



**HAL**  
open science

## Validation expérimentale d'un modèle de propagation hybride en environnement industriel

Kaoutar El Hariri, Pierre Combeau, Yannis Pousset

► **To cite this version:**

Kaoutar El Hariri, Pierre Combeau, Yannis Pousset. Validation expérimentale d'un modèle de propagation hybride en environnement industriel. 19<sup>èmes</sup> Journées Nationales Microondes, Jun 2015, Bordeaux, France. hal-01141676

**HAL Id: hal-01141676**

**<https://hal.science/hal-01141676>**

Submitted on 13 Apr 2015

**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.

## Validation expérimentale d'un modèle de propagation hybride en environnement industriel

Kaoutar El hariri<sup>1</sup>, Pierre Combeau<sup>1</sup>, Yannis Pousset<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Xlim-SIC, Bât. SP2MI - Boulevard Marie et Pierre Curie, 86962 Futuroscope

yannis.pousset@univ-poitiers.fr

### Résumé

Ce papier présente la validation d'un modèle de canal hybride large bande via une campagne de mesures en environnement industriel. Ce modèle repose sur la nature déterministe d'une méthode à tracer de rayons, combinée à la rapidité d'exécution d'une approche stochastique type WINNER II. L'originalité de notre approche consiste en un partitionnement spatial déterministe de l'environnement, en zones de visibilité et de non-visibilité (faible et forte). Ainsi, dans chacune de ces zones est simulé le modèle stochastique de type WINNER. Les résultats de comparaison entre la simulation et la mesure permettent d'observer des écarts maximaux acceptables en dispersion des retards et en puissance reçue. De plus, le gain en temps de calcul obtenu par rapport à une modélisation purement déterministe à tracer de rayons est de 47.

### 1. Introduction

Les nouvelles technologies et internet occupent de plus en plus de place dans notre vie quotidienne, changeant nos habitudes aussi bien sur un plan privé que professionnel. Le monde industriel, à son tour, s'oriente de plus en plus vers des usines connectées pour faire face à la concurrence des pays à faible coût de production. Au vu de l'intérêt croissant envers la connexion des objets dans l'industrie, il est nécessaire de mener des études sur le canal de propagation dans ces milieux car il est l'élément clé dans la mise en œuvre d'un système de communication sans fil. Quelques travaux concernant le canal de propagation en industrie ont été publiés [1], [2], [3], [4]. Ces travaux ont proposé des études sous forme de campagnes de mesures ou des propositions de modèles de propagation. Ces modèles de canaux, proposés en environnement industriel, peuvent être classés en deux familles : déterministe, statistique. Les modèles déterministes ont l'avantage du réalisme mais l'inconvénient du temps de calcul comparativement aux modèles statistiques. En s'appuyant sur ce constat, nous avons proposé un modèle hybride, alliant les avantages respectifs des modèles déterministe et statistique, à savoir réalisme et faible temps de calcul [5]. Néanmoins, ce modèle n'a pu être validé via des résultats expérimentaux. Nous y remédions par le biais de ce papier. Ainsi, nous ferons un rappel du modèle hybride

dans la section 2, suivi d'une présentation du dispositif de mesure et du traitement des mesures réalisées en sections 3 et 4 respectivement. Enfin, nous montrerons les résultats de la confrontation simulation/mesure dans la section 5, avant la conclusion.

### 2. Rappel du modèle de canal hybride

Nous avons associé un modèle déterministe à un modèle statistique pour construire notre modèle hybride [5]. Sa mise en œuvre, comme le montre la figure 1, repose sur une première étape de partitionnement de l'environnement obtenu via une simulation déterministe basé sur un tracer de rayons, dans l'environnement 3D, ne considérant qu'une seule réflexion afin de déterminer les zones de visibilité directe LOS (Line Of Sight) et de non visibilité faible NLOS1 (Non Line Of Sight, existence d'un trajet simplement réfléchi) ou forte NLOS2 (absence de trajet simplement réfléchi). Dans un second temps, nous avons utilisé cette information déterministe afin de lancer, dans chaque zone issue du partitionnement spatial (LOS, NLOS1 et NLOS2), un modèle statistique de type WINNER dont les lois statistiques gérant les différents paramètres (retards, angles, ...) ont été calibrées sur la base d'informations purement déterministes provenant de notre simulateur à rayons.

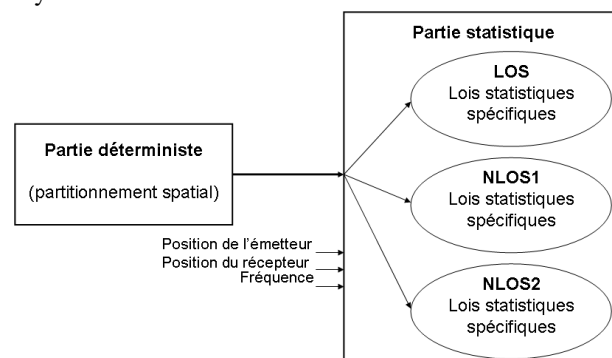


Figure 1. Concept du modèle de canal hybride

### 3. Présentation de la mesure

Notre banc de mesure présenté sur la figure 2 est constitué : d'un analyseur de réseau vectoriel, d'un

ordinateur pilotant les mesures, de deux antennes dipôles, d'un amplificateur et de câbles coaxiaux.

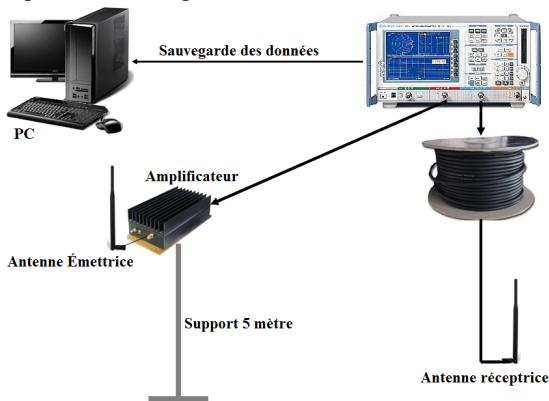


Figure 2. Banc de mesures

Ainsi, la puissance d'émission a été fixée à 28 dBm pour une fréquence porteuse de 2,45 GHz et une bande passante de 500 MHz (résolution temporelle de 2 ns équivalente à une résolution spatiale de 60 cm).

#### 4. Traitement des données mesurées

Les mesures ont été réalisées afin d'avoir des résultats moyens sur 8 réponses fréquentielles par position de réception. De plus, chacune de ces réponses fréquentielles a été traitée selon le synoptique de la figure 3.

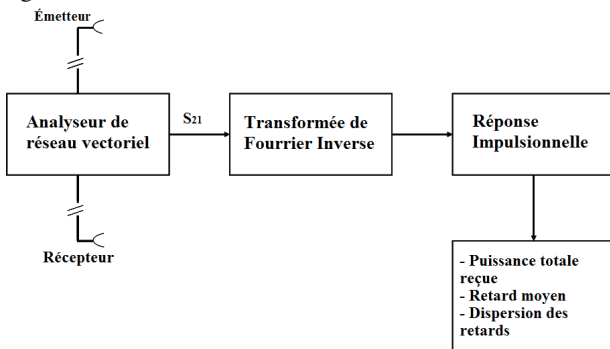


Figure 3. Système de traitement

Ainsi, toutes les réponses sont traitées selon le processus suivant :

##### Étape 1 - IFFT

Les réponses impulsionnelles sont obtenues via une "IFFT", selon la théorie de Bello.

##### Étape 2 - Suppression du bruit

La visualisation des réponses impulsionnelles issues de l'étape 1 fait apparaître du bruit dû à l'IFFT arrivant avant le trajet ayant le plus petit retard théorique que nous calculons selon l'équation (1) :

$$\tau_{\text{Premier}} = \frac{C}{\text{Distance}_{(T_x, R_x)}} \quad (1)$$

où :

- $\tau_{\text{Premier}}$  est le retard du premier trajet reçu par le récepteur ;
- $C$  est la vitesse de la lumière  $3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$  ;
- $\text{Distance}_{(T_x, R_x)}$  est la distance entre l'émetteur et le

récepteur.

Ainsi pour chacune des positions de réception, nous calculons le retard du trajet direct qui sera potentiellement reçu, même lorsqu'il n'existe pas. Puis, nous supprimons tous les échos arrivant avant ce dernier en estimant qu'il s'agit du bruit dû à la transformée.

##### Étape 3 - Seuillage

Nous procédons à un seuillage des données de telle sorte à supprimer tous les trajets dont la puissance est inférieure à celle du trajet le plus puissant de -25 dB.

La figure 4 regroupe les résultats obtenus après traitement d'une réponse fréquentielle, en configuration LOS, selon chacune des 3 étapes précédentes.

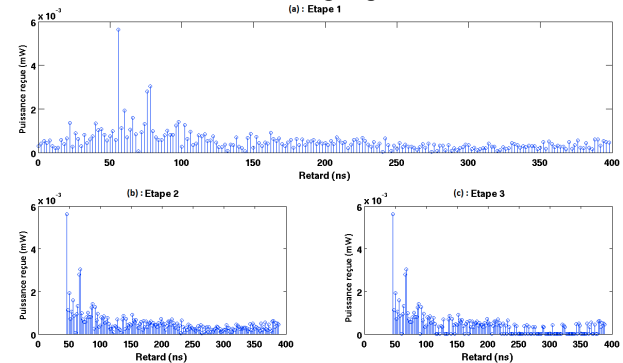


Figure 4. Réponses impulsionnelles obtenues après chacune des 3 étapes

#### 5. Résultats

Cette étude comparative a été réalisée dans l'environnement industriel de la figure 5 contenant des lignes de productions (machines métalliques) d'une hauteur fixée à 1,5m. L'émetteur est placé au centre de la scène à une hauteur de 5 m. Les récepteurs, de hauteur égale à 25 cm (pour une application de type robots mobiles connectés) et 1,1 m (véhicules autonomes guidés), ont été disposés sur la scène en rangées de 25 positions entre les lignes de production en les espaçant les unes des autres d'une distance de 1 m.

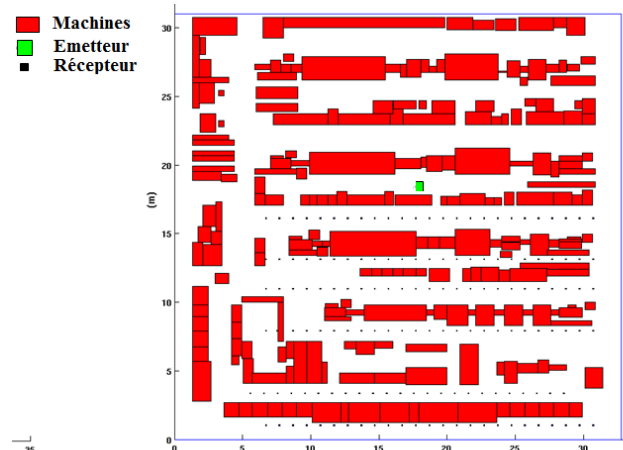


Figure 5. Environnement industriel considéré

Pour cette analyse comparative, nous montrons, dans un premier temps, les écarts de dispersion des retards (DS : Delay Spread) entre la simulation et la mesure, et ceci pour chacune des zones de visibilité LOS, NLOS 1 et 2 associées à ces configurations.

Ainsi, les figures 6, 7 et 8 représentent l'évolution de la dispersion des retards en fonction des positions de réception pour chacune des zones de visibilité à 25 cm. De ces figures, bien que la dynamique des DS mesurées soit plus importante que celle des DS simulées, la comparaison semble confirmer la validité du modèle hybride.

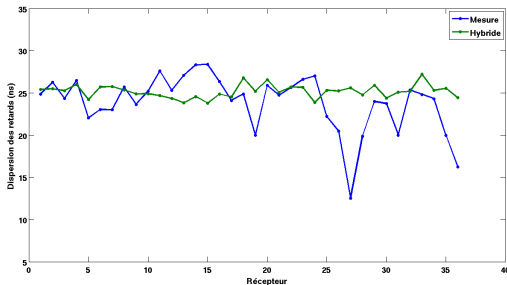


Figure 6. Dispersion des retards mesurée et simulée dans le cas LOS à 25 cm

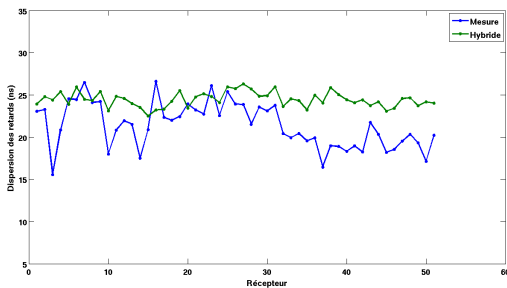


Figure 7. Dispersion des retards mesurée et simulée dans le cas NLOS 1 à 25 cm

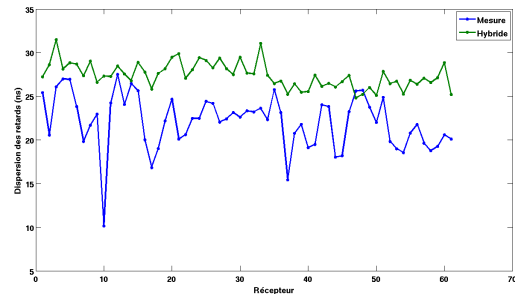


Figure 8. Dispersion des retards mesurée et simulée dans le cas NLOS 2 à 25 cm

Nous confirmons ce point via le tableau 1 donnant la moyenne des écarts entre la mesure et notre modèle hybride ainsi que leurs écarts-types relatifs.

Cette moyenne est obtenue selon l'équation (2) :

$$M\_ecart_{DS} = \frac{\sum_{i=1}^N DS_{mesure}(i) - DS_{simule}(i)}{N} \quad (2)$$

où :

$M\_ecart_{DS}$ , est la moyenne des écarts de la dispersion des retards par zone ;

$N$ , est le nombre de récepteurs par zone ;

$DS_{mesure}(i)$ , est la dispersion des retards mesurée du  $i^{\text{ème}}$  récepteur ;

$DS_{simule}(i)$ , est la dispersion des retards simulée du  $i^{\text{ème}}$  récepteur.

| Mesure/hybride       |       |       |       |
|----------------------|-------|-------|-------|
| Zone                 | LOS   | NLOS1 | NLOS2 |
| $M\_ecart_{DS}$ (ns) | -1,29 | -3,08 | -5,36 |
| Ecart-type (ns)      | 3,48  | 2,52  | 3,02  |

Tableau 1. Comparaison simulation/mesure à 25 cm.

Nous observons un écart moyen des DS inférieur à 5,5 ns alors que l'écart-type de ces dernières reste inférieur à 4 ns.

Nous avons étendu ces analyses au cas où les récepteurs sont d'une hauteur égale à 1,1m.

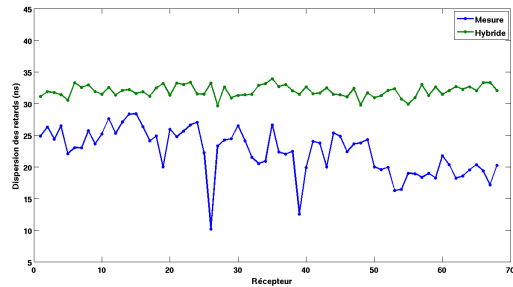


Figure 9. Dispersion des retards mesurée et simulée dans le cas LOS à 1,1 m

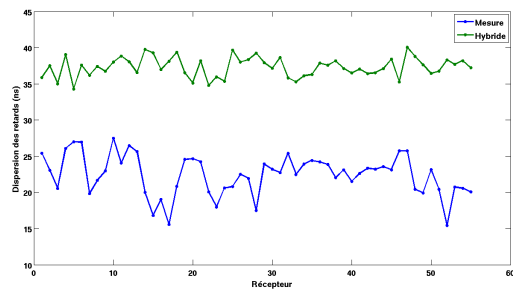


Figure 10. Dispersion des retards mesurée et simulée dans le cas NLOS 1 à 1,1 m

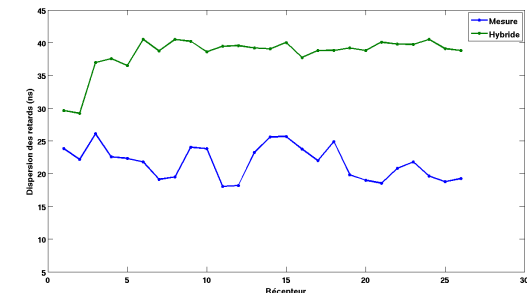


Figure 11. Dispersion des retards mesurée et simulée dans le cas NLOS 2 à 1,1 m

| Mesure/hybride       |       |        |        |
|----------------------|-------|--------|--------|
| Zone                 | LOS   | NLOS1  | NLOS2  |
| $M\_ecart_{DS}$ (ns) | -9,55 | -16,65 | -14,89 |
| Ecart-type (ns)      | 3,82  | 4,25   | 3,34   |

Tableau 2. Comparaison simulation/Mesure à 1,1 m.

Les figures 9, 10 et 11 ainsi que le tableau 2 témoignent d'écart de DS plus élevés que pour le cas précédents, de l'ordre de 13,69 ns en moyenne. Cet écart est dû à la simplification de la hauteur des obstacles. En effet celle-ci a été homogénéisée à 1,5 m. Cette simplification rend la scène moins réaliste puisque dans la réalité les obstacles ont des tailles différentes. À 25 cm, la modélisation 3D de la scène a eu beaucoup moins d'impact qu'à 1,1 m du fait que, dans ce dernier cas, les obstacles et les récepteurs ont une hauteur similaire qui conduit probablement à une mauvaise répartition des récepteurs entre les 3 zones de visibilité.

Nous terminons l'étude comparative entre notre modèle hybride et la mesure en évaluant la puissance reçue.

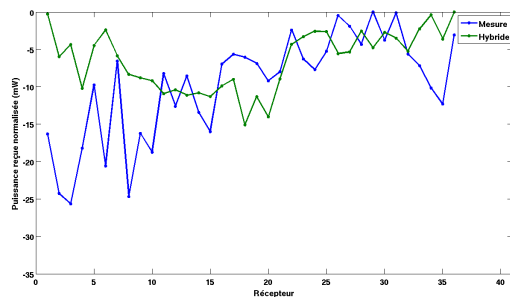


Figure 12. Puissance reçue mesurée et simulée dans le cas LOS à 25 cm

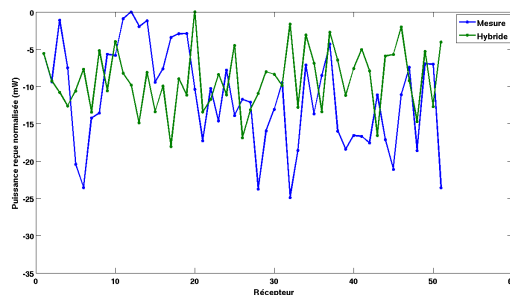


Figure 13. Puissance reçue mesurée et simulée dans le cas NLOS 1 à 25 cm

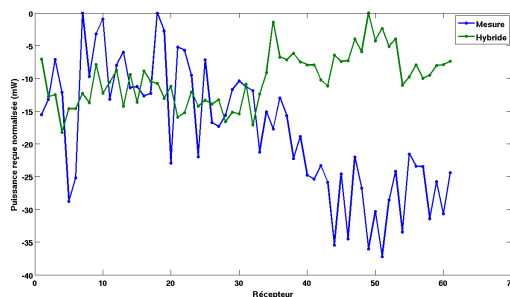


Figure 14. Puissance reçue mesurée et simulée dans le cas NLOS 2 à 25 cm

Il ressort des figures 12, 13 et 14 une concordance entre mesure et simulation (à 25 cm), sauf pour le cas NLOS 2 où l'écart est relativement significatif pour les derniers points. Néanmoins, le tableau 3 nous confirme que, pour ce dernier cas, nous n'excédons pas 8 dB d'écart. De plus, nous constatons que le modèle est toujours plus pessimiste que les résultats de mesure

(résultats de simulation plus atténués), ce qui garantira une marge de sécurité quant au bilan de liaison.

| Mesure/hybride              |       |       |       |
|-----------------------------|-------|-------|-------|
| Zone                        | LOS   | NLOS1 | NLOS2 |
| $M\_ecart_{Puissance}$ (dB) | -3,37 | -2,36 | -7,9  |
| Ecart-type (dB)             | 7,53  | 8,42  | 12,34 |

Tableau 3. Comparaison simulation/mesure à 25 cm.

Enfin, le tableau 4 résume la comparaison des puissances reçues simulées et mesurées pour une hauteur de réception de 1,1 m. Cette comparaison confirme celle associée à la dispersion des retards, à savoir qu'une modélisation fine des hauteurs d'obstacles est requise.

| Mesure/hybride              |       |       |        |
|-----------------------------|-------|-------|--------|
| Zone                        | LOS   | NLOS1 | NLOS2  |
| $M\_ecart_{Puissance}$ (dB) | -6,59 | -8,8  | -21,04 |
| Ecart-type (dB)             | 7,15  | 8,29  | 8,43   |

Tableau 4. Comparaison simulation/mesure à 1,1 m.

## 6. Conclusion

Dans cet article, nous avons cherché à valider par la mesure un modèle hybride de canal large bande en environnement industriel. Les résultats de comparaison sont très encourageants car l'écart moyen entre la mesure la simulation, en terme de dispersion des retards, est de l'ordre de 14 ns. En effet, au vu des standards de communication en environnement industriel pour lesquels les temps binaires les plus faibles sont de l'ordre de 100 ns, une précision de quelques dizaines de ns reste appréciable. Cette concordance a été confirmée par le biais de la puissance reçue. Toutefois, des études réalisées à des hauteurs de réception proches des obstacles montrent qu'il est important de modéliser précisément la hauteur de ces derniers.

## 7. Bibliographie

- [1] H. Ling, R.-C. Chou, S.-W. Lee, « Shooting and bouncing rays : calculating the rcs of an arbitrarily shaped cavity », Antennas and Propagation, IEEE Transactions on 37 (2), 194 –205, 1989.
- [2] T.Huschka, « Ray tracing models for indoor environments and their computational complexity », Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 1994. Wireless Networks - Catching the Mobile Future. 5th IEEE International Symposium on, pp. 486 –490 vol.2, September 1994.
- [3] J.Coll, « Industrial Indoor Environment Characterization Propagation Models », Symposium on Electromagnetic Compatibility, September 2011
- [4] P.Kyösti, et al, WINNER II Channel Models IST-WINNER D1.1.2 », ver 1.1, 2007.
- [5] K. El hariri, P. Combeau, Y. Pousset, R. Vauzelle, « Modélisation hybride du canal radio dans un contexte industriel », 18èmes Journées Nationales Microondes (JNM). Paris Mai 2013.