SYNTHESE DE FRONT D'ONDE EN CHAMBRE REVERBERANTE PAR RETOURNEMENT TEMPOREL

P. Meton[1,2], F. Monsef[2], A. Cozza[2], M. Lambert[2], J.-C Joly[1]

[1] : [1] CEA, DAM, Gramat, F-46500 Gramat, France, Jean-Christophe.Joly@cea.fr
[2] : [2] L2S, UMR 8506, SUPELEC, CNRS, Univ. Paris-Sud, Département de Recherche en Electromagnétisme, 3 rue Joliot-Curie, 91192 Gif-sur-Yvette, Philippe.Meton@lss.supelec.fr

Résumé. *Les études menées sur le système TREC (Time Reversal Electromagnetic Chamber) ont démontré ses capacités à générer des fronts d'onde cohérents dans une chambre réverbérante [1]. L'utilisation de la TREC a été étudiée pour des applications CEM et ce système s'est avéré être une alternative potentielle pour des tests CEM [2]. Dans ce résumé, nous étudierons la synthèse d'un front d'onde localement plan en utilisant une simulation 2D du système TREC. Nous présenterons la qualité de reconstruction de la forme d'onde en fonction de la dimension de la zone tranquille.*

I. INTRODUCTION

La capacité à générer des fronts d'onde déterministes est fondamentale dans tous les systèmes d'essais visant à caractériser les réponses des équipements sous test (EST) soumis à une exposition électromagnétique. Ce besoin se retrouve notamment dans les tests CEM [3], l'imagerie radar ainsi que la caractérisation d'antennes [4]. Le point commun entre tous ces tests, est la génération de front d'onde ayant des caractéristiques de polarisation, de direction d'arrivée et de bandes passantes déterminées. Dans le cadre de tests d'immunité, les déviations de la phase et de l'amplitude doivent correspondre aux tolérances spécifiées pour la zone tranquille [3]. Les techniques de générations d'ondes planes se basent généralement sur l'utilisation de chambres anéchoïques, de sites en espace libre, ou de cellules TEM [5].

Il existe une autre façon de générer des fronts d'ondes non harmoniques en temps réel avec le recours potentiel et avantageux d'une unique source et sans déplacements mécaniques. Cette solution est le système TREC [1] composé d'une chambre réverbérante dans laquelle un principe de retournement temporel généralisé est utilisé avec une seule ou un nombre limité d'antennes disposées non uniformément (voir fig. 1). L'utilisation de signaux retournés temporellement permet d'obtenir un champ cohérent. La possibilité de créer dans la TREC des fronts d'ondes arbitraires non harmoniques avec une maîtrise de la polarisation dans une zone de focalisation restreinte a été démontrée [1] [6].

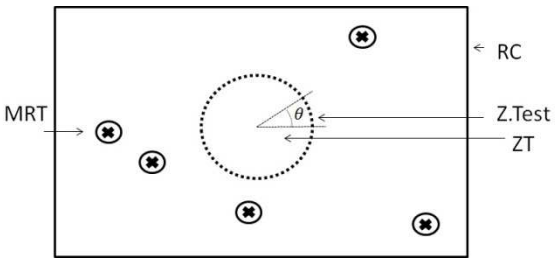

Fig. 1. Synoptique de la TREC : chambre réverbérante (RC) en trait plein, miroirs à retournement temporel (MRT) représentés par des croix, zone de test (Z.Test) délimitée par le cercle en traits discontinus entourant la Zone Tranquille (ZT).

II. CARACTÉRISATION DU FRONT D'ONDE BASÉ SUR LE CONTRASTE DE PIC

Notre travail présente une étude sur les capacités de la TREC à générer des fronts d'onde localement plans sur une zone de focalisation étendue dans le but de créer une zone tranquille à l'intérieur de celle-ci (voir fig. 1.). Nous avons caractérisé la qualité de reconstruction du front d'onde de test dans le système TREC en fonction de la longueur, L_e, de la zone tranquille. Nous avons quantifié ce paramètre en calculant le contraste de pic, rapport de la puissance instantanée de la partie cohérente sur une puissance moyenne des fluctuations indésirables. Nous présenterons ici plus en détails la signification physique de ce paramètre et l'étude de son évolution en fonction de L_e (voir fig. 2). Par soucis de simplification cette étude numérique utilise une modélisation 2D de la chambre réverbérante dans laquelle le champ scalaire E_z ne se propage que suivant 2 dimensions. Les données nécessaires à l'expérimentation numérique proviennent d'une simulation CST. Dans la suite, le signal d'excitation utilisé est un sinus cardinal de largeur de bande $B_T = 0{,}3$ GHz modulé par une porteuse de fréquence $f_c = 1{,}1$ GHz et de longueur d'onde λ_c.

Dans le but d'évaluer l'influence des fluctuations inhérentes au retournement temporel sur la qualité de reconstruction de la zone tranquille, établissons l'expression du contraste de la partie cohérente par rapport à ces perturbations.

La dépendance temporelle du front d'onde dans la TREC est la somme d'un champ cohérent dupliqué $\varepsilon(\boldsymbol{r},t)$ et d'un champ fluctuant $\mathrm{n}(\boldsymbol{r},t)$ [1] [7]. Le front d'onde généré par retournement temporel peut s'écrire sous la forme :

$\mathrm{s}(\boldsymbol{r},t) = \rho\varepsilon(\boldsymbol{r},t) + \mathrm{n}(\boldsymbol{r},t)$ (1)

Le contraste de pic Λ_p quantifie le pic de puissance instantanée dans la zone de focalisation par rapport aux fluctuations moyennes de puissance. En considérant ρ la projection spatio-temporelle de $\mathrm{s}(\boldsymbol{r},t)$ sur $\varepsilon(\boldsymbol{r},t)$ nous pouvons exprimer Λ_p sous la forme $\Lambda_\mathrm{p} = \frac{(\rho \max_{r,t}(\varepsilon(\boldsymbol{r},t=0)))^2}{(n_{\mathrm{rms}})^2}$ (2) où n_{rms} représente la valeur rms de $\mathrm{n}(\boldsymbol{r},t)$ et $\max_{r,t}(\varepsilon(\boldsymbol{r},t))$, la valeur pic spatiotemporelle du signal cohérent dans la zone de focalisation [7].

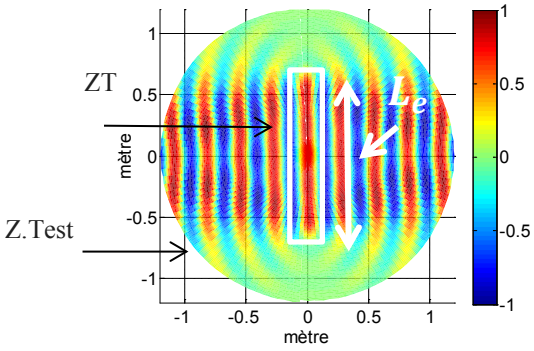

Fig. 2. : Distribution de champ de l'onde entretenue dans la zone de test à la fréquence centrale, $f_c = 1.1GHz$, $B_T = 0{,}3\ GHz$, avec une zone tranquille de dimension électrique $L_e = 5\lambda_c$.

III. CONTRASTE ET LONGUEUR DE LA ZONE TRANQUILLE

Nous allons ici nous intéresser à la qualité de reconstruction par retournement temporel du front d'onde cohérent en fonction de la longueur de la zone de tranquille. L'évolution du contraste de pic du front d'onde a été étudiée (voir fig. 3.) avec et sans optimisation du front d'onde cohérent [8]. Nous avons fait varier les longueurs électriques de zone de tranquille sur un intervalle [0.5 3.5] par pas de 0.2 (voir fig. 1. et fig. 2.). Pour chaque dimension de zone de test nous avons moyenné le Λ_p sur 35 angles d'incidence θ du front d'onde, repartis uniformément sur 2π (voir fig. 1.). Les résultats sont représentés sur la figure 3. En considérant une valeur de la déviation d'amplitude tolérable [3], $\mathrm{D} = \left(\frac{\mathrm{E_{max}}}{\mathrm{E_{min}}}\right)$ égale à 1dB avec $\mathrm{E_{max}}$ et $\mathrm{E_{min}}$ les valeurs respectives maximum et minimum du champ dans la zone tranquille, on obtient un contraste de 24dB. Nous avons tracé en vert cette valeur (voir fig. 3.). Nous constatons que Λ_p décroit en fonction de la longueur sur l'intervalle [0.5 2] ; sur [2 2.5] sa valeur reste relativement constante.

Nous remarquons que pour toutes les longueurs de zone de tranquille, Λ_p reste supérieur à la valeur seuil de 24dB. Le contraste de pic est donc compatible avec des tests en considérant un maximum de 1dB tolérable de la déviation d'amplitude dans la zone tranquille [3].

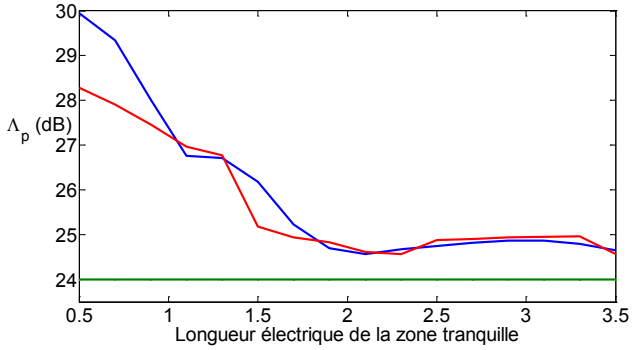

Fig. 3. Contraste de pic dans la zone tranquille en fonction de la longueur électrique L_e; courbe bleue et rouge respectivement avec et sans optimisation, courbe verte contraste de pic requis pour le test [3].

IV. CONCLUSION

Dans ce résumé, nous avons testé l'utilisation potentielle du système TREC, comme un nouveau moyen de générer des fronts d'onde localement plan. Nous avons présenté les résultats du contraste par rapport aux fluctuations inhérentes au retournement temporel pour différentes tailles de zone tranquille et avons pu dimensionner les longueurs électriques de zone tranquille pour lesquels les fluctuations ne créent pas de déviations supérieures à la valeur tolérable pour la mesure. Nous présenterons par la suite nos travaux de réalisation de la zone tranquille et étudierons les résultats de sa reconstruction dans la TREC.

REFERENCES

[1] A. Cozza, *"Emulating an Anechoic Environment in a Wave-Diffusive Medium through an Extended Time-Reversal Approach "*, IEEE Trans. Ant. Prop. 60, 8 (2012).

[2] H. Moussa, A. Cozza, M. Cauterman, *"Vérification expérimentale des performances d'une chambre électromagnétique à retournement temporel"*, Colloque international et Exposition sur la compatibilité électromagnétique (CEM 2010), vol p.6-1 (2010)

[3] *"Radiated, RadioFrequency, Electromagnetic Field Immunity Test"*, International Standard, Standard IEC 61000-4-3 (1995)

[4] IEEE Standard Test Procedures for Antennas, Std 149-1979, E. S. Gillepsie, Chairman

[5] D.Hansen, D.Ristau, *"Source of problems in GTEM field structure and recommended solutions"*, IEEE Int. Symp. Electromagnetic Compatibility, pp. 4851 (1996)

[6] A. Cozza, H. Moussa, *"Enforcing a deterministic polarization in a reverberating environement"*, Electron Lett. 45, 25 (2009)

[7] A. Cozza, *"Statistics of the performance of time-reversal in a lossy reverberating medium"*, Phys. Rev. E 80, 056604 (2009)

[8] P. Meton, F. Monsef , A. Cozza, M. Lambert, J.-C. Joly, *"Analyse de la génération de front d'onde dans une chambre réverbérante pour la mesure d'antennes"*, Journées Nationales Microondes (JNM 2013)