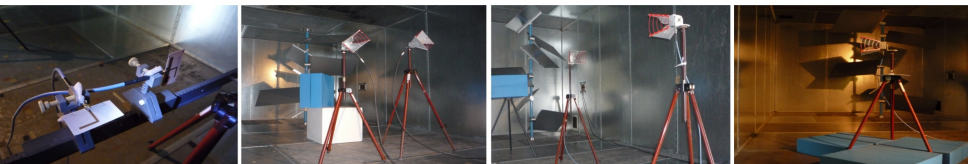


Recherche de méthodes expérimentales de simulation de canaux de propagation en chambre réverbérante à brassage de modes



Soutenance de thèse 4 avril 2013

Mihai Ionut Andries

Université Européenne de Bretagne
INSA, IETR, UMR CNRS 6164

Co-encadrant de thèse **Christophe Lemoine**
Directeur de thèse **Philippe Besnier**



Utilisation des métamatériaux pour la problématique de cohabitation de systèmes et d'antennes embarquées dans les transports ferroviaires

- ▷ Tâche 1 ↔ Caractérisation des métamatériaux (UBO),
- ▷ Tâche 2 ↔ Caractérisation de la propagation des ondes EM et des bruits EM dans l'environnement métro (Alstom),
- ▷ Tâche 3 ↔ Méthodologies de conception d'antennes (IFSTTAR),
- ▷ Tâche 4 ↔ Modélisation hybride pour l'intégration d'antennes (XLIM-SIC),
- ▷ Tâche 5 ↔ Émulation de canaux de propagation (IETR),
- ▷ Tâche 6 ↔ Réalisation et caractérisation d'antennes (Telecom Bretagne)

Objectifs de la thèse

- ▷ **identifier** et **analyser** les paramètres de canaux de propagation ajustables dans une chambre réverbérante,
- ▷ **définir** et **mettre en œuvre** de nouvelles techniques pour **mesurer** et **contrôler** les canaux de communication sans fil dans une chambre réverbérante.

1 Introduction

- Présentation générale
- Les chambres réverbérantes
- Détails sur les signaux mesurés

2 Estimation des paramètres du canal de propagation

- Le facteur K
- Surface équivalente moyenne d'absorption
- Contrôle de paramètres du canal de propagation
- Conclusion de la première partie

3 Applications

- Évaluation de paramètres d'antenne dans la chambre réverbérante
- Le gain de diversité en chambre réverbérante
- Conclusion de la deuxième partie

4 Bilan et perspectives

- Conclusion générale
- Perspectives
- Publications

1.1 Présentation générale

- ▷ **la qualité** de transmission est influencée par l'environnement de propagation,
- ▷ **les tests et l'optimisation** d'un système de communication sont deux facteurs clés,
- ▷ la chambre réverbérante (CR) est un **moyen d'essai modifiable** pour émuler un environnement de communication.

1.2 Les chambres réverbérantes

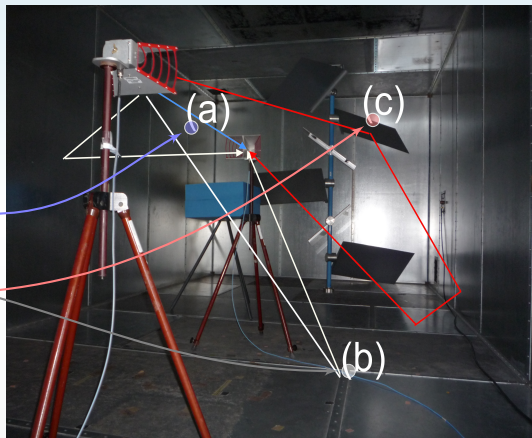
- ▷ cage de Faraday (en acier ou aluminium),
- ▷ dimensions : L 8.7 m, l 3.7 m, H 2.9 m,
- ▷ la distribution du champ électromagnétique correspond à un modèle d'ondes stationnaires,
- ▷ la distribution pseudo-aléatoire du champ électromagnétique est créée par :
 - la rotation de plaques métalliques (brasseur mécanique),
 - le déplacement d'antennes,
 - le changement de la polarisation des antennes,
 - la variation de fréquence (brassage électronique).



La chambre réverbérante de l'IETR (L 8.7 m, l 3.7 m, H 2.9 m).

1.2 Les chambres réverbérantes

- ▷ la fréquence minimale d'utilisation : 250 MHz,
- ▷ le signal mesuré dans la CR comprend :
 - des composantes non-brassées :
 - composante non-brassée directe (a),
 - composantes non-brassées indirectes (b),
 - des composantes brassées (c).



La chambre réverbérante de l'IETR (L 8.7 m, l 3.7 m, H 2.9 m).

1.3 Détails sur les signaux mesurés

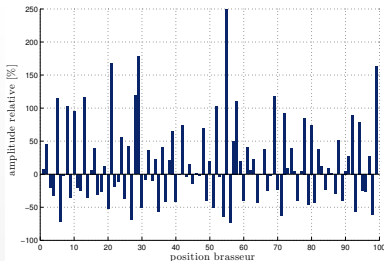
- ▷ sur le nombre total de réalisations, en régime permanent, l'enveloppe complexe du signal $R(p)$ mesuré dans la CR suit une distribution de Gauss, et peut s'exprimer ainsi [1] :

$$R(p) = Ae^{j(\theta_0)} + \sigma\sqrt{2} \lim_{S \rightarrow \infty} \frac{1}{\sqrt{S}} \sum_{i=1}^S \alpha_i(p) e^{j(\theta_i(p))} = r(p) e^{j\Theta(p)}, \quad (1)$$

- ▷ le module de l'enveloppe complexe $r(p) = |R(p)|$ est caractérisé par une distribution de type Rice.

où

- ▷ le paramètre p correspond à une position du brasseur mécanique, ou une position de l'antenne, une fréquence, etc.
- ▷ A est l'amplitude de la composante non-brassée directe,
- ▷ θ_0 est la phase de la composante non-brassée directe,
- ▷ $\alpha_i(p)$ est un coefficient de pondération pour chaque trajet brassé i ,
- ▷ $\theta_i(p)$ représente la phase du signal brassé provenant de la i ème direction pour la position correspondant à p et dépend de la distance de propagation,
- ▷ S est le nombre de trajets brassés ($S \rightarrow \infty$),
- ▷ $r(p)$ est le module de l'enveloppe complexe,
- ▷ $\Theta(p)$ est la phase de l'enveloppe complexe.

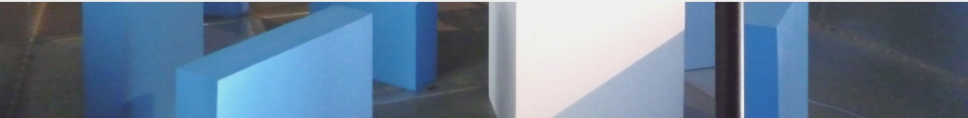


Fluctuation de l'amplitude au cours d'une rotation complète du brasseur mécanique.



Estimation des paramètres du canal de propagation

Le facteur K



2.1 Le facteur K

Description

- ▷ le facteur K caractérise la sévérité de l'évanouissement du signal reçu,
- ▷ il est défini comme le rapport [2] :

$$K = \frac{\text{puissance moyenne des composantes non-brassées}^*}{\text{puissance moyenne des composantes brassées}^{**}}, \quad (2)$$

- * composantes invariantes pendant un grand intervalle de temps,
 - ** composantes aléatoires selon les statistiques du canal.
- ▷ les valeurs de facteurs K dépendent :
- de la position des antennes,
 - du diagramme de rayonnement des antennes,
 - du facteur de qualité de l'environnement,
 - de la présence de diffuseurs, etc.

2.1 Le facteur K

Méthodes courantes pour calculer le facteur K et leurs limites - I

- ▷ méthodes concurrentes pour évaluer le facteur K à partir de
 - l'**information complexe** de l'enveloppe du signal reçu,
 - la **phase** de l'enveloppe du signal reçu,
 - l'**amplitude** de l'enveloppe du signal reçu, etc.
- ▷ les estimateurs qui utilisent l'amplitude de l'enveloppe du signal : méthodes **simples et faciles à mettre en œuvre** mais caractérisées par un **biais élevé** lorsque l'impact des composantes non-brassées est faible à la réception,
- ▷ nous évaluons trois estimateurs qui utilisent l'amplitude de l'enveloppe uniquement : K_d , K_e [3] et K_f [4,5].

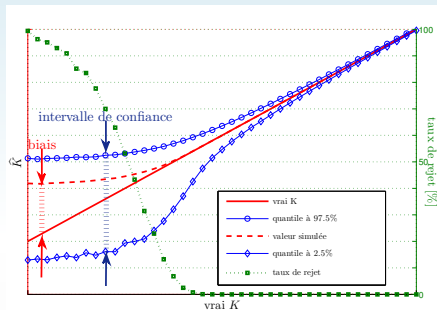
[3] G. Azemi, B. Senadji, et B. Boashash, "Estimating the Ricean K -factor for mobile communication applications", Proceedings of Seventh International Symposium on Signal Processing and Its Applications, 2003., vol. 2, Jul. 2003, pp. 311-314.

[4] L. Greenstein, D. Michelson, et V. Erceg, "Moment-method estimation of the Ricean facteur K ", IEEE Communications Letters, vol. 3, no. 6, pp. 175-176, Jun. 1999.

[5] C. Tepedelenioglu, A. Abdi, et G. Giannakis, "The Ricean K factor : estimation and performance analysis", IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 2, no. 4, pp. 799-810, Jul. 2003.

2.1 Le facteur K Méthodes courantes pour calculer le facteur K et leurs limites - II

- ▷ simulations de type Monte Carlo (i.e., 5000 réalisations et 10 000 essais).
- ▷ pour un **taux de rejet** de 10%, un **biais maximal** de 3 dB, et un **intervalle de confiance** de 6 dB le choix d'un estimateur peut se faire d'après les résultats présentés dans le tableau suivant :



Intervalles utiles pour caractériser le facteur K .

Type d'estimateur	Plage de K [dB]
\widehat{K}_d [3]	[-2.75, 16.15]
\widehat{K}_e [3]	[-3.90, 17.75]
\widehat{K}_f [4,5]	≥ 2.40

2.1 Le facteur K

Proposition de nouveaux estimateurs - I

- ▷ le premier estimateur proposé constitue une méthode rapide et facile à mettre en œuvre :

$$\widehat{K} = \frac{\widehat{A^2}}{2\sigma^{2*}} = \frac{(\widehat{A^2})^2}{\langle r^2 \rangle_N \times \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} (r_{i+1} - r_i)^2}, \quad (3)$$

avec

$$\widehat{A^2} \approx \langle r^2 \rangle_N - \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} (r_{i+1} - r_i)^2. \quad (4)$$

- ▷ il n'est pas influencé par des valeurs absurdes,
 ▷ cet estimateur est particulièrement utile quand la taille de l'échantillon est réduite (e.g., 100 réalisations dans la chambre réverbérante).

2.1 Le facteur K

Proposition de nouveaux estimateurs - II

- ▷ le deuxième nouvel estimateur est calculé à partir d'une méthode de maximum de vraisemblance basée sur une approximation de la fonction de Bessel modifiée de première espèce :

$$\widehat{K} = \frac{\widehat{A}^2}{2\widehat{\sigma}^{2*}} = \frac{1}{4} \frac{A}{\widehat{\mu}_1 - A} \mathcal{E} \left(\frac{4A(\widehat{\mu}_1 - A)}{\widehat{\mu}_2} \right), \quad (5)$$

avec

$$\widehat{A} = \frac{2\widehat{\mu}_1 + \sqrt{4\widehat{\mu}_1^2 - 3\widehat{\mu}_2}}{3}, \quad (6)$$

et

$$2\widehat{\sigma}^{2*} = \frac{1}{\mathcal{E} \left(\frac{2\widehat{\sigma}^2}{\widehat{\mu}_2} \right)} 2\widehat{\sigma}^2 \approx 2\sigma^2. \quad (7)$$

- ▷ l'opérateur $\mathcal{E}(x)$ est une fonction empirique de correction :

$$\mathcal{E}(x) = -0.145e^{4.90x^2 + 1.95x} + 1.12. \quad (8)$$

2.1 Le facteur K

Proposition de nouveaux estimateurs - Résultats

▷ pour les mêmes critères (un **biais** de 3 dB, un **intervalle de confiance** à 95% de 6 dB, et un **taux de rejet** de 10%.) les plages mesurables de K sont présentées dans le tableau suivant :

Type d'estimateur	Plage de K [dB]
estimateur, (3)	≥ -2.20
estimateur, (5)	≥ -5.10
\widehat{K}_d [3]	$[-2.75, 16.15]$
\widehat{K}_e [3]	$[-3.90, 17.75]$
\widehat{K}_f [4,5]	≥ 2.40



Estimation des paramètres du canal de propagation

Surface équivalente moyenne d'absorption

2.2 Surface équivalente moyenne d'absorption

Description du problème

- ▷ le facteur de qualité de l'environnement Q [6] et différents paramètres de canaux de propagation peuvent être modifiés en utilisant des matériaux absorbants :

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_{\text{murs}}} + \frac{1}{Q_{\text{antennes}}} + \frac{1}{Q_{\text{absorbants}}}, \quad (9)$$

- ▷ la puissance absorbée par un absorbant dépend de sa surface d'absorption [6],
- ▷ la surface équivalente moyenne d'absorption (SEMA) $\hat{\sigma}_A$ est obtenue en calculant la moyenne des surfaces absorbantes pour toutes les directions des ondes et toutes les polarisations possibles [6].

[6] D. A. Hill, M. T. Ma, A. R. Ondrejka, M. Riddle, B. F. Crawford, et R. T. Johnk, "Aperture excitation of electrically large, lossy cavities", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 36, no. 3, pp. 169-178, Aug. 1994.

2.2 Surface équivalente moyenne d'absorption

Évaluation de la surface équivalente moyenne d'absorption - I

- ▷ la fonction de transfert du canal de propagation est estimée à l'aide **d'une seule antenne** en utilisant des mesures du coefficient de réflexion S_{11CR} ,
- ▷ S_{11CR} est une combinaison des signaux liés à l'antenne et des signaux spécifiques à la propagation à l'intérieur de la chambre :

$$S_{11CR} = S_{11EL} + \eta (1 - |S_{11EL}|^2) (H_{nonBr} + H_{Br}), \quad (10)$$

où

- ▷ S_{11EL} représente le coefficient de désadaptation de l'antenne en espace libre (EL),
- ▷ η est l'efficacité de rayonnement de l'antenne,
- ▷ H_{nonBr} et H_{Br} sont respectivement les fonctions de transfert complexes des composantes non-brassées et brassées.

2.2 Surface équivalente moyenne d'absorption

Évaluation de la surface équivalente moyenne d'absorption - II

- ▷ la distribution des modes dans la CR change avec le degré d'absorption et influence la bande passante à 3dB du mode de propagation ainsi que la bande de cohérence (BC) [7] :

$$Q = \frac{f}{\Delta f_{3\text{dB}}} \approx \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{f}{BC^{\text{cpx},0.7}}. \quad (11)$$

- ▷ en utilisant [8], la surface équivalente moyenne d'absorption peut être estimée comme :

$$\sigma_{A,\text{mes}}^{\Delta} \approx \frac{\pi V \sqrt{3}}{c} (BC_{\text{ch}}^{\text{cpx},0.7} - BC_{\text{v}}^{\text{cpx},0.7}). \quad (12)$$

où

- ▷ V est le volume de la chambre,
- ▷ les indices "v" et "ch" correspondent à chambre "vide" et "chargée".

[7] D. A. Hill, "Plane wave integral representation for fields in reverberation chambers", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 40, no. 3, pp. 209-217, 1998.

[8] X. Chen et P.-S. Kildal, "Theoretical derivation and measurements of the relationship between coherence bandwidth and RMS delay spread in reverberation chamber", in Antennas and Propagation, 2009. EuCAP 2009. 3rd European Conference on, Mar. 2009, pp. 2687-2690.

2.2 Surface équivalente moyenne d'absorption

Simulation de la surface équivalente moyenne d'absorption

- ▷ dans l'hypothèse où une face d'un absorbant ne masque pas partiellement une autre face, le SEMA simulée devient :

$$\hat{\sigma}_{A,\text{theo}} \approx \bar{T} \left(S_{\text{SPM}} - \frac{6\delta(l+L) - 3\delta^2}{\pi} \right), \quad (13)$$

- ▷ S_{SPM} est la surface projetée moyenne ; pour un absorbant parallélépipédique la surface projetée moyenne totale s'écrit [9] :

$$S_{\text{SPM}} = \sum_{i=1}^6 \frac{S_i}{2} = \frac{S_{\text{Tot}}}{2}, \quad (14)$$

- ▷ la transmission résiduelle de l'onde à travers l'absorbant est prise en compte en supposant que, si la distance parcourue par l'onde dans l'absorbant est plus grande que l'épaisseur de peau δ , l'onde est dissipée en totalité.

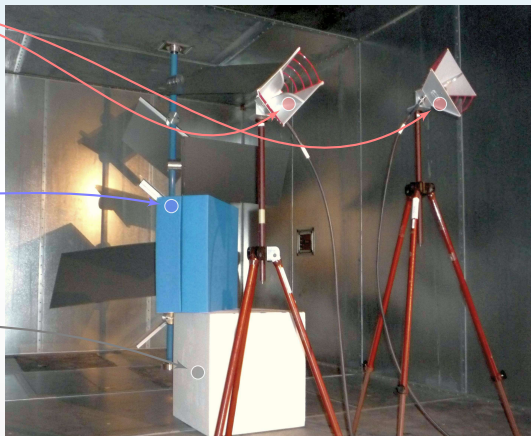
où

- ▷ le facteur \bar{T} correspond à la moyenne du coefficient de transmission de l'onde plane [9],
- ▷ L et l sont les dimensions physiques d'une face de l'absorbant parallélépipédique,
- ▷ S_{Tot} est la surface totale de l'absorbant.

2.2 Surface équivalente moyenne d'absorption

Scénario de mesure

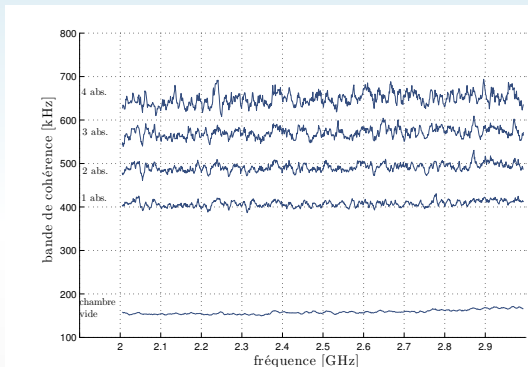
- ▷ antennes cornet (1 – 18 GHz)
 - ETS Lindgren 3115,
 - deux antennes sont utilisées pour obtenir deux séries de mesures,
 - le couplage direct entre les antennes et les absorbants doit être évité,
- ▷ de 1 à 4 absorbants parallélépipédiques identiques, type Hyfral P150
 - $0.6 \times 0.6 \times 0.15 \text{ m}^3$,
 - les absorbants sont placés verticalement sur un cube de polystyrène pour remplir les conditions d'une illumination uniforme.
- ▷ les fonctions de transfert sont mesurées avec un VNA (N5230A)
 - la gamme de fréquences : 2 – 3 GHz,
 - résolution : 20 001 points qui représentent une résolution en fréquence de 50 kHz.



Configuration de mesure dans la CR.

2.2 Surface équivalente moyenne d'absorption

Résultats - I bande de cohérence

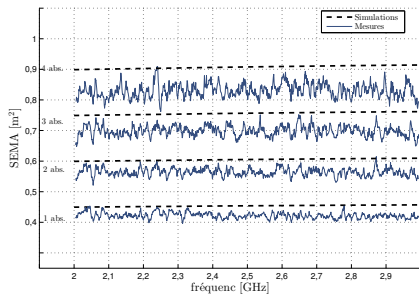


Bandes de cohérence calculées entre 2 – 3 GHz en fonction du nombre d'absorbants dans la chambre dans des sous-bandes de fréquence de 10 MHz.

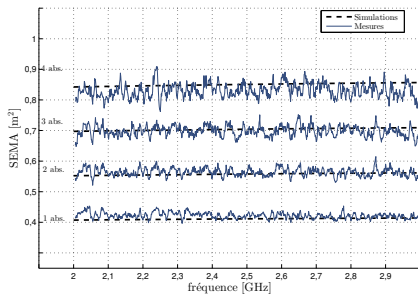
- ▷ le niveau de la bande de cohérence augmente avec le nombre d'absorbants dans la chambre,
- ▷ le nombre de réalisations indépendantes diminue avec la décroissance du facteur de qualité. Cela peut expliquer la variation des niveaux d'incertitude.

2.2 Surface équivalente moyenne d'absorption

Résultats - II surface équivalente moyenne d'absorption



SEMA_s mesurées et simulées **sans correction** pour des absorbants de type P150.



SEMA_s mesurées et simulées **avec correction** pour des absorbants de type P150.

- ▷ la valeur de la surface équivalente moyenne d'absorption correspond à une moyenne dans la bande d'évaluation (i.e., 10 MHz).

2.2 Surface équivalente moyenne d'absorption

Résultats - III prédiction de BC en connaissant SEMA

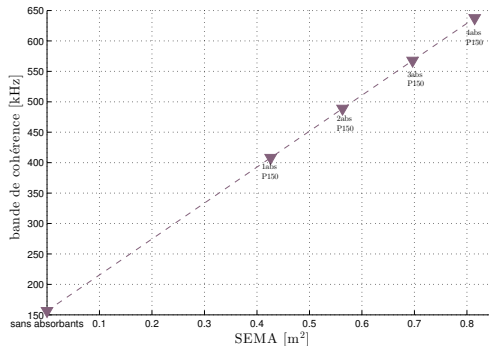
- ▷ l'équation pour prédire la SEMA peut être utilisée pour estimer la BC à partir de la SEMA :

$$BC_{ch}^{cpx,0.7} \approx BC_v^{cpx,0.7} + \frac{c\sigma_A}{\pi V\sqrt{3}}, \quad (15)$$

où

- ▷ $BC_v^{cpx,0.7}$ dépend de la CR vide.

- ▷ ce résultat peut être utilisé comme un **abaque** pour déterminer la quantité d'absorbants nécessaire afin d'obtenir la bande de cohérence désirée.



Bande de cohérence en fonction de la surface équivalente moyenne d'absorption à une fréquence centrale de 2.5 GHz.



Estimation des paramètres du canal de propagation

Contrôle de paramètres du canal de propagation

2.3 Contrôle de paramètres du canal de propagation

Description

- ▷ un **modèle statistique** simple du **profil de puissance du canal** de propagation pour un signal d'émission de type sinusoïdal est proposé pour extraire différents paramètres du canal de propagation.

2.3 Contrôle de paramètres du canal de propagation

Modèle du signal

- ▷ lorsque le signal contient des composantes non-brassées et brassées, la moyenne des profils de puissance $p_{\text{total},i}(t)$ sur le nombre de réalisations est donnée par :

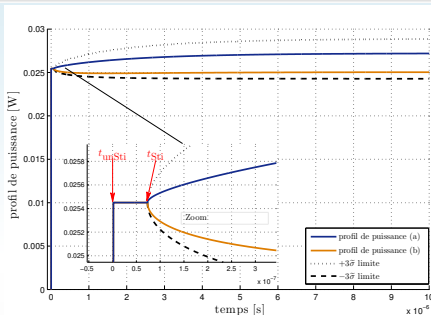
$$\begin{aligned}
 P_{\text{total}}(t) &= E[p_{\text{total},i}(t)] \\
 &\approx A_{\text{nonBr}}^2 u(t - t_{\text{nonBr}}) + 2\sigma^2 \left[1 - e^{-(t-t_{\text{Br}})/\tau} \right] u(t - t_{\text{Br}}),
 \end{aligned} \tag{16}$$

où

- ▷ τ est le temps caractéristique de la chambre,
- ▷ t_{nonBr} est le temps mis par le signal non-brassé pour parvenir au récepteur,
- ▷ t_{Br} est défini comme le moment à partir duquel des composantes brassées apparaissent au niveau du récepteur,
- ▷ A_{nonBr} est le niveau maximal de l'enveloppe du champ électrique des composantes non-brassées,
- ▷ σ^2 est la variance de la composante brassée,
- ▷ $u(t - t_{\text{nonBr}})$ est la fonction échelon définie au moment t_{nonBr} .

2.3 Contrôle de paramètres du canal de propagation

Incertitudes d'estimation des profils de puissance



Simulations Monte Carlo des profils de puissance moyenne et les limites correspondantes pour un intervalle de confiance de 99.7%.

- ▷ la probabilité d'estimation d'un profil de puissance erroné est fonction du facteur K , d'un paramètre limite α (sélectionné pour prendre en considération le maximum d'énergie) et du nombre de réalisations N , et elle est égale à :

$$\Pr\left(P_{\text{total,Rp}} < \frac{A_{\text{nonBr}}^2}{\alpha}\right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{K \frac{\alpha-1}{\alpha} + 1}{\sqrt{2K+1}} \sqrt{N}\right), \quad (17)$$

ou

- ▷ erfc est la fonction d'erreur complémentaire.

2.3 Contrôle de paramètres du canal de propagation

Estimation des paramètres - I

- ▷ le **facteur K** est décrit comme une fonction de paramètres de temps et d'un paramètre limite α :

$$K = \frac{1}{1 - \alpha} e^{-(t_{RP} - t_{Br})/\tau} - 1. \quad (18)$$

- ▷ le **retard moyen τ_{μ}** et l'**étalement des retards τ_{RMS}** sont calculés comme des fonctions de plusieurs paramètres :
- le facteur K ,
 - le temps caractéristique de la chambre τ ,
 - les paramètres t_{nonBr} et t_{Br} ,
 - le paramètre limite α .

où

- ▷ t_{RP} est défini comme le temps nécessaire pour atteindre un niveau $\alpha\%$ de la puissance du signal à la réception en régime permanent.

2.3 Contrôle de paramètres du canal de propagation

Estimation des paramètres - II

- ▷ dans l'hypothèse où les absorbants sont placés dans la CR de telle manière qu'ils absorbent essentiellement les composantes brassées, la SEMA peut être estimée selon :

$$\hat{\sigma}_A = \frac{V}{c\tau_{ch}} \left(\frac{\sigma_v^2}{\sigma_{ch}^2} - 1 \right) - \underbrace{\pm \delta \frac{V}{c\tau_{ch}}}_{\text{erreur de l'estimation}}, \quad (19a)$$

ou

$$\hat{\sigma}_A = \frac{V}{c\tau_v} \left(\frac{\sigma_v^2}{\sigma_{ch}^2} - 1 \right) - \underbrace{\frac{\pm \delta}{1 \pm \delta} \frac{V}{c\tau_v} \frac{\sigma_v^2}{\sigma_{ch}^2}}_{\text{erreur de l'estimation}}. \quad (19b)$$

- ▷ le facteur K peut être estimé par :

$$K_{ch} = K_v \underbrace{\left(\frac{c\tau_v \hat{\sigma}_A}{V} + 1 \right)}_{\text{facteur d'absorption}}. \quad (20)$$

où

- ▷ δ est l'erreur d'estimation de la puissance non-brassée ($A_{unSti,v}/A_{unSti,ch} = 1 \pm \delta$),

2.3 Contrôle de paramètres du canal de propagation

Scénario de mesure

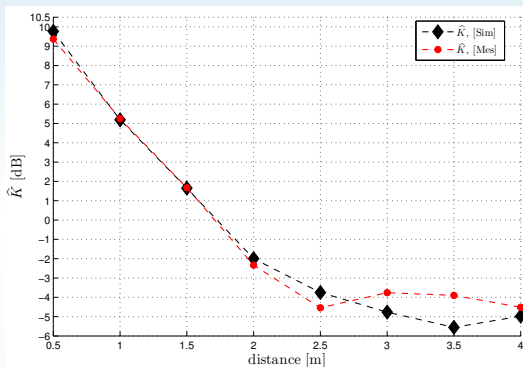
- ▷ antennes cornet (1 – 18 GHz)
- ▷ brasseur mécanique en mode pas à pas,
- ▷ 100 fonctions de transfert sont mesurées avec le VNA (N5230A)
 - gamme de fréquences : 2 – 3 GHz,
 - résolution : 50 kHz (durée équivalente : 20 μ s),
 - brassage électronique : 2.4950 – 2.5048 GHz.
- ▷ deux types de mesures :
 - (A) variation de la distance entre antennes de 0.5 à 4 m,
 - (B) ajout de 1 à 4 absorbants parallélépipédiques.



Configuration de mesure dans la CR.

2.3 Contrôle de paramètres du canal de propagation

Résultats (A) - III facteur K



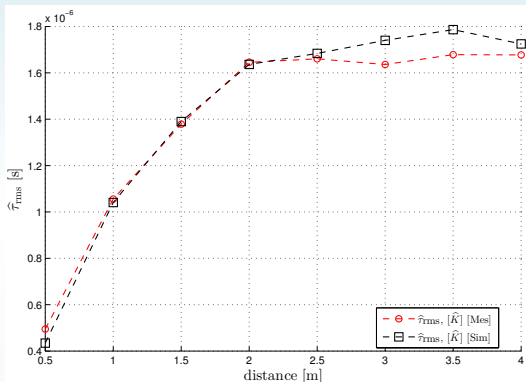
$$K = \frac{1}{1 - \alpha} e^{-(t_{Rp} - t_{Br})/\tau} - 1.$$

Évolution du facteur K obtenue en utilisant des paramètres de temps. La distance entre les antennes varie de 0.5 à 4 m (la chambre est vide).

- ▷ l'énergie des composantes non-brassées indirectes augmente avec la distance entre les antennes et il devient alors plus difficile d'estimer l'énergie totale non-brassée.

2.3 Contrôle de paramètres du canal de propagation

Résultats (A) - IV étalement des retards

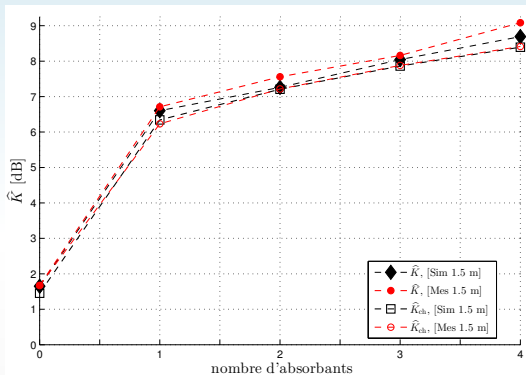


Évolution de τ_{rms} . La distance entre les antennes varie de 0.25 à 4 m (chambre vide).

- ▷ pour $d > 2$ m, la qualité de l'estimation est légèrement affectée par les composantes non-brassées indirectes qui influencent l'estimation du facteur K .

2.3 Contrôle de paramètres du canal de propagation

Résultats (B) - V facteur K



$$K = \frac{1}{1 - \alpha} e^{-(t_{Rp} - t_{Br})/\tau} - 1.$$

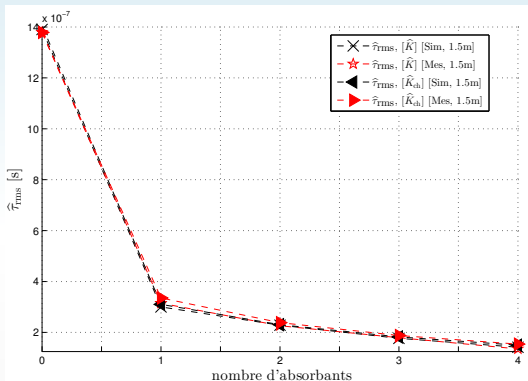
$$K_{ch} = K_v \underbrace{\left(\frac{c\tau_v \hat{\sigma}_A}{V} + 1 \right)}_{\text{facteur d'absorption}}.$$

Évolution du facteur K en fonction du nombre d'absorbants, en utilisant des paramètres de temps; $d = 1.5$.

- ▷ les incertitudes de la méthode pour calculer K_{ch} dépendent des incertitudes sur la valeur initiale du facteur K (i.e., K_v , quand la chambre est vide) mais aussi des erreurs d'estimation de la surface équivalente moyenne d'absorption.

2.3 Contrôle de paramètres du canal de propagation

Résultats (B) - VI étalement des retards



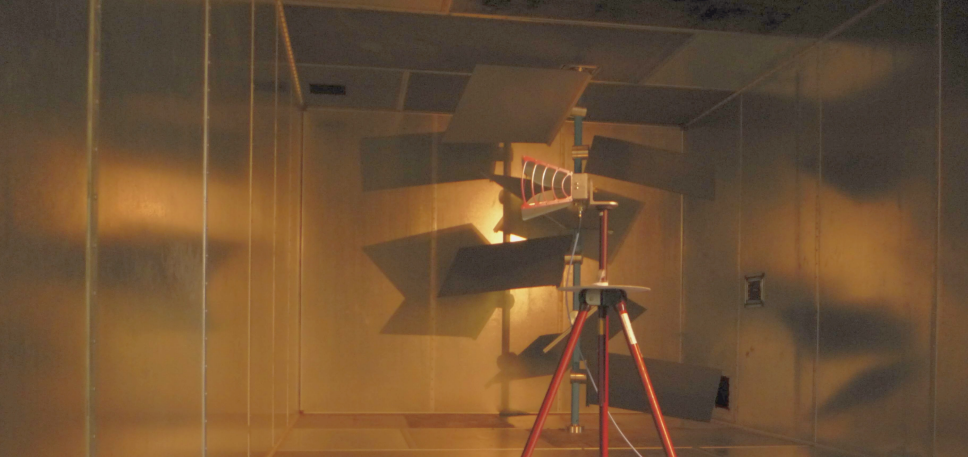
Variation de τ_{rms} en fonction du nombre d'absorbants ; $d = 1.5$ m.

2.4 Conclusion de la première partie

- ▷ tests des performances de trois **estimateurs de K** ,
 - proposition de deux nouveaux estimateurs de K ,

- ▷ **surface équivalente moyenne d'absorption** est évaluée avec des **mesures** de bande de cohérence,
 - **simulation** de la surface équivalente moyenne d'absorption,

- ▷ **à partir d'un modèle idéal du profil de puissance**, plusieurs paramètres sont estimés :
 - le facteur K ,
 - la surface équivalente moyenne d'absorption,
 - différentes grandeurs temporelles (i.e., retard moyen, étalement des retards).



A p p l i c a t i o n s

Évaluation de paramètres d'antenne dans la CR

3.1 Évaluation de paramètres d'antenne dans la chambre réverbérante

Description

- ▷ pour caractériser le **gain d'une antenne**, il est possible d'utiliser un réflecteur métallique en filtrant dans le domaine temporel, le coefficient de réflexion S_{11} [11].

[11] E. M. Purcell, "A method for measuring the absolute gain of microwave antennas", Radiation Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Tech. Rep. 41-9, 1943.

3.1 Évaluation de paramètres d'antenne dans la chambre réverbérante

Méthode

- ▷ le gain d'une antenne peut être calculé à partir de l'équation de Friis :

$$G(\theta, \varphi) = (1 - |S_{11_{EL}}|^2) \eta |H_{EL}(\theta, \varphi)| \left(\frac{8\pi d}{\lambda} \right). \quad (21)$$

- ▷ la fonction de transfert est évaluée à partir de mesures du coefficient de réflexion $S_{11_{CR}}$:

$$S_{11_{CR}}(\theta, \varphi) = S_{11_{EL}} + (1 - |S_{11_{EL}}|^2) \eta (H_{EL}(\theta, \varphi) + H_{nonBr}^{ind.}(\theta, \varphi) + H_{Br}(\theta, \varphi)), \quad (22)$$

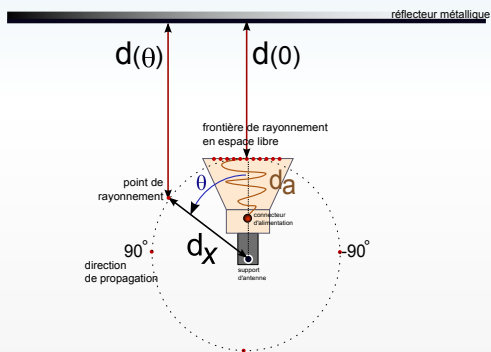
où

- ▷ $S_{11_{EL}}$ représente la désadaptation de l'antenne,
- ▷ les angles θ et φ caractérisent la position angulaire de l'antenne par rapport au réflecteur métallique,
- ▷ $H_{nonBr}^{ind.}$ et H_{Br} sont les fonctions de transfert complexes des composantes non-brassées indirectes et brassées,
- ▷ $H_{EL}(\theta, \varphi)$ est la fonction de transfert complexe, dans la direction (θ, φ) ,
- ▷ d est la distance de propagation en espace libre entre l'émetteur et le réflecteur métallique,
- ▷ λ est la longueur d'onde.

3.1 Évaluation de paramètres d'antenne dans la chambre réverbérante

Estimation de la distance de propagation - I

- ▷ extraire le gain nécessite l'estimation de la distance de propagation d ,
- ▷ pour des antennes de grandes tailles, la distance de propagation change avec la rotation de l'antenne (i.e., avec l'angle θ).



Évolution des distances de propagation quand l'antenne tourne pour $\theta \in [0, 2\pi[$.

3.1 Évaluation de paramètres d'antenne dans la chambre réverbérante

Estimation de la distance de propagation - II

- ▷ la distance de propagation en espace libre est extraite à partir de la distance d_{IR} correspondant au maximum du signal mesuré dans le domaine temporel :

$$2 \underbrace{[d(0) + (1 - \cos \theta)d_x]}_{\substack{\text{distance de propagation} \\ \text{en espace libre} = 2d(\theta)}} = d_{IR}(\theta) - 2d_a, \quad (23)$$

- ▷ d_a est la distance guidée de propagation dans l'antenne et elle est évaluée par :

$$d_a = \frac{1}{2} \frac{d_{IR,1}(0)|H_{EL,1}| - d_{IR,2}(0)|H_{EL,2}|}{|H_{EL,1}| - |H_{EL,2}|}. \quad (24)$$

- ▷ lorsque le niveau du signal mesuré est faible, la distance de propagation en espace libre peut être extraite à partir de deux distances d_{IR} (e.g., pour $\theta = 0$ et un autre angle $\tilde{\theta}$ pour lequel le gain de l'antenne est élevé) :

$$2d(\theta) = \frac{\cos \theta - \cos \tilde{\theta}}{1 - \cos \tilde{\theta}} d_{IR}(0) + \frac{1 - \cos \theta}{1 - \cos \tilde{\theta}} d_{IR}(\tilde{\theta}) - 2d_a. \quad (25)$$

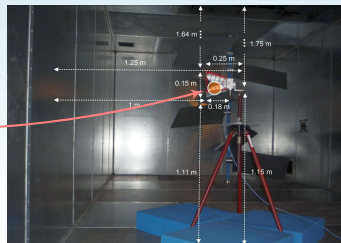
où

- ▷ "1" et "2" correspondent à deux distances mesurées pour un angle d'azimut $\theta = 0$.

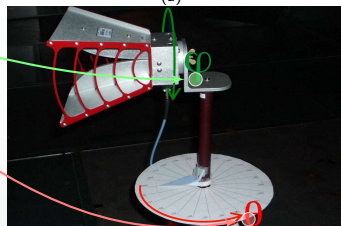
3.1 Évaluation de paramètres d'antenne dans la chambre réverbérante

Scénario de mesure

- ▷ antenne cornet (1 – 18 GHz)
- ▷ l'antenne est tournée manuellement autour de son axe vertical (angle φ) et horizontal (angle θ) ($\Delta\theta = 15^\circ$)
- ▷ le signal est mesuré avec le VNA (N5230A)
 - plage de fréquences : 1 – 9 GHz,
 - résolution en fréquence : 400 kHz,



(a)



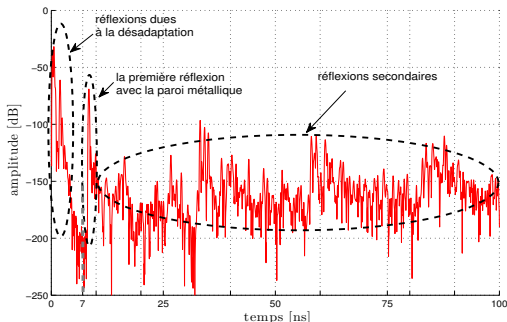
(b)

Scénario de mesure (a), et coordonnées polaires de l'antenne - θ et φ (b).

3.1 Évaluation de paramètres d'antenne dans la chambre réverbérante

Traitement des données

- ▷ la réponse temporelle est obtenue en appliquant au coefficient de réflexion mesuré S_{11CR} , une transformée CZT inverse,

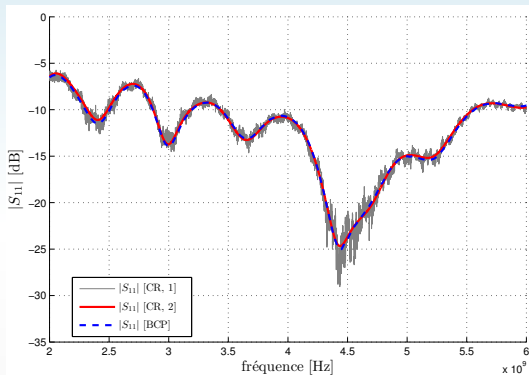


Exemple de réponse temporelle du canal de propagation à partir de mesures de S_{11} .

- ▷ en filtrant le signal temporel et en appliquant une transformée CZT directe au signal fréquentiel, nous gardons seulement les composantes d'intérêt.

3.1 Évaluation de paramètres d'antenne dans la chambre réverbérante

Résultats - I désadaptation de l'antenne

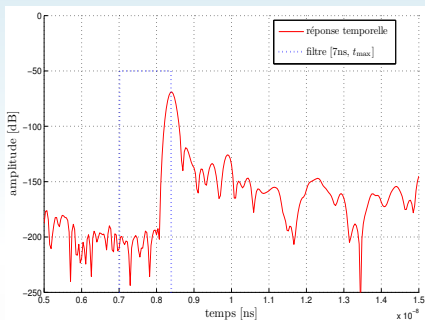


Désadaptation de l'antenne : [CR, 1] en utilisant la moyenne sur plusieurs mesures en CR, [CR, 2] en utilisant le filtrage en temps en CR, [BCP] mesure en base champ proche (BCP).

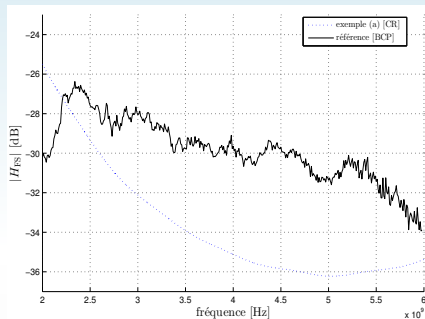
- ▷ pour extraire uniquement la désadaptation de l'antenne, la réponse temporelle de $S_{11\text{CR}}$ est filtrée pour les premières 7 ns. Puis ce signal est transcrit dans le domaine fréquentiel.

3.1 Évaluation de paramètres d'antenne dans la chambre réverbérante

Résultats - II fonction de transfert



Exemple de réponse temporelle du canal de propagation.

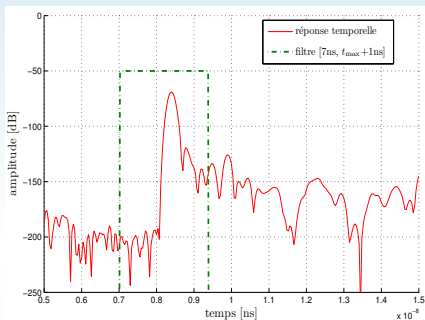


Comparaison entre la fonction de transfert estimée dans la direction ($\theta = 0$, $\varphi = 0$) dans la BCP et la valeur mesurée dans la CR pour différents intervalles de troncature.

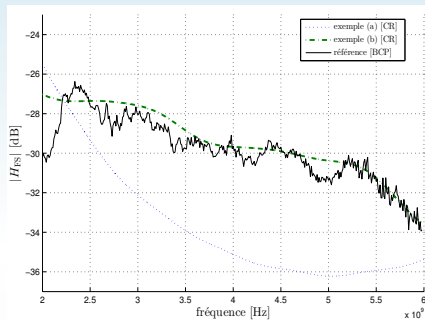
▷ t_{\max} correspond au maximum d'amplitude de la première réflexion.

3.1 Évaluation de paramètres d'antenne dans la chambre réverbérante

Résultats - II fonction de transfert



Exemple de réponse temporelle du canal de propagation.

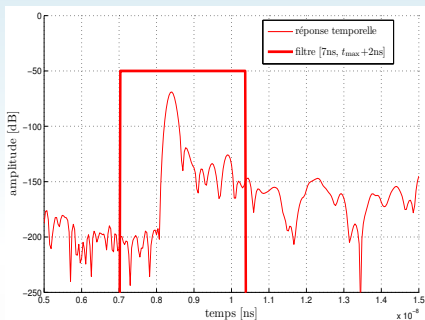


Comparaison entre la fonction de transfert estimée dans la direction ($\theta = 0$, $\varphi = 0$) dans la BCP et la valeur mesurée dans la CR pour différents intervalles de troncature.

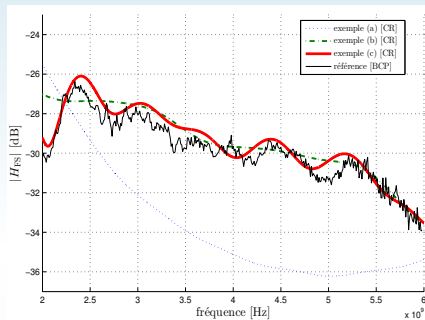
▷ t_{\max} correspond au maximum d'amplitude de la première réflexion.

3.1 Évaluation de paramètres d'antenne dans la chambre réverbérante

Résultats - II fonction de transfert



Exemple de réponse temporelle du canal de propagation.

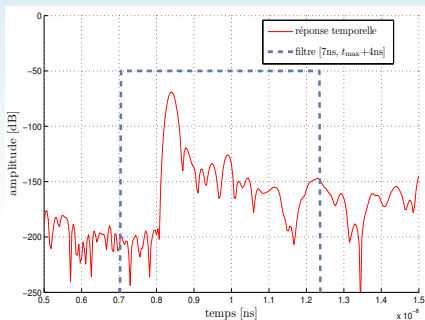


Comparaison entre la fonction de transfert estimée dans la direction ($\theta = 0$, $\varphi = 0$) dans la BCP et la valeur mesurée dans la CR pour différents intervalles de troncature.

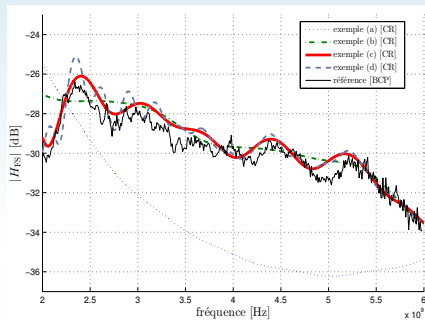
▷ t_{\max} correspond au maximum d'amplitude de la première réflexion.

3.1 Évaluation de paramètres d'antenne dans la chambre réverbérante

Résultats - II fonction de transfert



Exemple de réponse temporelle du canal de propagation.

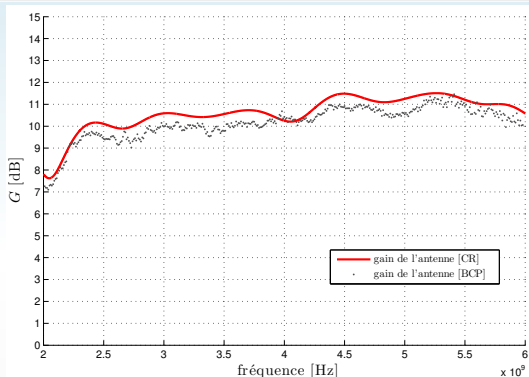


Comparaison entre la fonction de transfert estimée dans la direction ($\theta = 0$, $\varphi = 0$) dans la BCP et la valeur mesurée dans la CR pour différents intervalles de troncature.

▷ t_{\max} correspond au maximum d'amplitude de la première réflexion.

3.1 Évaluation de paramètres d'antenne dans la chambre réverbérante

Résultats - III gain maximal de l'antenne

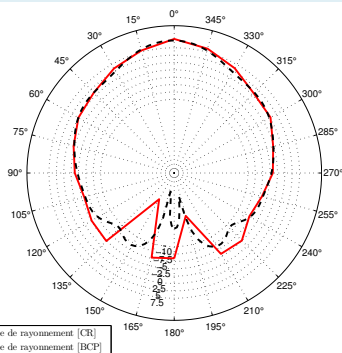


Comparaison entre les valeurs de gain mesurés en CR et dans la base champ proche (BCP), dans la direction ($\theta = 0$, $\varphi = 0$).

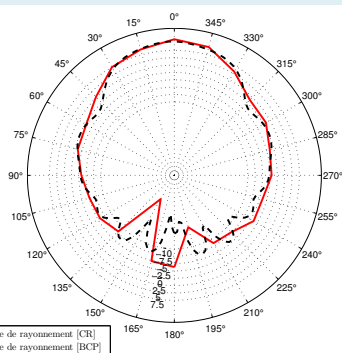
- ▷ l'erreur d'estimation de la distance de propagation en espace libre influence l'estimation du gain de l'antenne,
- ▷ un positionnement manuel de l'antenne peut avoir un effet négatif sur les résultats,
- ▷ néanmoins, les mesures dans la BCP sont aussi affectées par les incertitudes.

3.1 Évaluation de paramètres d'antenne dans la chambre réverbérante

Résultats - IV diagramme de rayonnement (pol. H)



(a)



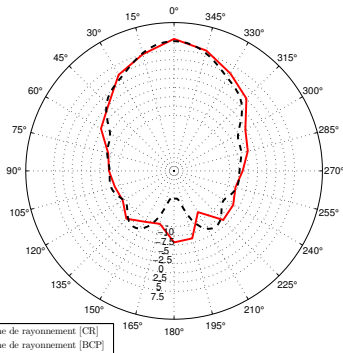
(b)

Diagrammes de rayonnement de l'antenne cornet (polarisée horizontalement) mesurés dans la chambre réverbérante et la base champ proche à $f = 3$ GHz (a), et $f = 5$ GHz (b).

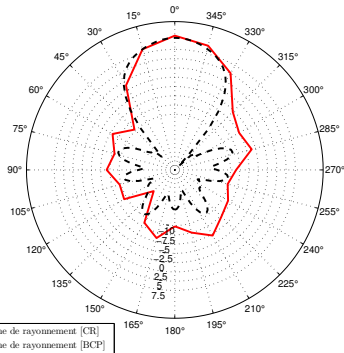
- ▷ les mesures dans la CR sont faites manuellement et l'antenne est tournée autour de son axe horizontal avec un pas de 15° ,
- ▷ lorsque le gain est élevé, les diagrammes de rayonnement mesurés en CR et BCP sont similaires. Les diagrammes de rayonnement qui ont plusieurs lobes secondaires sont plus difficiles à évaluer.

3.1 Évaluation de paramètres d'antenne dans la chambre réverbérante

Résultats - V diagramme de rayonnement (pol. V)




(a)



(b)

Diagrammes de rayonnement de l'antenne cornet (polarisée verticalement) mesurés dans la chambre réverbérante et la base champ proche à $f = 3$ GHz (a), et $f = 5$ GHz (b).

- ▷ les mesures dans la CR sont faites manuellement et l'antenne est tournée autour de son axe horizontal avec un pas de 15° ,
- ▷ lorsque le gain est élevé, les diagrammes de rayonnement mesurés en CR et BCP sont similaires. Les diagrammes de rayonnement qui ont plusieurs lobes secondaires sont plus difficiles à évaluer.



Applications

Le gain de diversité en chambre réverbérante

3.2 Le gain de diversité en chambre réverbérante

Description

- ▷ le but est d'analyser la **diversité** et d'obtenir des résultats similaires à ce que l'on obtiendrait dans un environnement réel en présence d'évanouissements.

3.2 Le gain de diversité en chambre réverbérante

Diversité

- ▷ selon le signal pris comme référence, il existe différentes définitions du gain de diversité [13] :
 - gain de diversité apparent,
 - gain de diversité effectif,
 - gain de diversité réel.

- ▷ selon les mécanismes pour générer la diversité (à l'aide d'antennes) [14] on identifie :
 - la diversité spatiale,
 - la diversité de polarisation,
 - la diversité de rayonnement ou d'angle (d'arrivée).

- ▷ les signaux reçus sur le réseau d'antennes peuvent être combinés à l'aide d'une technique (linéaire) de combinaison :
 - à gain maximal,
 - par sélection,
 - à gain égal.

[13] P.-S. Kildal, K. Rosengren, J. Byun, et J. Lee, "Definition of effective diversity gain and how to measure it in a reverberation chamber", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 34, pp. 56-59, Jul. 2002.

[14] M. Schwartz, W. R. Bennett, et S. Stein, *Communication systems and techniques*. McGraw-Hill, New York, 1966.

3.2 Le gain de diversité en chambre réverbérante

Paramètres qui peuvent influencer le gain de diversité

- ▷ **efficacité totale de l'antenne** η
- ▷ **facteurs** K
- ▷ **déséquilibre de puissance**. Pour un système avec deux antennes, nous pouvons exprimer le déséquilibre de puissance par :

$$PI = \frac{\eta_1}{\eta_2} \times \frac{2\sigma_1^2}{2\sigma_2^2} \times \frac{K_1 + 1}{K_2 + 1} = PI_\eta \times PI_{Br} \times PI_K, \quad (26)$$

- ▷ **corrélation entre les signaux**
 - corrélation de l'enveloppe complexe ρ_{cpx}
 - corrélation de l'amplitude de l'enveloppe ρ_{env}

$$\begin{cases} \rho_{env} \approx \rho_{pwr}, & \text{lorsque les facteurs } K \text{ sur les branches sont égaux [15],} \\ \rho_{env} < \rho_{pwr}, & \text{lorsque les facteurs } K \text{ sur les branches sont différents.} \end{cases}$$

- corrélation de puissance ρ_{pwr} . Nous étendons le calcul de corrélation de puissance dans [16] à la situation générale quand les facteurs K sont différents, d'où :

$$\rho_{pwr} = \frac{\Re(\rho_{cpx})2\sqrt{K_1 K_2} + |\rho_{cpx}|^2}{\sqrt{(2K_1 + 1)(2K_2 + 1)}}, \quad (27)$$

où "1" représente la première branche et "2" la deuxième.

[15] J. Pierce et S. Stein, "Multiple diversity avec nonindependent fading", Proceedings of the IRE, vol. 48, no. 1, pp. 89-104, Jan. 1960.

[16] Y. Karasawa et H. Iwai, "Modeling of signal envelope correlation of line-of-sight fading avec applications to frequency correlation analysis", IEEE Transactions on Communications, vol. 42, no. 6, pp. 2201-2203, Jun. 1994.

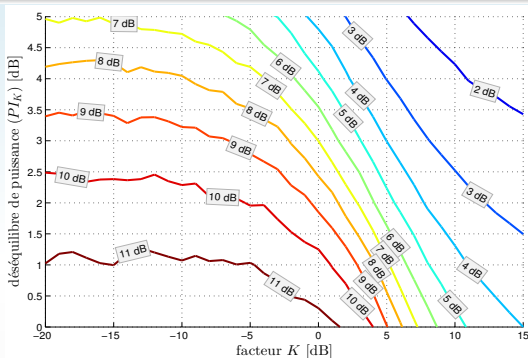
3.2 Le gain de diversité en chambre réverbérante

Détails sur les simulations

- ▷ **simulations de type Monte Carlo** : le nombre de réalisations est de 10 000 et le nombre d'essais de 50.
- ▷ la valeur minimale du facteur K change entre -20 et 15 dB,
- ▷ le déséquilibre de puissance PI_K change entre 0 et 5 dB (ce qui représente une variation du facteur K sur une autre branche de -20 à 20 dB),
- ▷ la corrélation complexe varie de 0 à 1 .

3.2 Le gain de diversité en chambre réverbérante

Résultats de simulation - ($\rho_{\text{cp}x} = 0$)

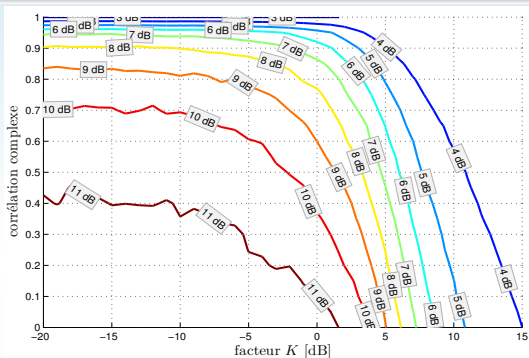


Simulation du gain de diversité lorsque $\rho_{\text{cp}x} = 0$ par la technique de combinaison à gain maximal.

- ▷ cette configuration représente le cas d'antennes qui ont des polarisations différentes et sont situées loin les unes des autres,
- ▷ lorsque la valeur minimale du facteur K est inférieure à une valeur limite ($K < -5$ dB) le gain de diversité dépend plus du déséquilibre de puissance entre les branches, dû aux composantes non-brassées que du facteur K ,
- ▷ avec l'augmentation de la valeur minimale du facteur K , le gain de diversité dépend à la fois du déséquilibre de puissance et du facteur K .

3.2 Le gain de diversité en chambre réverbérante

Résultats de simulation - ($PI_K = 0$ dB)

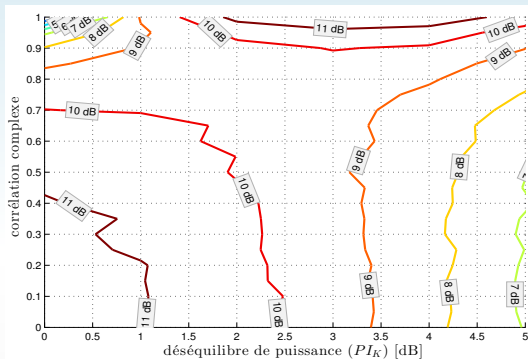


Simulation du gain de diversité lorsque $PI_K = 0$ dB par la technique de combinaison à gain maximal.

- ▷ cette situation peut se produire lorsque les deux antennes reçoivent la même puissance non-brassée,
- ▷ selon le niveau du gain de diversité, lorsque les facteurs K restent faibles ($K < 0$ dB), la corrélation complexe a un plus fort impact que le facteur K ,
- ▷ avec l'augmentation du facteur K ($K > 0$ dB), la corrélation complexe entre les branches a une plus faible influence par rapport au facteur K .

3.2 Le gain de diversité en chambre réverbérante

Résultats de simulation - (valeur minimale de $K = -20$ dB)



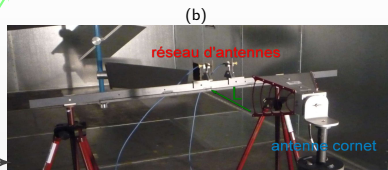
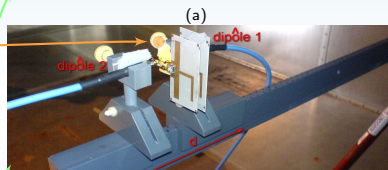
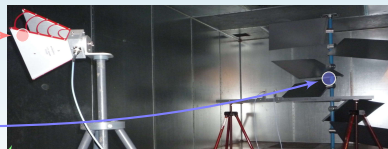
Simulation du gain de diversité lorsque la valeur minimale du facteur K d'une antenne est de -20 dB par la technique de combinaison à gain maximal.

- ▷ cette configuration représente la situation où deux antennes (du réseau) n'ont pas la même polarisation ou encore lorsqu'une seule antenne (au sein de réseau) a la même polarisation que l'émetteur,
- ▷ pour des valeurs de corrélation complexe inférieures à 0.75 le déséquilibre de puissance PI_K a une plus forte influence sur le gain de diversité que la corrélation complexe.

3.2 Le gain de diversité en chambre réverbérante

Scénario de mesure

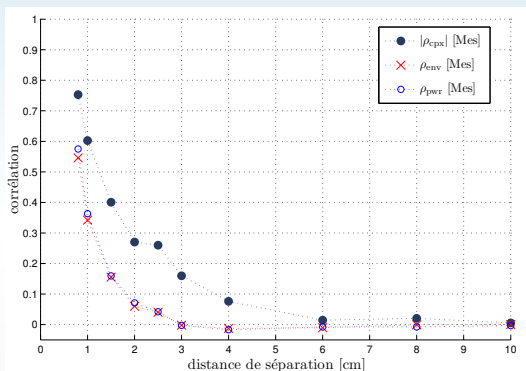
- ▷ émetteur : antenne cornet (1 – 18 GHz)
- ▷ récepteurs : deux antennes dipôles imprimés (2.7 – 3.1 GHz)
- ▷ brasseur mécanique, 100 positions,
- ▷ fonctions de transfert du canal de propagation (H_{12} , H_{13} et H_{23}) estimées en utilisant le VNA (N5230A),
 - gamme de fréquence : 2.5 – 3.5 GHz,
 - résolution de fréquence : 200 kHz,
- ▷ deux types de mesures sont testés :
 - (A) une configuration en l'absence de ligne-de-vue directe, en changeant la distance de séparation entre les antennes dipôles entre 0.8 et 10 cm,
 - (B) une configuration en ligne-de-vue directe, en changeant la distance entre l'antenne cornet et le réseau d'antennes entre 50 et 200 cm.



Diversité spatiale dans une configuration en l'absence de ligne-de-vue directe (a), (b) et une configuration en ligne-de-vue directe (c).

3.2 Le gain de diversité en chambre réverbérante

Résultats (A) - V corrélation du signal mesuré

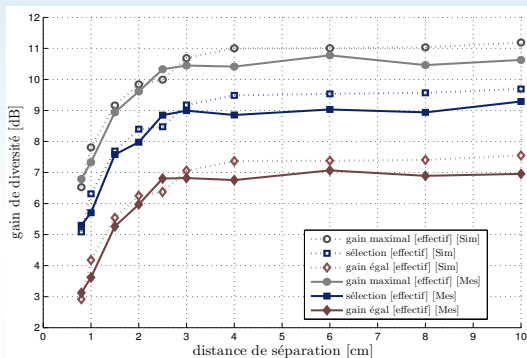


Les corrélations mesurées en fonction de la distance de séparation entre les antennes dipôles pour une fréquence de 2.9 GHz.

- ▷ à des distances de séparation faibles, la diversité spatiale peut être influencée par une diversité de rayonnement.

3.2 Le gain de diversité en chambre réverbérante

Résultats (A) - V gain de diversité

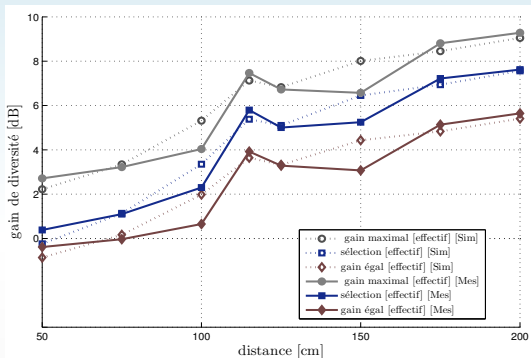


Comparaisons entre les diversités mesurées et simulées en cas d'absence de ligne-de-vue directe lorsque l'on change la distance de séparation entre les antennes du réseau à la réception, à 2.9 GHz.

- ▷ les gains de diversité commencent à décroître avec la diminution de l'efficacité de l'antenne et à l'augmentation de corrélation,
- ▷ les paramètres d'entrée pour les simulations : les puissances (non-brassée et brassée), la corrélation complexe et l'efficacité de rayonnement sont évaluées à partir des mesures.

3.2 Le gain de diversité en chambre réverbérante

Résultats (B) - V gain de diversité



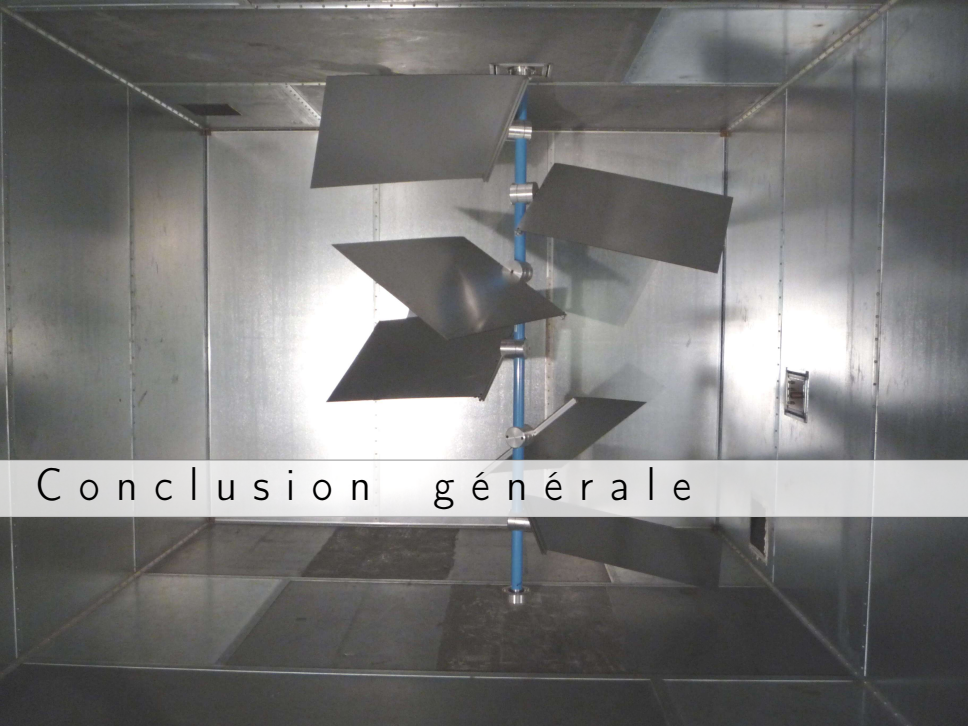
Comparaisons entre les diversités mesurées et simulées pour le cas de ligne-de-vue directe lorsque l'on change la distance de propagation entre l'antenne d'émission et le réseau d'antennes, à 2.9 GHz.

- ▷ les composantes non-brassées influencent à la fois les corrélations d'amplitude et de puissance, et le gain de diversité. Les effets sont d'autant plus importants qu'il y a un déséquilibre de puissance dû à ces composantes,
- ▷ avec l'apparition des composantes non-brassées, les gains de diversité diminuent.

3.3 Conclusion de la deuxième partie

- ▷ gain d'une antenne évalué à partir de mesures du coefficient de réflexion pour tout le diagramme de rayonnement,
 - résultats pour la désadaptation de l'antenne et l'ouverture de l'antenne à 3dB.
 - analyse des erreurs d'estimation de la distance de propagation et du gain d'antenne.

- ▷ analyse sur l'utilisation de la chambre réverbérante pour caractériser le gain de diversité,
 - description du déséquilibre de puissance,
 - expression de la corrélation de puissance,
 - évaluation des niveaux maximums de gain de diversité dans différentes configurations,
 - mesures du gain de diversité.



Conclusion générale

Conclusion générale

- ▷ analyse de plusieurs estimateurs du facteur K ; proposition de deux nouveaux estimateurs,
- ▷ évaluation et simulation de la surface équivalente moyenne d'absorption,
- ▷ calcul de plusieurs paramètres en utilisant un modèle statistique basé sur le profil de puissance,
- ▷ mesure du diagramme de rayonnement dans une CR et ses erreurs d'évaluation,
- ▷ calcul du gain de diversité dans différentes configurations dans la chambre réverbérante.

Conclusion générale

- ▷ analyse de plusieurs estimateurs du facteur K ; proposition de deux nouveaux estimateurs,
- ▷ évaluation et simulation de la surface équivalente moyenne d'absorption,
- ▷ calcul de plusieurs paramètres en utilisant un modèle statistique basé sur le profil de puissance,
- ▷ mesure du diagramme de rayonnement dans une CR et ses erreurs d'évaluation,
- ▷ calcul du gain de diversité dans différentes configurations dans la chambre réverbérante.

Conclusion générale

- ▷ analyse de plusieurs estimateurs du facteur K ; proposition de deux nouveaux estimateurs,
- ▷ évaluation et simulation de la surface équivalente moyenne d'absorption,
- ▷ calcul de plusieurs paramètres en utilisant un modèle statistique basé sur le profil de puissance,
- ▷ mesure du diagramme de rayonnement dans une CR et ses erreurs d'évaluation,
- ▷ calcul du gain de diversité dans différentes configurations dans la chambre réverbérante.

Conclusion générale

- ▷ analyse de plusieurs estimateurs du facteur K ; proposition de deux nouveaux estimateurs,
- ▷ évaluation et simulation de la surface équivalente moyenne d'absorption,
- ▷ calcul de plusieurs paramètres en utilisant un modèle statistique basé sur le profil de puissance,
- ▷ mesure du diagramme de rayonnement dans une CR et ses erreurs d'évaluation,
- ▷ calcul du gain de diversité dans différentes configurations dans la chambre réverbérante.

Conclusion générale

- ▷ analyse de plusieurs estimateurs du facteur K ; proposition de deux nouveaux estimateurs,
- ▷ évaluation et simulation de la surface équivalente moyenne d'absorption,
- ▷ calcul de plusieurs paramètres en utilisant un modèle statistique basé sur le profil de puissance,
- ▷ mesure du diagramme de rayonnement dans une CR et ses erreurs d'évaluation,
- ▷ calcul du gain de diversité dans différentes configurations dans la chambre réverbérante.

- ▷ une meilleure séparation entre les composantes non-brassées directes et indirectes,
- ▷ contrôler l'évanouissement lent dans la chambre réverbérante,
- ▷ contrôler les clusters dans la chambre réverbérante,
- ▷ développer une méthodologie de test pour une liaison de communication complète en chambre réverbérante.

Journaux internationaux avec comité de lecture

M. I. Andries, P. Besnier, and C. Lemoine, "Estimating K -factor and time spread parameters from a transient response of a pulse modulated sine wave in reverberation chamber", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 61, no. 1, pp. 380-389, Jan. 2013.

M. I. Andries, P. Besnier, and C. Lemoine, "Simple approximation for envelope based K estimator", Electronics Letters, vol. 47, no. 3, pp. 222-223, Mar. 2011.

Conférences internationales avec comité de lecture

M. I. Andries, C. Lemoine, and P. Besnier, "Diversity Gain for Rician and Rayleigh Environments in Reverberation Chamber", Proceedings of the International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Europe), Bruges, Belgium, Sept. 2013, submitted.

M. I. Andries, C. Lemoine, and P. Besnier, "On the prediction of the average absorbing cross section of materials from coherence bandwidth measurements in reverberation chamber", Proceedings of the International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Europe), Rome, Italy, pp. 1-6, Sept. 2012.

E. Amador, M. I. Andries, C. Lemoine, and P. Besnier, "Absorbing material characterization in a reverberation chamber", Proceedings of the International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Europe), York, UK, pp. 117-122, Sept. 2011.

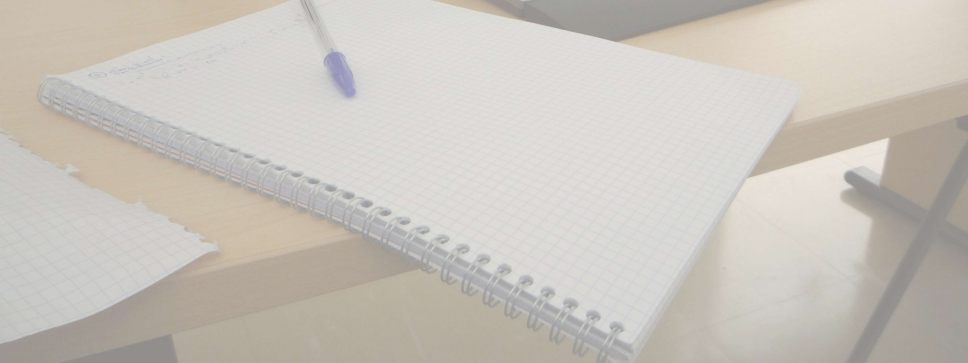
M. I. Andries, P. Besnier, and C. Lemoine, "Rician channels in a RC : Statistical uncertainty of K estimations versus K fluctuations due to unstirred paths", Proceedings of the 5th European Conference on in Antennas and Propagation (EUCAP), Rome, Italy, pp. 1758-1762, Apr. 2011.

Conférence nationale avec comité de lecture

P. Besnier, C. Lemoine, E. Amador, M. I. Andries, "Extraction de l'onde cohérente d'une mesure en chambre réverbérante. Principe et applications potentielles", 17e journée nationales microondes (JNM), Brest, France, May 2011.

Communication nationale sans actes

M. I. Andries, P. Besnier, C. Lemoine, "Quantification du facteur K caractéristique des canaux de propagation reproduits en chambre réverbérante à brassage de modes", Journées Scientifiques du Club EEA, GDR ONDES, Rennes, France, Oct. 2010.

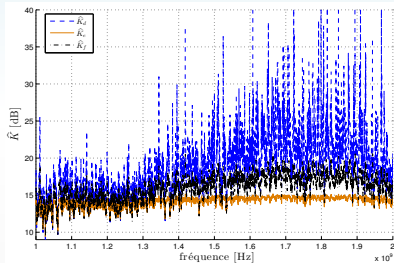


Merci de votre attention

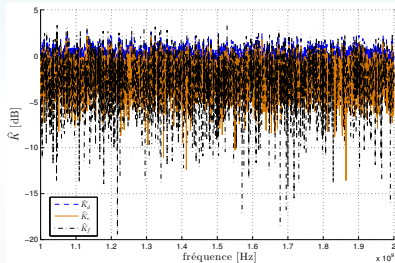
4.1 Annexe : Détails sur les mesures

- ▷ les mesures ont été faites dans les domaines temporel et fréquentiel,
- ▷ dispositifs de mesure :
 - générateur de forme d'onde arbitraire \implies AWG Tektronix 7052,
 - oscilloscope numérique \implies DSO Tektronix TDS6124C,
 - analyseur de spectre \implies Aeroflex IFR 2395,
 - analyseur de réseaux vectoriel \implies VNA Agilent N5230A.
- ▷ antennes d'émission/réception des signaux :
 - antennes cornet \implies ETS Lindgren, modèle 3115,
 - antennes discône \implies ARA, modèle CMA 118/A,
 - antennes log-périodiques \implies ETS Lindgren, modèle 3148.
- ▷ absorbants pour modifier le facteur de qualité de la chambre :
 - absorbants parallélépipédiques \implies Hyfrol P150,
 - bidons contenant de l'eau salée \implies SLAAM195BA.
- ▷ contraintes sur les signaux mesurés :
 - réalisations indépendantes,
 - réalisations corrélées.
- ▷ logiciel de contrôle des instruments de mesure et de traitement du signal :
 - Matlab.

- ▷ le facteur K peut évoluer typiquement sur une gamme importante de valeurs et certains estimateurs deviennent inutilisables au-delà d'une limite.



(a)

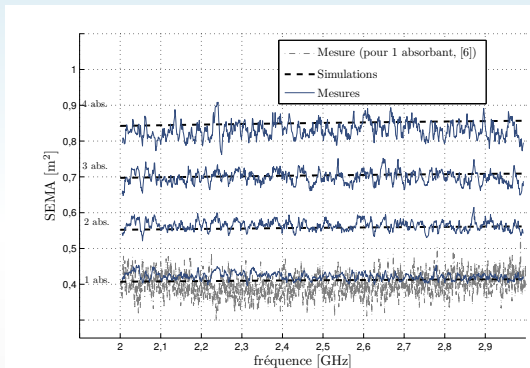


(b)

Le facteur K mesuré dans la chambre réverbérante pour une distance entre les antennes de 0.5 m en présence d'absorbants (a) et pour une distance entre antennes de 6 m en l'absence d'absorbants (b).

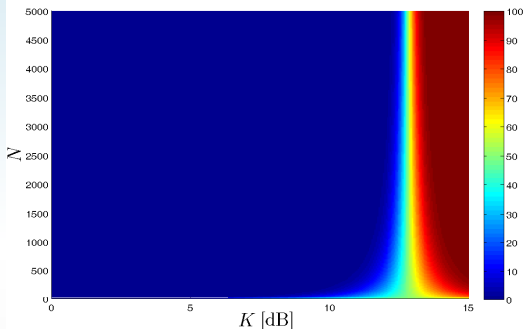
4.3 Annexe : Estimer la surface équivalente moyenne d'absorption

Résultats - surface équivalente moyenne d'absorption



SEMA Mesurées et simulées en fonction du nombre d'absorbants dans la CR pour la plage de fréquences 2 – 3 GHz.

- ▷ la valeur de la surface équivalente moyenne d'absorption a été réalisée dans une bande de 10 MHz,
- ▷ aussi, nous présentons la surface équivalente moyenne d'absorption pour 1 absorbant estimée par la méthode décrite en [6].



Le pourcentage des valeurs erronées du facteur K en fonction de N pour $\alpha = 0.95$.

- ▷ la probabilité d'estimation d'un profil de puissance erroné fonction du facteur K , d'un paramètre limite α (sélectionné pour prendre en considération le maximum d'énergie) et du nombre de réalisations N est égale à :

$$\Pr\left(P_{\text{total,Rp}} < \frac{A_{\text{nonBr}}^2}{\alpha}\right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{K^{\frac{\alpha-1}{2}} + 1}{\sqrt{2K+1}} \sqrt{N}\right), \quad (28)$$

où

▷ erfc est la fonction d'erreur complémentaire.

- ▷ t_{nonBr} est estimé en considérant la distance entre les deux antennes et le délai dû à la propagation dans chaque antenne :

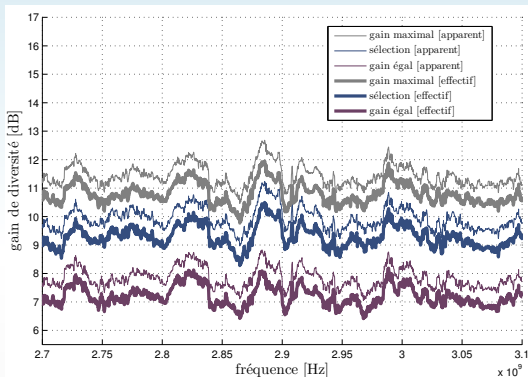
$$t_{\text{nonBr}} = \frac{d}{c} + 2t_{\text{retard}}^{\text{ant.}}, \quad (29)$$

- ▷ le paramètre $2t_{\text{retard}}^{\text{ant.}}$ est obtenu en mesurant l'écart de phase entre antennes dans une bande de fréquence selon :

$$t_{\text{retard}}^{\text{ant.}} = \frac{c}{2\pi} \frac{\Delta\varphi_{\text{ant.}}}{\Delta f} \quad (30)$$

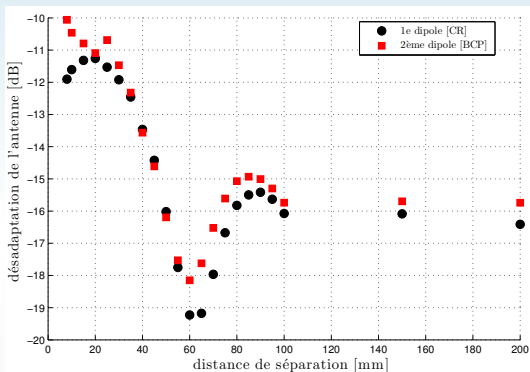
- ▷ la puissance associée aux composantes non-brassées est évaluée pour $t_{\text{Br}} = 5t_{\text{ch}} + 2t_{\text{delays}}^{\text{ant.}}$ [10] ; selon la directivité des antennes et les distances entre elles, à le moment de temps choisi pour t_{Br} la plupart de l'énergie non-brassée (75 – 90%) va arriver à la réception,
- ▷ dans nos mesures $t_{\text{Br}} = 93.2 \text{ ns}$, ce qui représente une distance parcourue de 27.95 m.

[10] E. K. Dunens et R. F. Lambert, "Impulsive sound-level response statistics in a reverberant enclosure", The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 61, no. 6, pp. 1524-1532, 1977.



Gain de diversité pour plusieurs techniques de combinaison pour une distance entre les antennes dipôles de 10 cm estimé pour un niveau de fiabilité de 1 %.

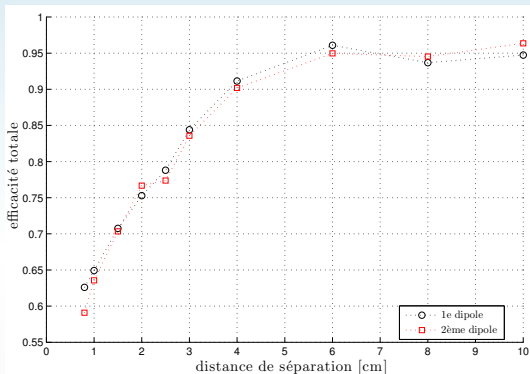
- ▷ cette configuration correspond à un faible couplage entre antennes, un déséquilibre de puissance total faible et un niveau de corrélation faible entre les branches
- ▷ comme attendu, le gain de diversité basé sur la technique de combinaison "à gain égal" est plus faible que celui qui utilise la technique de combinaison "par sélection" qui est aussi plus faible que les niveaux obtenus en utilisant une technique de combinaison "à gain maximal".



Désadaptation des antennes dipôles en fonction de distance de séparation entre elles à 2.9 GHz.

- ▷ une distance de séparation courte entre les antennes dipôles va principalement modifier le couplage entre les antennes (i.e., la désadaptation et le rendement) et le niveau de corrélation,
- ▷ les oscillations dans les désadaptations sont dues à la corrélation entre diagramme de rayonnement [17].

[17] I. Salonen, C. Icheln, et P. Vainikainen, "The dependency of pattern correlation on mutual coupling and losses in antenna arrays", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 47, no. 2, pp. 145-147, 2005.



L'efficacité totale en fonction de la distance de séparation entre les antennes dipôles à 2.9 GHz.

- ▷ lorsque la distance entre les dipôles diminue il y a une augmentation du couplage entre les antennes et l'efficacité totale diminue,
- ▷ les oscillations présentées dans les mesures de désadaptation de l'antenne ne sont pas visibles dans l'efficacité totale, donc la désadaptation joue un rôle moins important dans l'efficacité totale que l'efficacité de rayonnement.