



HAL
open science

Test Virtuel d'intégrité de signal sur des câbles blindés ou non blindés en chambre réverbérante

Sahand Rasm, Guillaume Andrieu, Rémi Tumayan, Alain Reineix

► **To cite this version:**

Sahand Rasm, Guillaume Andrieu, Rémi Tumayan, Alain Reineix. Test Virtuel d'intégrité de signal sur des câbles blindés ou non blindés en chambre réverbérante. 20ème colloque International sur la Compatibilité Electromagnétique CEM 2020, Ecole centrale de Lyon, 13-15 Avril 2021, Apr 2021, Lyon, France. hal-03328211

HAL Id: hal-03328211

<https://hal.science/hal-03328211>

Submitted on 29 Aug 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.

TEST « VIRTUEL » D'INTEGRITE DE SIGNAL SUR CABLES BLINDES OU NON BLINDES EN CHAMBRE REVERBERANTE

S. RASM^{1&2}, G. ANDRIEU¹, R. TUMAYAN², A. REINEIX¹

¹XLIM, Axe Systèmes RF, Equipe CEM & Diffraction, Limoges, France

²RENAULT, Département RF & CEM, Guyancourt, France

Résumé. Aujourd'hui et de plus en plus avec le développement des véhicules autonomes, le volume de données numériques à transmettre au sein d'une automobile nécessite des réseaux prenant en charge un débit de données élevé. Les câbles à paires torsadées (comme Ethernet et LVDS) seront dans le futur les câbles les plus souvent utilisés pour les communications filaires à haute vitesse. Bien que les réseaux à grande vitesse résolvent le problème du débit de données, l'étude de leur immunité est un problème nouveau dans l'industrie automobile. Celle-ci est généralement basée sur la mesure de l'impédance de transfert pour les basses fréquences et sur des mesures d'efficacité de blindage pour les hautes fréquences [5][6]. Aussi, les mesures d'immunité de ce type de câble sont souvent limitées au calcul de la tension et du courant induits sur le câble et n'impliquent pas de vérifier la qualité du signal transmis [7]. Dans cet article, une méthode « virtuelle » pour la vérification de la fiabilité de transmission des réseaux à hautes vitesses est proposée. La méthode est basée sur la mesure de paramètres S en chambre réverbérante à brasseur de mode (CRBM). On montre en effet qu'il est possible de prédire l'intégrité de la transmission des données pour un câble sous une agression électromagnétique quelconque à une fréquence donnée.

I. DESCRIPTION DE LA MÉTHODE

I.1. Montage expérimental

La méthode proposée consiste à mesurer en CRBM les paramètres S entre une antenne (port 1) et une paire torsadée sous test (blindée ou non) tel qu'illustré sur la figure 1. Les ports 2 et 3 représentent l'extrémité d'un des 2 conducteurs de la paire torsadée à la référence de masse.

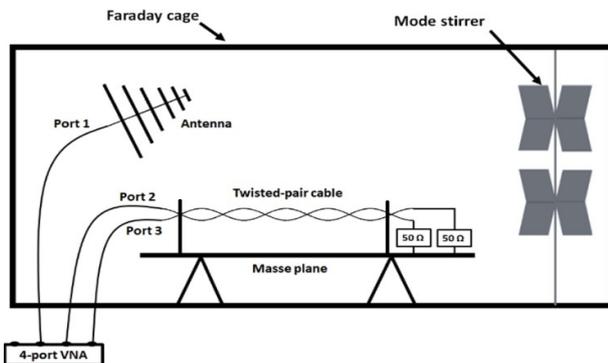


Fig. 1. Description schématique du montage expérimental

I.2. Principe de la méthode

Les différentes étapes de la méthode sont présentées successivement dans cette section.

a - Calcul de $\langle |E_T| \rangle$

Le paramètre S_{11} permet de calculer le facteur de qualité Q de la CRBM :

$$Q = \langle |S_{11} - \langle S_{11} \rangle|^2 \rangle \frac{Z_0 \omega \epsilon V}{\left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right)(1 - \langle |S_{11}|^2 \rangle)^2 \eta^2} \quad (1)$$

où Z_0 est l'impédance d'onde, ω la pulsation, λ la longueur d'onde, η l'efficacité de l'antenne, ϵ la permittivité diélectrique du milieu de propagation et V le volume de CRBM.

Connaissant le facteur de qualité de la CRBM (Q) et la puissance acceptée par l'antenne (P_{inj}) il est possible de calculer le champ électrique total moyen en CRBM [1] :

$$\langle |E_T| \rangle = \sqrt{\frac{QP_{inj}}{\omega \epsilon V}} \quad (3)$$

b - Tension induite en mode commun

Les paramètres S_{21} et S_{31} mesurés permettent de calculer les tensions de mode commun V_{mc1} & V_{mc2} générés sur chacun des 2 conducteurs de la paire torsadée par la perturbation électromagnétique produite dans la CRBM. Dans le cas de paires torsadées bifilaires, le signal utile est généralement transmis en mode différentiel. Les différents ports de la mesure sont illustrés sur la figure 2 suivant la théorie des paramètres S :

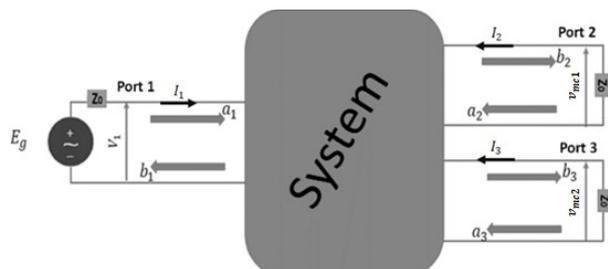


Fig. 2. Schéma du montage de mesure selon la théorie des paramètres S

Les tensions V_{mc1} & V_{mc2} peuvent s'écrire sous la forme suivante [3] :

$$\begin{cases} V_{mc1} = \frac{S_{21} E_g}{2} \\ V_{mc2} = \frac{S_{31} E_g}{2} \end{cases} \quad (4)$$

où E_g est la source de tension interne du port 1 liée à la puissance acceptée par l'antenne.

$$E_g = \sqrt{\frac{8 Z_0 P_{inj}}{1 - |S_{11}|^2}} \quad (5)$$

À partir de ces équations, il est donc possible de calculer les tensions induites en mode commun à l'extrémité des câbles en effectuant la mesure des paramètres S et en connaissant la puissance injectée à l'antenne. Selon la configuration de la mesure représentée sur la figure 1, les impédances utilisées à l'extrémité de chaque conducteur de la paire torsadée sont égales. En raison de cette symétrie, les tensions induites en mode commun V_{mc1} & V_{mc2} sont similaires et le signal différentiel lié au mode commun $V_{md} = V_{mc1} - V_{mc2}$ est quasiment égal à zéro. Dans la réalité, ces impédances n'ont pas toujours la même valeur et leur déséquilibre peut provoquer une conversion plus importante du signal parasite en mode commun vers le mode différentiel et ainsi avoir un impact beaucoup plus important sur la perturbation éventuelle du signal utile.

c - Taux de rejection de mode commun

Le déséquilibre des impédances de mode commun présentée par un équipement relié à l'extrémité de la paire torsadée sous test peut être simulé par le taux de rejection de mode commun (TRMC) [4]. Ce paramètre définit la relation entre les tensions induites en mode commun et en mode différentiel telles que représentées sur la figure (3).

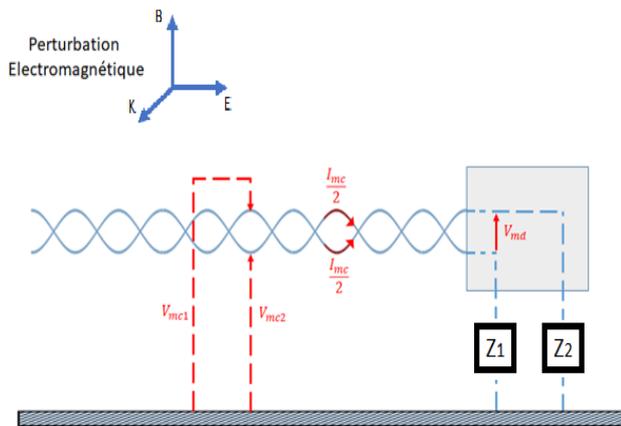


Fig. 3. Illustration du taux de rejection de mode commun (TRMC) pour un câble bifilaire

Le TRMC (en dB) est défini comme ci-dessous :

$$TRMC = 20 \log \left(\frac{V_{mc1} + V_{mc2}}{2 V_{md}} \right) \quad (6)$$

d - Tension induite en mode différentielle

En appliquant un TRMC donné, nous pouvons alors calculer la tension différentielle V_{md} induite à l'extrémité de la paire bifilaire sous test par l'agression EM produite en CRBM pour une puissance acceptée par l'antenne donnée, qu'elle soit blindée ou non :

$$V_{md} = \frac{V_{mc1} + V_{mc2}}{2 \times 10^{\left(\frac{TRMC}{20}\right)}} \quad (7)$$

On comprend ici qu'une valeur élevée de TRMC représente un bon équilibre d'impédances de mode commun et donc une faible perturbation en mode différentiel. La théorie des paramètres S permet alors de calculer $V_{md}(f)$ pour n'importe quelle puissance acceptée par l'antenne ou même suivant l'équation (3) pour n'importe quelle valeur du champ électrique total moyen $\langle |E_T| \rangle$ dans la CRBM. Ce raisonnement est valable pour n'importe quelle fréquence f considérée à partir du moment où les paramètres S ont été mesurés au préalable à cette fréquence. Il est également important de noter que $V_{md}(f)$ peut être calculée pour chaque position du brasseur de modes.

e - Test « virtuel » d'intégrité de signal

La dernière étape de la méthode correspond à la vérification « virtuelle » de la qualité du signal transmis en post-traitement. Pour cela, on ajoute au signal temporel transmis (représentant le signal reçu à l'extrémité du câble sous test) le signal perturbant $V_{md}(f_p)$ pour la fréquence parasite f_p considérée. Le signal sinusoïdal correspondant est alors caractérisé par son amplitude crête A_p et sa fréquence f_p . On voit ici le parallèle avec un test d'immunité rayonnée traditionnelle où l'agression électromagnétique est généralement réalisée en mode CW (constant wave), c'est-à-dire pour une seule fréquence de perturbation. Cette opération est effectuée en post-traitement et est donc applicable à tout type de signal utile temporel. Une fois le signal transmis obtenu, il peut être comparé au signal utile non-perturbé. Le résultat de cette comparaison permet d'étudier si l'intégrité du signal utile est perturbée ou non par la perturbation EM générée en CRBM, et ce pour chaque position du brasseur de modes à la fréquence considérée. L'analyse effectuée à ce niveau dépend donc de l'allure du signal utile et peut aller d'une simple comparaison des amplitudes du signal utile et de la perturbation sinusoïdale jusqu'à un calcul plus complexe du taux d'erreur binaire par exemple (au prix bien sûr d'un programme de post-traitement à la complexité bien supérieure).

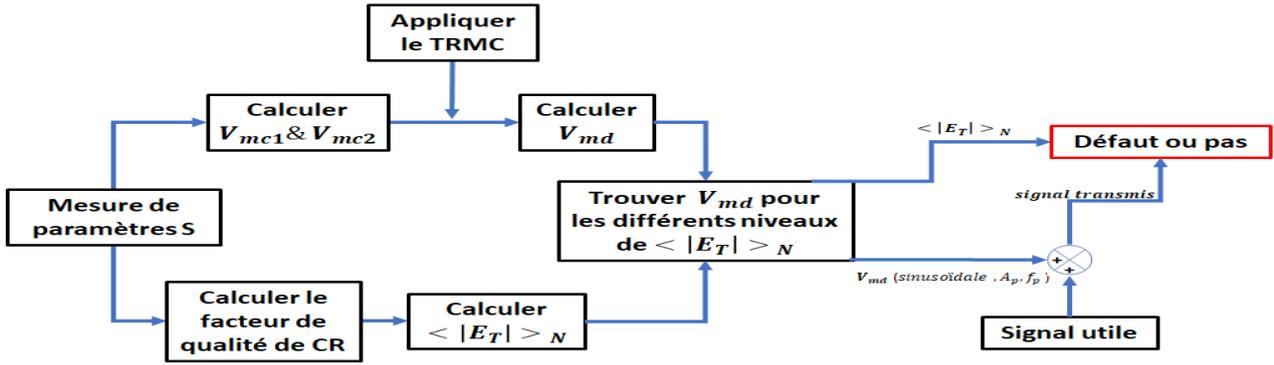


Fig. 4. Organigramme présentant les différentes étapes de la méthode

II. RESULTAT

II.1. Calcul de $\langle |E_T| \rangle$

Pour illustrer la méthode, un montage basé sur le montage expérimental présenté sur la Fig.1 a été installé. L'antenne utilisée est de type log-périodique couvrant une bande de fréquence de 200 MHz à 2 GHz. La chambre possède les dimensions suivantes : 3,57 m de longueur, 2,45 m de largeur et 2,46 m de hauteur soit un volume d'environ 21,5 m³. Afin d'avoir un nombre important d'échantillons indépendants, la mesure a été effectuée pour 360 positions du brasseur de mode. Les mesures ont été effectuées pour deux types de câbles Ethernet. Le premier est une paire torsadée non-blindée (UTP : unshielded twisted pair) tandis que le second câble est une paire torsadée doublement blindée (F/STP : foiled/shielded twisted pair) à la fois par une feuille d'aluminium et par un blindage tressé. Après avoir effectué la mesure des paramètres S, tout d'abord, en utilisant l'équation (1) le facteur de qualité de la CRBM présenté sur la figure 5 a été calculé.

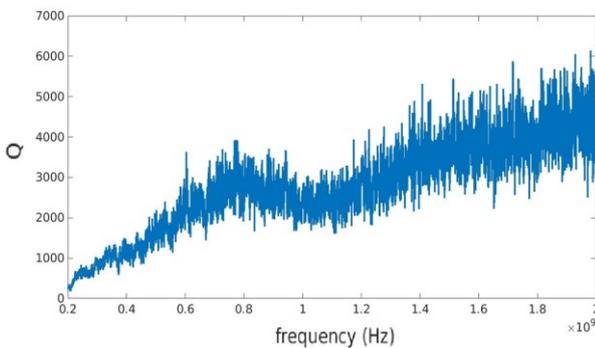


Fig. 5. Facteur de qualité de la CRBM en fonction de la fréquence

La CRBM XLIM est considérée comme bien brassée [2] pour les fréquences supérieures à 400 MHz. A l'aide de l'équation (3), la puissance injectée P_{inj} permettant d'obtenir $\langle |E_T| \rangle = 100$ V/m est présentée sur la figure 6.

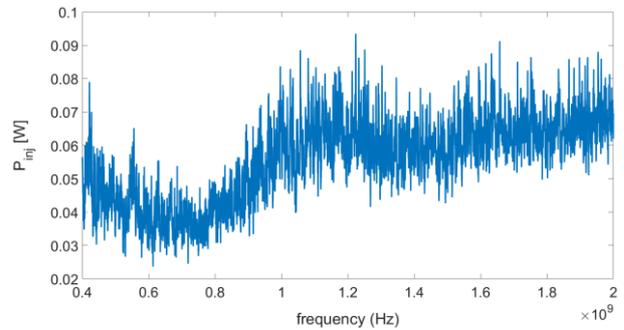


Fig. 6. Puissance injectée permettant d'obtenir $\langle |E_T| \rangle = 100$ V/m dans la CRBM de XLIM.

II.2. Calcul de V_{md}

La figure 7 présente la tension différentielle obtenue sur le câble non-blindé pour différentes valeurs du TRMC pour $\langle |E_T| \rangle = 100$ V/m.

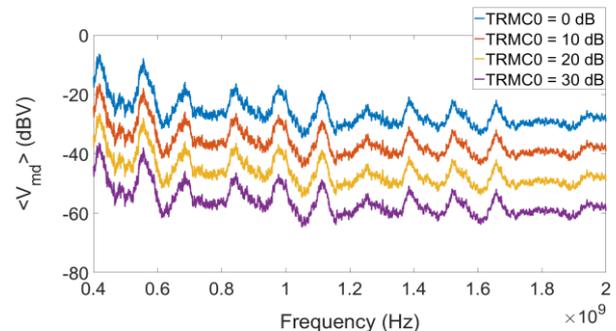


Fig. 7. Tension différentielle induite sur le câble non-blindé pour $\langle |E_T| \rangle = 100$ V/m (pour une position du brasseur de modes) en fonction du TRMC appliqué.

Comme mentionné précédemment, il est également important de noter que $V_{md}(f)$ peut être calculée pour chaque position du brasseur de modes.

II.1. Vérification de défaut

Dans cette partie, la dernière étape de la méthode sera appliquée pour le cas simple d'un signal utile carré tel que représenté en bleu sur la figure 8. Ce signal est défini dans notre travail par un état « haut » de valeur A_u et un état « bas » de valeur $-A_u$ et une fréquence de répétition f_u . La figure 8 représente également le signal parasite défini par son amplitude crête A_p et sa fréquence f_p (avec $f_p > f_u$ sur la figure) ainsi que l'amplitude totale du signal dit « perturbé » représentant la somme des deux signaux. On définit alors le « défaut » de la communication pour chaque position du brasseur de modes et chaque valeur de $\langle |E_T| \rangle$ considérée de la manière suivante : si lors d'un état « haut » du signal utile, le signal temporel est inférieur à un moment donné à 0 (et inversement pour un niveau bas).

Le « taux de défaut » défini alors comme le nombre de positions de brasseur aboutissant à un défaut divisé par le nombre total de positions de brasseur considérée peut alors être calculé pour chaque valeur de $\langle |E_T| \rangle$ considérée.

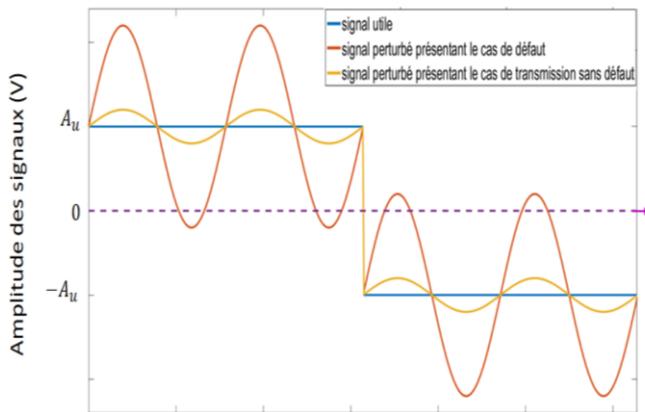


Fig. 8. Critère de défaut

La figure 9 présente le taux de défaut calculé pour les deux types de câble testés en fonction du niveau $\langle |E_T| \rangle$ appliquée fictivement dans la CRBM pour un TRMC de 10 dB. L'amplitude A_u du signal utile considérée est égale à 2 V, sa fréquence de répétition (f_u) est de 100 MHz tandis que la fréquence f_p du signal parasite appliquée est de 1 GHz.

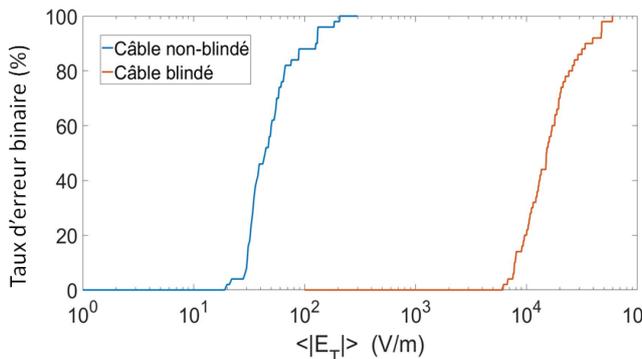


Fig. 9. Taux de défaut obtenu pour les deux câbles testés ($f_u = 100$ MHz, $f_p = 1$ GHz, TRMC = 10 dB, $A_u = 2$ V)

III. CONCLUSION

Ce papier présente une méthode originale pour tester de façon virtuelle l'intégrité de la transmission d'information sur des paires torsadées blindées ou non à partir de mesures de paramètres S effectuées en CRBM. Du fait du principe de paramètres S, l'analyse réalisée en post-traitement peut être réalisée pour n'importe quel niveau du champ électrique total moyen présent dans la CRBM. En dehors des mesures (rapides) de paramètres S, le reste de la méthode s'effectue en post-traitement, ce qui la rend applicable pour tout type de communication numérique. Appliquée dans cet article sur un signal utile carré afin de prouver la pertinence de l'approche proposée, la méthode sera dans le futur étudiée pour des signaux utiles plus représentatifs de la réalité afin d'étudier l'effet de la perturbation sur des grandeurs plus réalistes (diagramme de l'œil, taux d'erreur binaire, etc).

REFERENCES

- [1] P. Besnier, C. Lemoine, J. Sol, "Various estimations of composite q-factor with antennas in a reverberation chamber," in Proc. 2015 IEEE Int. Symp. Electromagn. Compat., Aug. 2015, pp. 1223-1227.
- [2] G. Andrieu, N. Ticaud, F. Lescoat, L. Trounou, "Fast and Accurate Assessment of the "Well Stirred Condition" of a Reverberation Chamber from S11 Measurements," IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. 61, no. 4, pp. 974-982, Aug. 2019.
- [3] Pozar, David M, Microwave engineering, Hoboken, NJ: Wiley, New York, 2012.
- [4] H. W. Ott, Noise Reduction Techniques in Electronic Systems, 2nd ed. New York, NY, USA: Wiley, 1988.
- [5] Z. Chérif, G. Andrieu, G. Alberto, N. Ticaud, C. Jullien, J. Genoulaz, A. Dieudonné, "Transfer Impedance Measurement of Shielded Cables Through Localized Injection," IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. 60, no. 4, pp. 1018-1021, Aug. 2018.
- [6] B. Demoulin, P. Degauque, M. Cauterman, R. Gabillard, "Shielding Performance of Triply Shielded Coaxial Cables," IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. EMC-22, no. 3, pp. 173-180, Aug. 1980.
- [7] F. Grassi, S. Pignari, "Current Injection in Twisted Wire Pairs With Not Perfectly Balanced Terminations," IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. 55, no. 6, pp. 1293-1301, Dec. 2013.