



**HAL**  
open science

## Optimisation d'une modélisation dynamique des canaux radio pour les transports ferroviaires

Lei Chen, Pierre Combeau, Yannis Pousset, Jean-François Cailbault,  
Rodolphe Vauzelle

► **To cite this version:**

Lei Chen, Pierre Combeau, Yannis Pousset, Jean-François Cailbault, Rodolphe Vauzelle. Optimisation d'une modélisation dynamique des canaux radio pour les transports ferroviaires. Journée Nationales Micro-ondes Mai 2009, May 2009, Grenoble, France. hal-00434370

**HAL Id: hal-00434370**

**<https://hal.science/hal-00434370>**

Submitted on 1 Mar 2021

**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.



## Optimisation d'une modélisation dynamique des canaux radio pour les transports ferroviaires

Lei Chen, Pierre Combeau, Yannis Pousset, Jean François Cailbault, Rodolphe Vauzelle

Laboratoire XLIM-SIC, UMR CNRS n° 6172, Bât. SP2MI – Téléport 2, Bvd Marie et Pierre Curie – BP 30179, 86962 Futuroscope Chasseneuil Cedex

### Résumé

*Dans cet article, nous proposons d'analyser l'impact des facettes constituant un environnement dynamique ferroviaire sur les mécanismes de propagation des ondes électromagnétiques. Cette analyse nous permet de réduire le temps de simulation d'un logiciel de propagation déterministe à tracé de rayons. Les résultats obtenus sont concluants et nous conduisent vers des gains en temps de calcul pouvant être supérieurs à 10.*

### 1. Introduction

La modélisation du canal de propagation, dans le contexte des communications numériques ferroviaires, est essentielle. En effet, elle contribue au développement et à l'optimisation de nouvelles techniques permettant la mise en œuvre de systèmes de transmission train-sol haut-débit, robustes et économes en ressources radioélectriques pour des environnements de propagation confinés présentant une forte variabilité due à la circulation des trains. Ainsi, il est fondamental de pouvoir prendre en compte le caractère dynamique de tels environnements non seulement pour la conception des systèmes mais aussi lors du dimensionnement et du déploiement du réseau final.

Selon les auteurs, rien n'a encore été proposé quant à une modélisation dynamique et déterministe du canal de propagation dans ce domaine d'application ferroviaire dont le confinement des environnements étudiés en fait un contexte particulier. Quelques travaux ont déjà été réalisés quant à la modélisation dynamique du canal. Toutefois, ceux-ci reposent essentiellement sur des modèles statistiques pour des applications exclusivement en environnements indoor ou outdoor non confiné [1-4]. En ce qui concerne les études inhérentes à la modélisation dynamique et déterministe, elles ne sont qu'au stade embryonnaire et ne considèrent que les communications entre véhicules dans des environnements outdoor [5]. De plus, les temps de calcul qui y sont associés sont, le plus souvent, très importants.

L'objectif de ce papier, s'inscrivant dans le cadre du projet ANR PREDIT MOCAMIMODYN<sup>1</sup>, consiste à présenter une méthode d'optimisation des temps de simulation dans un environnement dynamique réaliste,

de type tunnel de métro. Pour cela, nous proposons d'analyser l'impact des différentes facettes modélisant cet environnement sur la propagation des ondes. Cette analyse repose sur l'identification des facettes contribuant significativement à la propagation des ondes radio. Elle doit, dès lors, permettre de simplifier la modélisation de l'environnement (en éliminant les facettes non significatives) sans pour autant dégrader la précision des résultats obtenus.

Ainsi, dans la section 2, nous présenterons le simulateur de propagation à tracé de rayons, développé au laboratoire, ainsi que l'environnement étudié pour lequel une analyse des différentes facettes sera effectuée dans l'optique d'une réduction du temps de simulation. La section 3 sera consacrée à l'analyse des résultats obtenus ainsi qu'à la présentation de l'optimisation réalisée.

### 2. Simulation du canal de propagation

Les environnements de type tunnel favorisent un effet guide d'onde pour lequel une décroissance des évanouissements lents diffère fortement de celle modélisée en espace libre [6]. En effet, le phénomène de trajets multiple, associant à un signal émis différents chemins possibles de l'onde radio, s'en trouve accentué. Dès lors, cette croissance significative du nombre et de l'énergie des interactions électromagnétiques que sont la réflexion, la réfraction et la diffraction amplifie considérablement les effets des interférences constructives ou destructives associées au signal reçu. A ceci s'ajoute des effets de masques liés à la présence de plusieurs rames (trains) mobiles qui font fluctuer le confinement de l'environnement au cours du temps.

C'est dans ce contexte que nous proposons d'utiliser le simulateur de propagation d'ondes radios développé au laboratoire XLIM-SIC, afin de modéliser et de caractériser les phénomènes de propagation qui lui sont spécifiques [7-8]. La figure 1 présente le synoptique de ce simulateur. Il détaille les quatre parties principales du logiciel, à savoir les paramètres d'entrées comme, par exemple, l'environnement modélisé en 3D ; ceux de sorties où l'on retrouve, entre autres, les paramètres du canal simulé comme les réponses impulsionnelles et les puissances en bande étroite tout au long du parcours mobile ; le module réalisant le tracé de rayons et celui

<sup>1</sup> MOdèles de CAaux MIMO DYNamiques.

chargé de la gestion des interactions électromagnétiques. Le logiciel prend en compte tous les trajets de propagation possibles entre un émetteur et un récepteur, pour un nombre d'interactions maximum fixé.

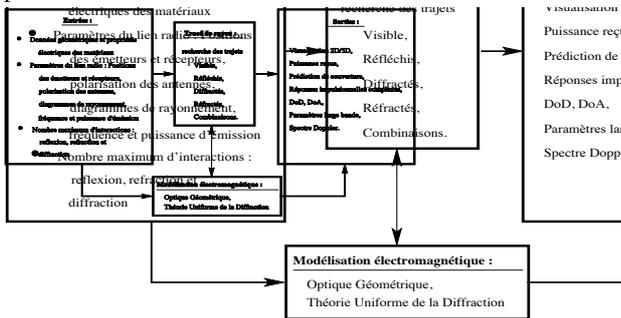


Figure 1. Synoptique du simulateur de canal

La figure 2 nous fournit, au travers de l'interface du simulateur, un complément d'information quant à son potentiel, à savoir la possibilité d'identifier précisément les caractéristiques de chacun des trajets simulés (zone 2). Les zones 1 et 3 sont associées au paramétrage (localisation des antennes, nombre d'interactions maximum, etc.) et à la visualisation (trajets simulés, zone de couverture, etc.).

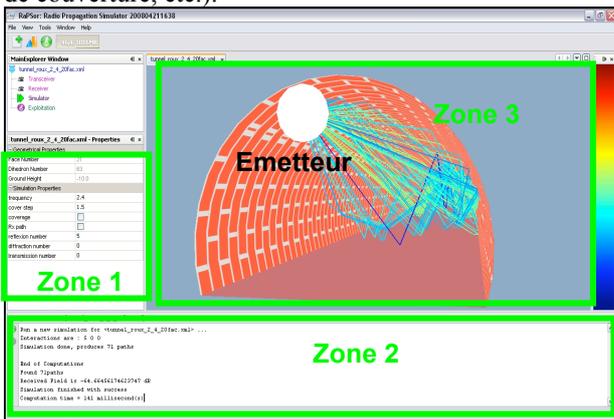


Figure 2. Interface du simulateur

Ce logiciel repose donc sur un calcul géométrique plus ou moins complexe selon la nature et la combinaison des interactions considérées. Cependant, plus les nombres de facettes, modélisant l'environnement, et d'interactions, sont élevés, plus cette méthode est coûteuse en temps de simulation. Nous cherchons donc à réduire ce temps sans pour autant dégrader la précision des résultats obtenus.

Pour cela, nous avons imaginé des scénarii de simulation considérant un tunnel de dimensions  $500 \times 9 \times 4,5 \text{ m}^3$  dans lequel un émetteur et trois cents récepteurs ont été positionnés conformément aux figures 3 à une hauteur de 2 m (a, b et c). Enfin, comme le montre les figures 3 on considère, pour chacun des scénarii précédents une rame masquante, de dimensions  $120 \times 3,5 \times 4,05 \text{ m}^3$ , dont le bord gauche est situé à 150, 275 et 400 m de l'entrée du tunnel.

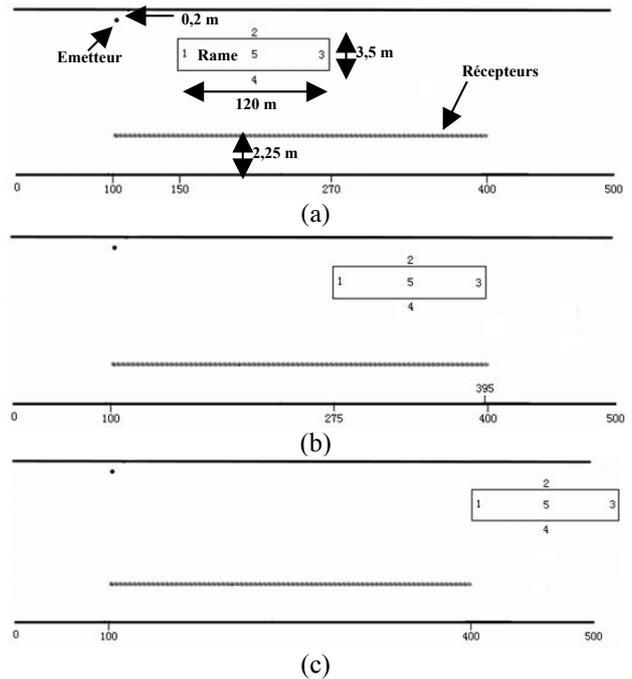


Figure 3. Scénarii d'étude pour une rame située à 150 m (a), 275 m (b) et 400 m (c)

Notre objectif consiste à analyser l'influence des facettes (numérotées de 1 à 5) composant la rame sur la propagation des ondes. Après quoi, il sera certainement possible de réduire la finesse de description de la scène et ainsi le temps de calcul des simulations sans pour autant diminuer la précision de ces dernières. Nous présenterons, dans la suite, les travaux réalisés pour des scénarii considérant une puissance d'émission de 1 mW d'une part, et 7 réflexions, 1 diffraction et 0 réfraction ainsi que leurs différentes combinaisons d'autre part. Ce nombre d'interactions électromagnétiques a été fixé conformément à des études comparatives réalisées, dans ce même contexte ferroviaire, à partir de résultats issues de la littérature [9].

### 3. Résultats

Tout d'abord, nous avons tenu à analyser l'influence des différentes positions de la rame sur la puissance reçue. Ainsi, la figure 4 nous présente, pour les trois positions de rame, l'évolution de la puissance reçue le long du parcours mobile.

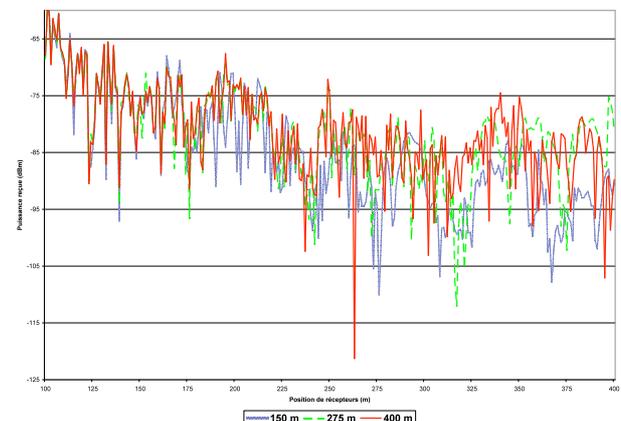
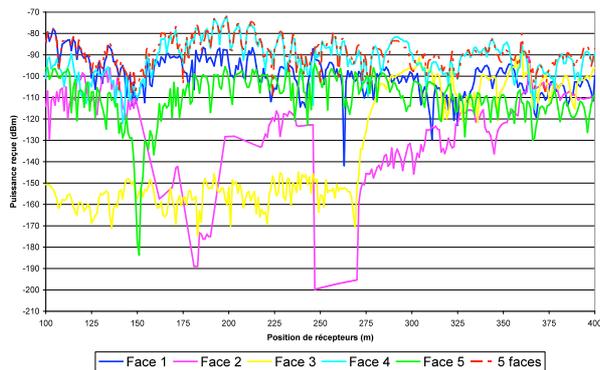


Figure 4. Evolution de la puissance le long du parcours mobile pour les trois positions de la rame

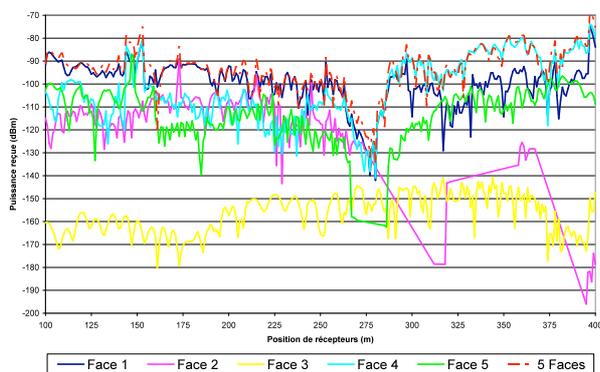
De l'analyse de cette figure, il en ressort que la puissance reçue a un comportement similaire pour les trois positions de rame jusqu'à environ 150 m. Ceci peut s'expliquer en observant que jusqu'à cette distance, la rame, dans les trois scénarii, ne vient pas interférer le bilan de liaison. Toutefois, après 150 m on peut visuellement constater un écart important du comportement de la puissance reçue pour les trois positions de rame. Cette impression est confirmée en remarquant que l'écart moyen entre ces courbes va de 4 à 6 dB en fonction des positions de la rame et que l'écart type de leurs différences est compris entre 6 et 8 dB.

Ainsi, de ces précédentes analyses, montrant l'importance de la position de la rame dans notre configuration d'étude, nous pouvons dès lors légitimement investiguer un examen plus approfondi quant à l'influence des faces composant la rame sur le comportement de la puissance reçue.

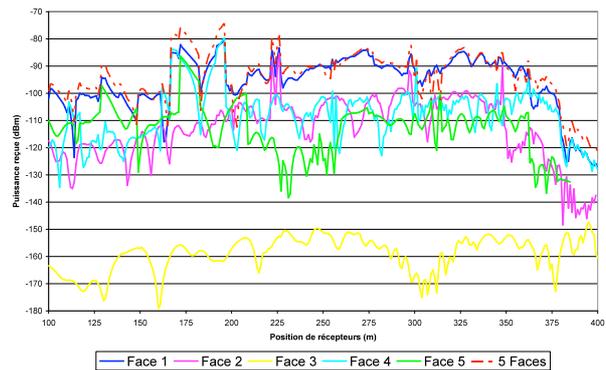
Les figures 5 (a, b et c) illustrent l'évolution de la puissance reçue le long du parcours associée à chacune des faces (i.e. puissance constituée uniquement des trajets ayant intersectés, selon l'une des combinaisons d'interactions possibles, la face considérée) en fonction des 300 récepteurs et pour les différentes positions de la rame citées en section 2. De plus, la courbe en pointillée représente l'évolution de la puissance tenant compte de l'ensemble des 5 faces (puissance totale reçue).



(a)



(b)



(c)

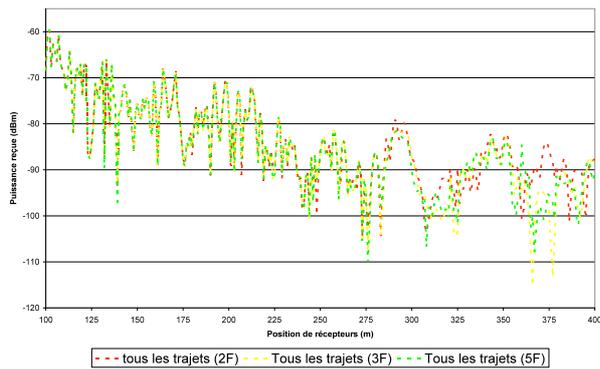
**Figure 5. Evolution de la puissance le long du parcours mobile pour une rame située à (a) 150 m , (b) 275 m et (c) 400 m**

Pour la rame placée à 150 m nous constatons que les puissances moyennes associées aux faces 1 (-99 dBm) et 4 (-92 dBm) sont celles les plus proches de la puissance moyenne totale (-89 dBm) provenant de l'ensemble des 5 faces. Ainsi, l'écart moyen observé entre les puissances associées à ces deux faces et la puissance totale est au maximum égal à 10 dB. Des puissances moyennes associées aux faces 2 (-130 dBm), 3 (-134 dBm) et 5 (-110 dBm) il en ressort qu'elles présentent un écart moyen de plus de 20 dB par rapport à la puissance totale.

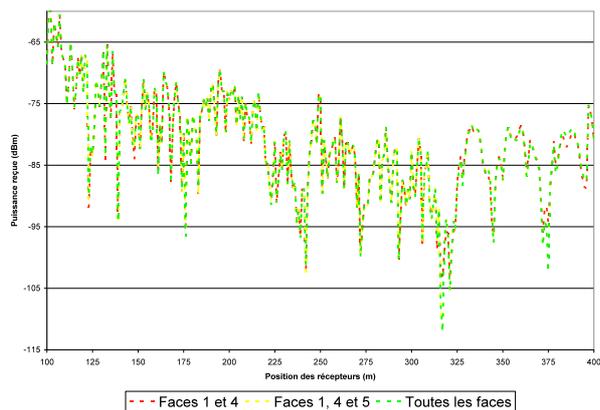
De même, concernant la rame située à 275 m nous observons que les puissances moyennes correspondant aux faces 1 (-100 dBm) et 4 (-102 dBm) sont plus importantes que celles provenant des faces 2 (-119 dBm), 3 (-157 dBm) et 5 (-113 dBm). De plus, le comportement des puissances associées aux faces 1 et 4 est assez proche de celui de la puissance provenant de l'ensemble des 5 faces (écart max. moyen de 5 dB).

Enfin, l'analyse associée à la rame située à 400 m est similaire aux précédentes. A savoir que les puissances reçues associées aux faces 1 et 4 sont plus proches de la puissance totale que celle des autres faces. Notons que parmi ces dernières, seule la puissance associée à la face 5 présente quelques fois des écarts faibles par rapport à la puissance totale. Ainsi, de ces analyses il en ressort que deux ou trois faces constituant la rame semblent influencer significativement le comportement du signal reçu.

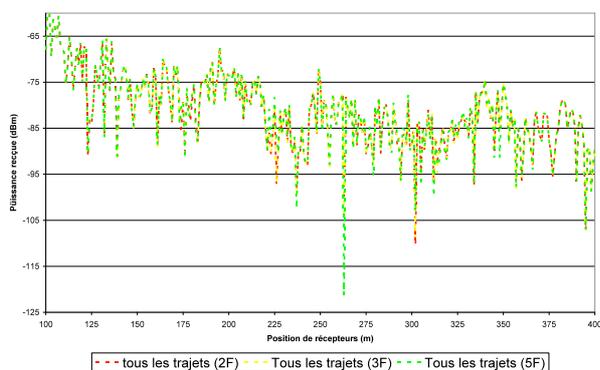
Par conséquent, nous proposons de dégrader progressivement la modélisation de la scène en ne conservant tout d'abord que les facettes 1 et 4 de la rame, auxquelles on rajoute, par la suite, la facette 5. Ainsi, pour les différentes positions de la rame, décrite selon 2 (2F) ou 3 (3F) facettes, les figures 6 (a, b et c) illustrent l'évolution des puissances reçues en fonction du parcours mobile. Celles-ci ont été comparées à la puissance reçue issue de l'environnement non dégradé (5F). Nous constatons que quelle que soit la position de rame, les puissances reçues provenant des environnements dégradés sont sensiblement identiques à celle de l'environnement complet.



(a)



(b)



(c)

**Figure 6. Evolution de la puissance le long du parcours mobile pour une rame située à (a) 150 m, (c) 275 m et (c) 400 m**

En effet, quelles que soient les positions de rame ainsi que les descriptions considérées, les écarts moyens et écarts types obtenus n'excèdent respectivement pas 1 dB et 2 dB.

De plus, dans le tableau 1 nous avons consigné les temps totaux de simulation (pour les 300 récepteurs) issus de cette étude pour les différentes positions de rame. Nous remarquons que la description de la rame selon 3 faces conduit à un gain en temps de calcul, par rapport à la simulation en environnement complet, compris dans une fourchette allant de 3 à 6. En ce qui concerne la description n'associant à la rame que 2 faces, ce même gain est compris entre 4 et 11,5.

	Temps de simulation (minutes)		
Position de la rame	2 faces	3 faces	5 faces
150 (mètres)	25	27	102
275 (mètres)	8	30	92
400 (mètres)	9	16	90

Tableau 1. Comparaison des temps de simulation.

#### 4. Conclusion

Ces travaux ont contribué à réduire le temps de calculs des simulations déterministes dans un contexte d'environnements ferroviaires dynamiques. Les résultats obtenus sont concluants et nous permettent, quelles que soient les positions de rame, de réduire le temps de calcul d'un facteur allant jusqu'à 11,5 sans dégrader la précision des résultats. Les perspectives de ce travail sont multiples. Nous poursuivrons cette étude en considérant différentes configurations tenant compte de plusieurs catégories d'environnements réalistes, ainsi que différentes positions d'émetteurs et de récepteurs.

#### 5. Bibliographie

- [1] Y. Ohta and T. Fujii. "Dynamic Channel Model for Static Mobile Terminals in Indoor LOS and NLOS Environments", IEEE VTC spring, May 2008
- [2] X. Li and Z. Nie. "Dynamic MIMO Scattering Wireless Channel Model and Performance", IEEE ICCAS, 269 - 272 Vol.1, June 2004
- [3] C. Chong, D.I. Laurenson et Al. "Modelling the Dynamic Evolution of Paths of the Wideband Indoor Propagation Channels Using M-Step, 4-State Markov Model", Personal Mobile Communications Conference, 2003. 5th European (Conf. Publ. No. 492) 22-25 April 2003 Page(s):181 - 185
- [4] P. Kyösti, J. Meinilä, L. Hentilä : D1.1.2 v1.2 « WINNER II Channel Models Part I / Part II »,
- [5] J. Maurer et Al. « A Ray-Optical Channel Model for Mobile to Mobile Communications », COST 2100, Wroclaw, Poland, February, 2008.
- [6] Y.P.Zhang. "Novel Model for Propagation Loss Prediction in Tunnels", IEEE Trans. on Vehicular Technology, Vol.52, No.5, September, 2003.
- [7] F. Escarieu, Y. Pousset, L. Aveneau and R. Vauzelle. « Outdoor and indoor channel characterization by a 3D simulation software ». IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, pp. B105-B111. PIMRC '2001, September 2001
- [8] F. Mora and L. Aveneau. "Optimised Scanning of a Visibility Graph Data Structure for Efficient Ray-Tracing". ECWT2005 - Paris, October 2005.
- [9] P. Mariage, M. Lienard and P. Degauque. "Theoretical and Experimental Approach of the Propagation of High Frequency Waves in Road Tunnels", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.41, No.1, January 1994.