



**HAL**  
open science

## Modélisation de la propagation des ondes radioélectriques en tunnels courbes de section non droite

Emilie Masson, Yann Cocheril, Pierre Combeau, Lilian Aveneau, Marion  
Berbineau, Rodolphe Vauzelle

### ► To cite this version:

Emilie Masson, Yann Cocheril, Pierre Combeau, Lilian Aveneau, Marion Berbineau, et al.. Modélisation de la propagation des ondes radioélectriques en tunnels courbes de section non droite. Assemblée générale "Interférences d'Ondes", Oct 2011, Nice, France. 2 p. hal-00747866

**HAL Id: hal-00747866**

**<https://hal.science/hal-00747866>**

Submitted on 2 Nov 2012

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Modélisation de la propagation des ondes radioélectriques en tunnels courbes de section non droite

E. Masson<sup>1</sup>, Y. Cocheril<sup>1</sup>, P. Combeau<sup>2</sup>, L. Aveneau<sup>2</sup>, M. Berbineau<sup>1</sup>, R. Vauzelle<sup>2</sup>

<sup>1</sup> : Univ Lille Nord de France, F-59000, Lille, IFSTTAR, LEOST, F-59650, Villeneuve d'Ascq

<sup>2</sup> : Univ Poitiers, Laboratoire XLIM-SIC  
emilie.masson@ifsttar.fr

## Résumé

Ce poster porte sur la conception et le développement d'une nouvelle technique de modélisation de la propagation d'ondes radioélectriques dans des tunnels non rectilignes de section non droite rencontrés en milieu ferroviaire pour des applications métros. Les solutions développées sous forme de modules appelés "plugin", ont été ajoutées au noyau de l'outil de modélisation de la propagation d'ondes, RaPSor, issu des recherches menées par le laboratoire XLIM-SIC de l'Université de Poitiers. Dans ce travail, nous montrons que les techniques classiques mises en œuvre afin de modéliser la propagation des ondes en tunnel rectiligne infini de section rectangulaire, ne peuvent pas être transposées au cas des tunnels courbes de section courbe. Ainsi, nous avons développé une nouvelle méthode qui se fonde sur une représentation analytique spécifique des surfaces courbes associée à un lancer de rayons et à une optimisation originale des trajets reçus. La répartition uniforme des rayons lancés à l'émission repose sur l'utilisation de séquences quasi-aléatoires de Hammersley. Une sphère adaptative est utilisée à la réception. L'optimisation des rayons est réalisée avec la technique de minimisation de Levenberg-Marquardt. Il s'agit de minimiser la distance totale des trajets afin d'approcher les propriétés des trajets réels au sens de l'Optique Géométrique. L'ensemble des méthodes développées sont testées et validées par comparaisons avec des résultats de la littérature mais aussi avec des résultats de mesures.

## 1. Introduction

Différentes approches de simulations et de mesures afin d'évaluer les caractéristiques de la propagation en tunnels sont rencontrées dans la littérature : la mesure [1], la théorie modale [2], les méthodes exactes [3], et les méthodes asymptotiques [4]. Ces dernières ont été largement utilisées dans le cas de la modélisation de la propagation du champ électromagnétique dans des tunnels rectilignes de section droite à l'aide du tracé de rayons. Toutefois, dans la pratique, et en particulier pour les métros, les tunnels peuvent avoir des sections transversales non rectangulaires et peuvent aussi présenter des courbes. Dans ces conditions, le tracé de rayons n'est plus valable puisqu'il n'est plus possible de considérer que la source image est unique. Dans la littérature, il n'existe qu'un nombre restreint d'études qui traitent du cas des tunnels non rectangulaires et courbes.

La première approche pour traiter le cas des surfaces courbes consiste à modéliser la surface en de multiples facettes planes [5]. La courbure de la surface n'est pas prise en compte dans ce type de techniques. De plus, l'un des principaux inconvénients de cette approche est l'impossibilité d'identifier un nombre optimal de facettes pour représenter une section transversale d'un tunnel donné à une fréquence donnée [6]. La deuxième approche possible consiste à représenter les surfaces courbes de manière analytique. C'est l'approche considérée dans [7] et [8]. Dans [7], les auteurs considèrent un lancer de tube de rayons. Dans [8], une solution s'appuyant sur un lancer de rayons combiné à une normalisation des rayons est présentée. Cette méthode nécessite un grand nombre de rayons lancés à l'émission afin d'assurer la convergence des résultats (environ 10 millions). Partant des idées fondamentales de ses deux papiers, nous proposons dans ce papier une nouvelle méthode pour modéliser la propagation du champ électromagnétique dans les tunnels courbes en utilisant cependant une approche différente. L'objectif qui a guidé notre travail visait à lancer un nombre limité de rayons et à effectuer un traitement de ces derniers à la réception avec un temps de calcul raisonnable tout en gardant une bonne précision.

La technique mise en œuvre est basée sur une représentation analytique des surfaces courbes. La recherche des trajets est réalisée à l'aide d'une technique de lancer de rayons associée à une sphère de réception pour la détection des rayons reçus. Un calcul exact des intersections entre les rayons et les surfaces courbes est réalisé. Par ailleurs, un algorithme original est présenté afin de corriger la trajectoire des rayons atteignant la sphère de réception. Il s'appuie sur la minimisation de la longueur du trajet, selon le principe de Fermat. Enfin, le calcul du champ électrique prend en compte l'impact de la courbure de la surface sur la divergence des tubes de rayons réfléchis.

## 2. Méthode développée

Cette section présentera les différentes étapes de la méthode développée, à savoir :

- l'implémentation d'un lancer de rayons dont les trois étapes principales sont :

- l'émission, qui s'appuie sur des séquences quasi-aléatoires de Hammersley ;
- la réception, basée sur une sphère de réception ;
- l'intersection entre les rayons et les surfaces courbes, calculée de manière analytique.
- le traitement des rayons à la réception, à savoir :
  - l'optimisation des trajets, basée sur un algorithme de minimisation de Levenberg-Marquardt ;
  - la technique de choix des trajets multiples optimisés ;
  - la technique adaptée d'identification des trajets multiples.
- le calcul du champ électrique, qui prend en compte la courbure des surfaces.

### 3. Résultats

Des comparaisons entre des résultats de mesure et de simulation obtenus avec la méthode présentée dans la section 2 seront illustrées dans cette section. La figure 1 présente la configuration de simulations et de mesures réalisées dans le cas d'un tunnel rectangulaire courbe. La figure 2 présente les résultats obtenus en mesure et en simulation. Les courbes montrent que de bonnes performances sont obtenues.

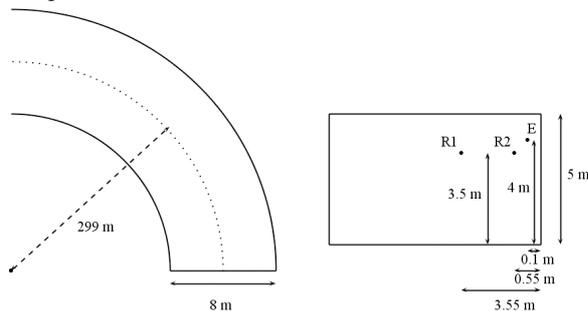


Figure 1. Configuration du tunnel rectangulaire courbe

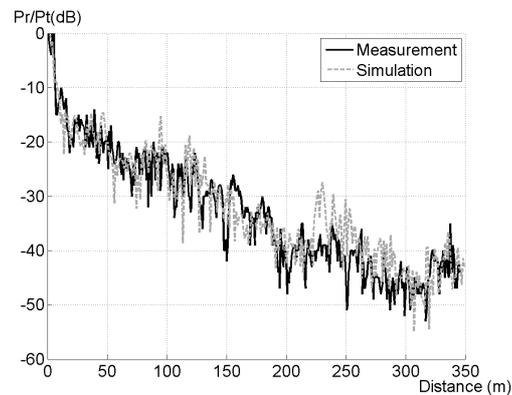


Figure 2. Résultats dans le tunnel rectangulaire courbe

### 4. Conclusion

Dans ce poster, nous avons présenté une nouvelle méthode de lancer de rayons avec optimisation, permettant la prédiction du niveau de signal dans les tunnels courbes de section non rectangulaire. L'émission se fonde sur des séquences quasi-aléatoires de Hammersley qui fournissent une distribution uniforme des rayons. Les intersections entre les rayons et les surfaces courbes sont calculées en considérant une sphère de réception afin de déterminer quels rayons atteignent le récepteur. Une optimisation des trajets est alors ajoutée. Elle se compose d'une minimisation de la longueur des trajets, selon le principe de Fermat et s'appuie sur l'utilisation de l'algorithme de Levenberg-Marquardt. Un dernier critère est ajouté afin de vérifier la validité des trajets optimisés au sens de l'Optique Géométrique. Enfin, une technique adaptée de l'identification des rayons multiples a été développée en considérant la localisation des points de réflexion.

La méthode a été validée à l'aide de comparaisons avec des mesures réalisées en environnement réel. De bonnes performances sont obtenues.

### 5. Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une thèse CIFRE avec ALSTOM-TIS.

### 6. Bibliographie

- [1] Y. Hwang, Y. P. Zhang, R. G. Kouyoumjian. "Ray-optical prediction of radio-wave propagation characteristics in tunnel environments. 1. Theory". IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 46 (9) pp.1328-1336, 1998.
- [2] K. D. Laakmann, W. H. Steier. "Waveguides: characteristic modes of hollow rectangular dielectric waveguides". Appl. Opt., 15 (5) pp.1334-1340, 1976.
- [3] S. Reutskiy. "The methods of external excitation for analysis of arbitrarily-shaped hollow conducting waveguide". Progress In Electromagnetics Research PIER 82 pp.203-226, 2008.
- [4] P. Mariage, M. Lienard, P. Degauque. "Theoretical and experimental approach of the propagation of high frequency waves in road tunnels". IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 42 (1) pp.75-81, 1994.
- [5] S. H. Chen, S. K. Jeng. "SBR image approach for radio wave propagation in tunnels with and without traffic". IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 45(3), pp.570-578, 1996.
- [6] E. Masson, P. Combeau, Y. Cocheril, M. Berbineau, L. Aveneau, R. Vauzelle. "Radio Wave Propagation in Arch-Shaped Tunnels: Measurements and Simulations using Asymptotic Methods". Comptes Rendus - Physique, 11, pp.44-53, 2010.
- [7] T. S. Wang, C. F. Yang. "Simulations and Measurements of Wave Propagations in Curved Road Tunnels for Signals From GSM Base Stations". IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 54 (9) pp.2577-2584, 2006.
- [8] D. Didascalou, T. M. Schafer, F. Weinmann, W. Wiesbeck. "Ray-density normalization for ray-optical wave propagation modeling in arbitrarily shaped tunnels". IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 48 (9) pp.1316-1325, 2000.