le sondeur de canal MIMO et les réseaux d'antennes sont utilisés pour identifier ces ouvertures en étudiant les directions de départ et d'arrivée des ondes électromagnétiques. Les environnements étudiés sont les ponts inférieurs du ferry où des portes étanches coulissantes métalliques sont utilisées entre les pièces adjacentes. L'environnement très métallique et confiné engendre plusieurs phénomènes de propagation (réflexion, diffraction, diffusion). Les mesures ont été effectuées en utilisant des réseaux d'antennes linéaires et rectangulaires à 2,2 GHz. L'étude a été limitée à une caractérisation de 120° dans le plan azimutal. Cela peut être suffisant pour caractériser les phénomènes de propagation à travers les cloisons et les portes étanches entre pièces adjacentes. La Figure 2 présente les positions de l'émetteur et du récepteur et des portes étanches notées WT1 et WT2 entre la salle des machines et une salle adjacente ainsi que les résultats de mesures analysés à l'aide de la technique Beamforming. La couleur indique l'amplitude normalisée suivant chaque direction de propagation. On peut remarquer clairement que l'énergie n'est pas uniformément répartie sur l'ouverture de 120°. Un faisceau rouge de 20° (entre 125° et 145°) est construit à l'émission tandis qu'un faisceau rouge de 50° (autour de 0°) est construit à la réception. Ces deux faisceaux correspondent à l'énergie allant vers la première porte étanche WT1 et

venant de la deuxième porte étanche WT2 respectivement. Ce résultat montre que, lorsque l'émetteur et le récepteur sont placés dans deux pièces adjacentes, les ondes EM se propagent principalement à travers les portes étanches même si elles sont fermées. D'autres scénarios de mesures, analysés par l'algorithme SAGE et comparés à des simulations basées sur le tracé de rayons, ont montré que les ondes EM se propagent à travers les ouvertures présentes sur les bords des portes étanches [6].

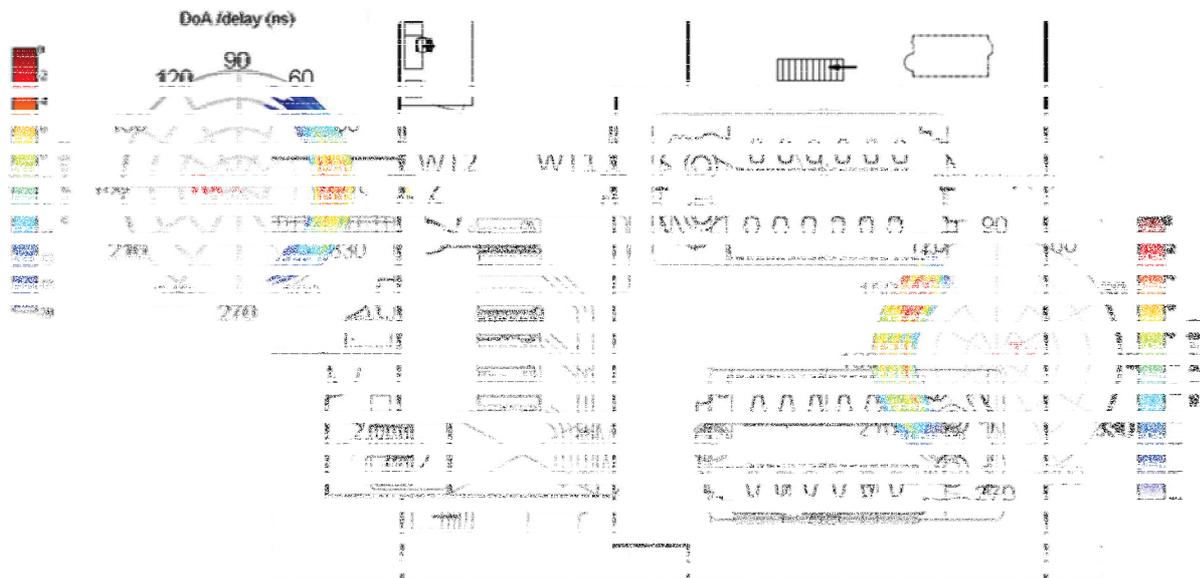


Figure 2 Résultats de mesure (diagramme coloré) d'un scénario de communication entre salles voisines dans les ponts inférieurs d'un ferry-boat.

## 2.2. Propagation radioélectrique sur le pont des passagers

Des réseaux d'antennes circulaires permettant une caractérisation sur 360° dans le plan azimutal ont été utilisés pour ces mesures (Figure 3). Les résultats de mesures (en noir) sont analysés par l'algorithme de haute résolution SAGE et comparés avec les résultats de simulation (en bleu). La comparaison montre que les ondes EM se propagent principalement à travers les corridors. Lorsque l'émetteur se trouve dans une cabine de passagers, les ondes EM pénètrent à travers les parois non métalliques fines des cabines avant d'arriver dans le couloir, dans lequel elles sont guidées jusqu'au récepteur.

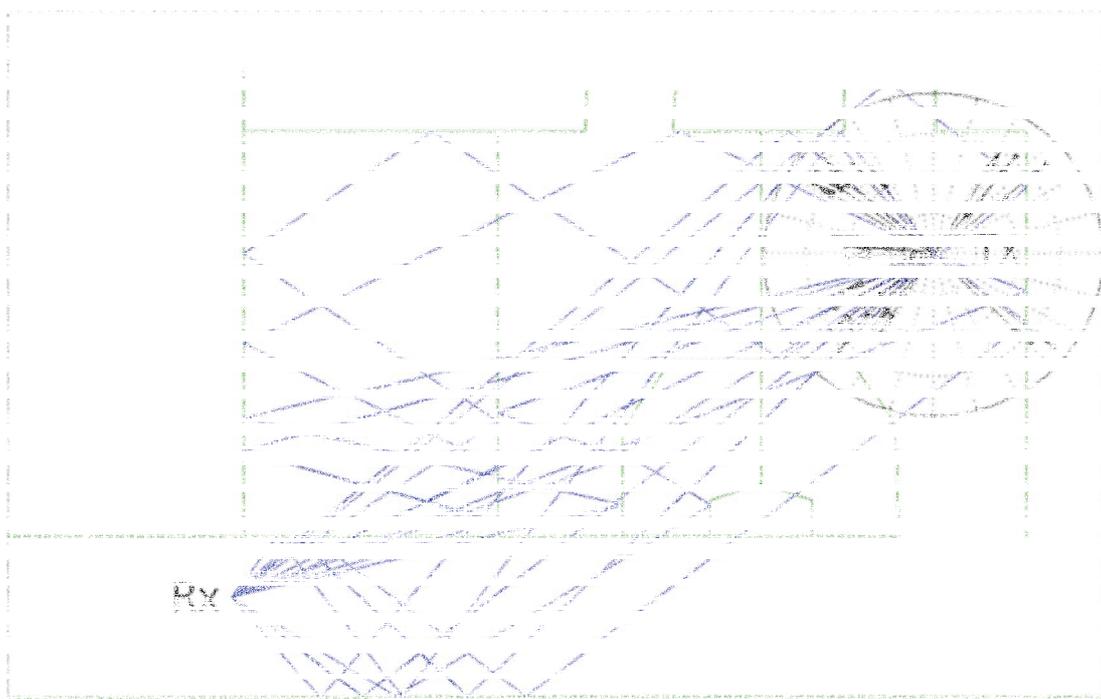


Figure 3 Résultats de mesure (en noir) et de simulation (en bleu) d'un scénario de communication entre une cabine et le couloir dans le pont des passagers de l'Armorique.

## Conclusion

Dans cet article, une étude de la propagation des ondes EM est réalisée à bord d'un bateau. Malgré la structure totalement métallique des cloisons et des portes, les mesures effectuées ont permis de vérifier la possibilité d'effectuer des communications sans fil dans cet environnement particulier. Les résultats de cette étude pourraient être utilisés pour déterminer les meilleurs emplacements des équipements radio (points d'accès, nœuds-capteurs) lors du déploiement des réseaux de communication sans fil à bord des navires.

## Références bibliographiques

- 1- H. Kdouh, C. Brousseau, G. Zaharia, G. Grunfelder and G. El Zein, "Measurements and path loss models for shipboard environments at 2.4 GHz", European Microwave Conference (EuMC), Manchester, United Kingdom, October 2011.
- 2- M. S. Bartlett, "An Introduction to Stochastic Process," New York: Cambridge Univ. Press, 1956.
- 3- B. H. Fleury, M. Tschudin, R. Heddergott, D. Dahlhaus, and K. I. Pederson, "Channel parameter estimation in mobile radio environments using the SAGE algorithm," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 17, no. 3, pp. 434-450, 1999.
- 4- <http://www.siradel.com>.
- 5- H. Farhat, R. Cosquer, G. Grunfelder, L. Le Coq, G. El Zein, "A dual band MIMO channel sounder at 2.2 and 3.5 GHz," IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference I2MTC 2008, Victoria, Canada, May 2008.
- 6- H. Kdouh, H. Farhat, T. Tenoux, G. Zaharia, C. Brousseau, G. Grunfelder, Y. LOSTANLEN and G. El Zein, "Double directional characterisation of radio wave propagation through metallic watertight doors on board ships", Electronics Letters, vol. 48, no. 6, pp. 307-309, March 2012.