



HAL
open science

DESCRIPTION D'UNE METHODE EXPERIMENTALE PERMETTANT DE QUALIFIER LES SEUILS DE SENSIBILITE DES RECEPTEURS FM EN PRESENCE D'INTERFERENCES PAR VOIE RAYONNEE

Abdivall Maouloud, Marco Klingler, Philippe Besnier

► **To cite this version:**

Abdivall Maouloud, Marco Klingler, Philippe Besnier. DESCRIPTION D'UNE METHODE EXPERIMENTALE PERMETTANT DE QUALIFIER LES SEUILS DE SENSIBILITE DES RECEPTEURS FM EN PRESENCE D'INTERFERENCES PAR VOIE RAYONNEE. CEM France, Apr 2021, Lyon, France. hal-03245272

HAL Id: hal-03245272

<https://hal.science/hal-03245272>

Submitted on 1 Jun 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.

Copyright

DESCRIPTION D'UNE METHODE EXPERIMENTALE PERMETTANT DE QUALIFIER LES SEUILS DE SENSIBILITE DES RECEPTEURS FM EN PRESENCE D'INTERFERENCES PAR VOIE RAYONNEE

A. Maouloud^{1,2}, M. Klingler¹, P. Besnier².

¹Stellantis, Centre technique de Vélizy, 2 route de Gisy, 78943 Vélizy-Villacoublay, France
abdivall.maouloud@stellantis.com, marco.klingler@stellantis.com

²INSA Rennes, CNRS, IETR UMR 6164, F-35000 Rennes, France, philippe.besnier@insa-rennes.fr

Résumé. L'évaluation de la qualité de la réception radio représente une étape cruciale dans le processus de production d'un véhicule. Pour évaluer la réception radio, plusieurs paramètres entrent en jeu. Le lien radio dépend en effet de la nature du canal de propagation électromagnétique [1], des caractéristiques des antennes [1], [2] et plus généralement de la chaîne électronique de réception. La qualité de la réception est également potentiellement affectée par les interférences générées à l'entrée de l'autoradio par l'électronique de bord [3], [4], [5]. Les méthodes actuelles d'évaluation de la réception radio [6], [7], [8] ne lient pas expérimentalement les phénomènes d'interférence électromagnétique du véhicule au signal radioélectrique contenant l'information utile (signal en bande de base). Cette communication présente un banc d'essai original permettant l'évaluation de la qualité de réception radio d'un véhicule dans une chambre semi-anéchoïque. Ce banc d'essai constitue une brique de base essentielle d'un processus méthodologique global. Son objectif est de mesurer le seuil de sensibilité de la chaîne de réception radio du véhicule et d'évaluer l'évolution de ce seuil en fonction de l'interférence générée par les différents organes du véhicule. Nous avons mis en place deux méthodes pour réaliser cette expérience : l'injection du signal radioélectrique directement au niveau de l'autoradio (mode conduit) et l'injection du signal radioélectrique à l'aide d'une antenne (mode rayonné). Dans cet article seul le mode rayonné est présenté.

I. INTRODUCTION

Aujourd'hui, avec l'avancée technologique dans le domaine de l'automobile, de plus en plus d'organes électroniques dans le véhicule génèrent des interférences électromagnétiques. Ces interférences constituent des signaux parasites pour les signaux radio (modulés en AM, FM ou DAB) captés par les antennes du véhicule. Si le niveau de puissance du signal radio est supérieur au niveau de l'interférence (dans l'hypothèse où ce niveau est lui-même supérieur au seuil de sensibilité du récepteur), le signal radio est correctement démodulé et l'écoute radio est possible. Par ailleurs, à l'aide d'un récepteur de mesure il est possible de mesurer le niveau d'interférence généré et capté par l'antenne du véhicule [9]. Cela nous renseigne sur le niveau d'interférence produit par le véhicule. Par contre, l'inconvénient majeur de cette méthode est qu'elle ne lie pas d'une manière objective l'interférence mesurée

à la qualité d'écoute radio, ni à la qualité de l'antenne intégrée sur le véhicule. Car il faut pour cela évaluer le niveau d'interférence du signal audio démodulé. Le signal radio reçu quant à lui, dépend du diagramme de rayonnement de l'antenne du véhicule. Concernant les nouvelles gammes de véhicules, il faut également noter que les antennes et le démodulateur radio sont intégrés sur une seule carte électronique. Cela rendra impossible à court terme l'accès à l'antenne et par suite la mesure d'interférence captée par cette même antenne. Cependant, pour surmonter cette difficulté et afin de lier l'interférence électromagnétique et la performance de l'antenne à la qualité d'écoute radio [10], nous avons pensé à exploiter la notion de sensibilité [11], [12] de l'autoradio en champ incident. La sensibilité en champ incident est le niveau de champ minimal nécessaire, mesuré à l'emplacement de l'antenne du véhicule, qui permet une démodulation correcte du signal radio. La sensibilité de l'autoradio en champ incident dépend du bruit intrinsèque du démodulateur radio, de l'interférence produite par le véhicule et du diagramme de rayonnement de l'antenne. Le seuil de sensibilité englobe donc plus d'informations que la mesure de parasitage et prend en compte l'ensemble des paramètres qui influencent la réception radio. Ainsi, la méthode que nous proposons consiste à mesurer le seuil de sensibilité en mode rayonné dans la bande FM en chambre semi-anéchoïque, en utilisant une antenne et un émetteur de laboratoire pour simuler un émetteur de radiodiffusion FM. Le principe de la méthode consiste à piloter automatiquement le niveau de puissance et la fréquence de l'émetteur radio FM tout en mesurant, à l'aide d'un analyseur audio le pourcentage de bruit dans le signal bande base à la sortie audio de l'autoradio. Il est ensuite nécessaire de fixer un seuil de distorsion du signal (rapport de l'énergie du bruit sur celle portée par le signal utile) qui correspond à une bonne écoute. Par conséquent, la valeur de champ incident pour une fréquence donnée et pour laquelle cette distorsion est inférieure au seuil fixé, représentera la valeur seuil de sensibilité en champ incident à cette fréquence. Il faut noter également qu'il est nécessaire de mettre en place un second banc de mesure dédié au calibrage [13] de l'essai de mesure de sensibilité en mode rayonné. Ce banc permet de déterminer en fonction de la fréquence, la puissance de référence transmise par l'émetteur afin d'atteindre une amplitude de champ électrique de référence préalablement déterminée.

La suite de cette présentation est consacrée à la présentation détaillée de cette méthode et est organisée de la manière suivante. Dans la section II, nous allons tout d'abord présenter le banc d'essai de calibration de mesure de sensibilité en champ incident. Nous évoquons en particulier les difficultés rencontrées relatives à l'influence du sol de la chambre semi-anéchoïque. Le banc d'essai dédié à la mesure de sensibilité de l'autoradio du véhicule sera présenté dans la section III. Nous y exposons notamment le procédé de mesure d'interférence en sortie de l'autoradio et en validons le principe. Nous allons présenter également dans cette section une comparaison entre les résultats de mesure d'interférence à l'entrée de l'autoradio et le seuil de sensibilité en champ incident en bande FM dans les cas où un dispositif artificiel de génération d'interférences large bande est activé ou non. Enfin, une dernière partie conclura et apportera des perspectives à cette étude.

II. PRESENTATION DU BANC D'ESSAI DE CALIBRAGE

II.1. Description du banc dédié au calibration en mode rayonné

Le but du calibration (Fig. 1, 2) est de mesurer la puissance de référence transmise par l'émetteur pour une amplitude de champ électrique de référence fixé par l'opérateur. Dans cette étude le champ de référence est fixé à $80 \text{ dB}\mu\text{V/m}$. Ce calibration sera utilisé dans la section III, afin de retrouver le seuil de sensibilité à l'entrée de l'autoradio. Le principe est de mesurer en chambre semi-anéchoïque, le niveau de puissance nécessaire pour atteindre le champ électrique de consigne à l'emplacement de l'antenne de réception du véhicule. Cet essai permet donc de déterminer la variation de la puissance émise en fonction de la fréquence, puisque dépendante du facteur d'antenne de l'antenne de réception et des pertes de propagation entre antennes d'émission et de réception en chambre semi-anéchoïque.

a - Description de la procédure de l'essai de calibration:

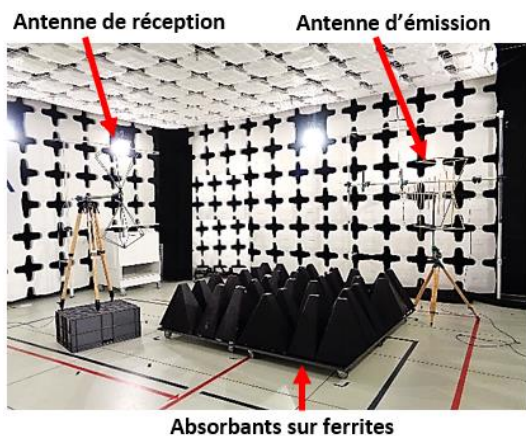


Fig. 1. Photo de l'expérience du calibration.

Le calibration est réalisé en chambre semi-anéchoïque, tel qu'illustré à la Fig. 1 et schématisé à la Fig.2. Pour élaborer

l'essai il faut un émetteur connecté à une antenne émettrice, une antenne réceptrice, un analyseur de spectre connecté à cette dernière et un PC pour piloter automatiquement l'essai. L'antenne émettrice et l'antenne réceptrice sont placées à la distance d_1 , en visibilité directe, en direction de leur maximum de gain et polarisées verticalement. Les deux antennes sont fixées à la hauteur d_2 qui correspond à la hauteur de l'antenne de réception du véhicule. En effet, pendant l'essai de mesure de sensibilité en champ incident, le véhicule sera placé de telle manière que son antenne coïncide à l'emplacement de l'antenne réceptrice (biconique). L'émetteur utilisé est un émetteur radio FM de laboratoire. Lors de l'essai de calibration la modulation est coupée, seul un signal sinusoïdal entrete nu est donc émis. A l'aide du programme de pilotage, la puissance d'émission est asservie pour atteindre la consigne en champ de $80 \text{ dB}\mu\text{V/m}$.

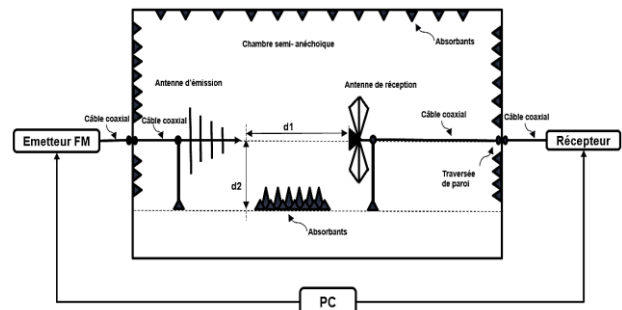


Fig. 2. Banc d'essai de calibration.

Les parois de la chambre semi-anéchoïque, Fig. 1 et Fig. 2, sont constituées de ferrites et sur ces ferrites reposent des cônes d'absorbant, seul le sol de la chambre n'est pas anéchoïque. Pour étudier l'effet du sol, dans un premier temps, nous avons mesuré à l'aide d'un VNA la fonction de transfert (S_{21}) entre l'antenne d'émission et l'antenne de réception dans la bande FM. Par la suite nous avons utilisé sur ce même sol des cônes d'absorbant (identique aux cônes tapissant les parois de la chambre) afin d'atténuer les réflexions. Enfin, nous avons introduit des dalles de ferrite en-dessous des absorbants.

II.2. Résultats de mesure du paramètre S_{21} et du calibration en mode rayonné

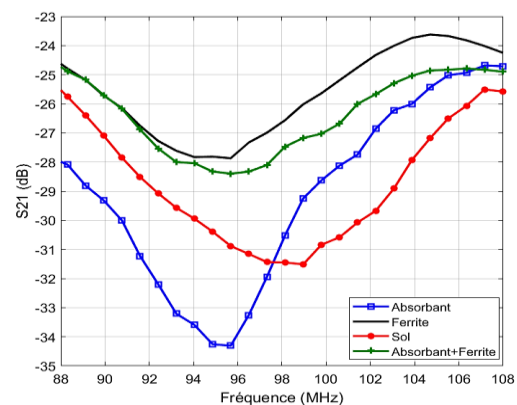


Fig. 3. Mesures des paramètres S_{21} pour des différents types de sol.

La figure 3 montre les quatre mesures des paramètres S21, dans le cas où la mesure est effectuée sans absorbants et ferrites (sol nu), puis en présence d'absorbants au sol, ensuite ferrite seul et finalement dans le cas d'absorbants sur ferrites. Dans la situation où le sol est recouvert d'absorbant l'atténuation est très forte (-34,31 dB) à la fréquence de 95,68 MHz soit 10,7 dB en dessous du niveau maximum enregistré à 105 MHz. Cela signifie que les absorbants utilisés ne sont pas adaptés dans cette gamme de fréquence pour être placés directement au sol. Par ailleurs, dans la configuration de mesure avec sol uniquement, l'atténuation est de -31,51 dB à 98,96 MHz avec une variation maximale de 6 dB sur toute la bande. Par contre, l'atténuation est de 28,4 dB à 95,68 MHz avec une variation de 3,5 dB sur toute la bande dans le cas d'absorbants sur ferrite. Egalement, la mesure de ferrite seule n'est pas satisfaisante (4,25 de variation sur toute la bande). En conclusion, ces résultats de mesures montrent que les caractéristiques d'atténuation dans le cas d'absorbants sur ferrite sont meilleures, car elles ne varient pas fortement selon la fréquence par rapport aux trois autres configurations. A priori, d'après ces résultats de mesures il apparaît que la configuration absorbant sur ferrite est la meilleure solution pour obtenir une atténuation de faible variation en fréquence traduisant une réduction de l'effet d'interférence associé à la réflexion des ondes par le sol. Par conséquent le relevé de la puissance à l'émission pour atteindre le champ de consigne de $80 \text{ dB}\mu\text{V/m}$, est effectué dans la configuration absorbant sur ferrite. Le résultat correspondant est tracé en Fig. 4.

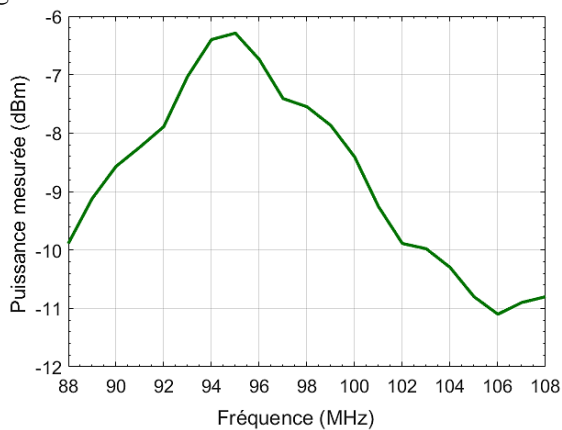


Fig. 4. Mesure de la puissance de référence transmise par l'émetteur (dBm) pour un champ de référence de $80 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ (absorbants+ ferrite au sol).

III. DESCRIPTION DU BANC DE MESURE DE SENSIBILITÉ EN MODE RAYONNÉ

Dans cette section nous détaillons la procédure de mesure de sensibilité de l'autoradio en champ incident. Elle consiste à déterminer l'amplitude de champ électrique minimale incident à la position de l'antenne réceptrice permettant au démodulateur FM de l'autoradio de restituer correctement le signal audio. Le principe consiste à ajuster le niveau de champ du signal modulé en FM rayonné par

l'émetteur laboratoire pour une fréquence donnée tout en évaluant, à l'aide d'un analyseur audio, la qualité du signal audio démodulé en sortie de la chaîne de réception (Fig. 5). Cette qualité est évaluée au moyen de l'analyse du rapport signal à bruit (ou bruit plus interférence). En deçà d'un seuil fixé de ce rapport signal à interférence, la qualité d'écoute est considérée comme insuffisante. L'essai consiste donc à ajuster la puissance de l'émetteur de sorte que ce seuil soit atteint et le niveau de champ électrique résultant représente donc le seuil de sensibilité recherché. Cette recherche est effectuée sur toute la bande de fréquence FM.

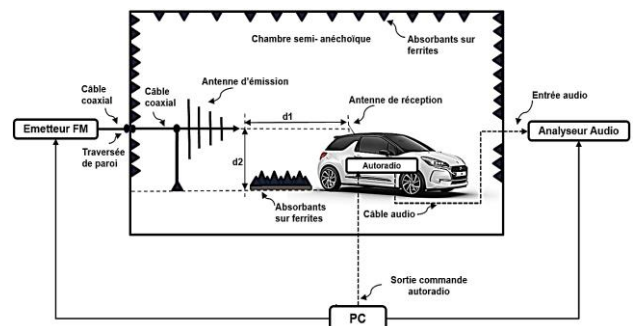


Fig. 5. Schéma simplifié du banc d'essai mesure de sensibilité en champ incident en chambre semi-anechoïque.

Le véhicule (fig. 5) est positionné dans la chambre semi-anechoïque de telle manière que son antenne de réception (l'antenne fouet du toit dans notre cas) coïncide à l'emplacement de l'antenne biconique lors de l'essai de calibrage (section II). L'antenne d'émission est réglée à la distance $d2$ qui correspondra approximativement à la hauteur de l'antenne de réception du véhicule. La polarisation de l'antenne d'émission est verticale. La polarisation de l'antenne de réception du véhicule est également verticale au point de mesure qui correspond à $(\theta = 90^\circ, \varphi = 180^\circ)$. Par ailleurs, la distance entre l'antenne d'émission et l'antenne de véhicule est $d1$. Le sol utilisé entre l'antenne d'émission et le véhicule est de type absorbants sur ferrites, compte tenu de l'analyse présentée en Section II.

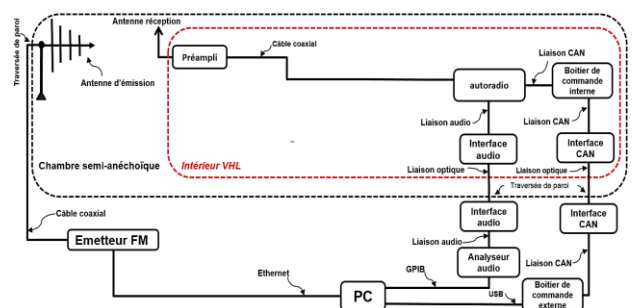


Fig. 6. Schéma du montage global du banc de mesure de sensibilité en champ incident.

Le schéma de la figure 6 représente le montage global du banc d'essai de mesure de sensibilité en champ incident. Le banc d'essai est composé de trois grandes parties : le

montage en chambre semi-anéchoïque, le montage dans le véhicule et enfin le montage dans le poste de contrôle du banc d'essai (extérieur de la chambre semi-anéchoïque). Le montage en chambre semi-anéchoïque comprend l'antenne d'émission et le véhicule d'essai. Le montage dans le véhicule comprend la partie chaîne radio qui est composée de l'autoradio FM/DAB (démodulateur), la partie commande de l'autoradio et finalement la partie audio. La partie commande de l'autoradio est composée d'un calculateur CAN Master (boîtier commande interne) dont le rôle est d'acheminer à l'autoradio les commandes CAN de changement de fréquence provenant à distance par le PC de pilotage de l'essai via un deuxième calculateur Slave (boîtier de commande externe) depuis le poste de pilotage. La partie audio est composée d'une interface audio permettant de ramener le son de la sortie audio de l'autoradio via une fibre optique jusqu'à l'analyseur audio qui se trouve dans le poste de pilotage. Il faut noter également que le véhicule renferme tous les organes permettant son fonctionnement normal. Finalement au niveau du poste de pilotage du banc se trouve l'émetteur radio FM de laboratoire, l'analyseur audio, le deuxième calculateur CAN externe (Slave) et le PC de pilotage. Le pilotage automatique du banc se fait grâce à un programme d'automatisation dédié.

III.1. Véhicule d'essai

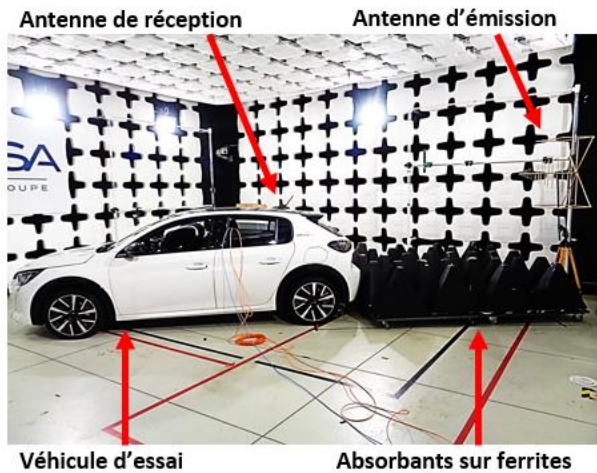


Fig. 7. Véhicule en chambre semi-anéchoïque utilisé lors des essais de mesure de sensibilité en champ incident.

La photo de la figure 7 montre le véhicule d'essai dans la chambre semi-anéchoïque placé devant l'antenne d'émission. Le véhicule utilisé est la nouvelle Peugeot 208. Par contre, seuls les essais dans le cas où le véhicule éteint (batterie véhicule déconnecté) seront présentés. Pour générer de l'interférence, une source d'interférence large bande artificielle (SLB) est utilisée. La photo de la figure 8 montre, l'autoradio, le boîtier de commande CAN (Master), deux interfaces optiques (audio et CAN) et une batterie 12 V externe utilisée pour alimenter l'autoradio et le boîtier de commande CAN Master. La source d'interférence (SLB) est placée arbitrairement au niveau des sièges arrière. L'emplacement de la SLB est fixé tout

long des essais de mesure d'interférence et de sensibilité en champ incident (III.3).

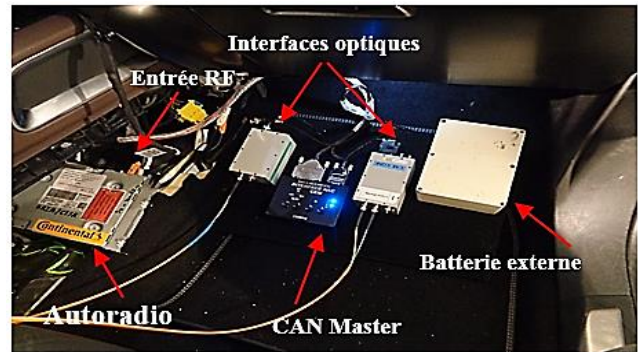


Fig. 8. Installation de l'ensemble des interfaces dans l'habitacle du véhicule de test (côté passager)

a - Equipement actif dans le véhicule

- Autoradio.
- Source d'interférence large bande (SLB).
- Boîtier de commande interne (CAN Master)
- Amplificateur de l'antenne.

III.2. Mesure d'interférence à l'entrée de l'autoradio

L'intérêt d'effectuer la mesure d'interférence à l'entrée de l'autoradio est de permettre des comparaisons avec la mesure de sensibilité en champ incident et prouver par la suite la validité de la méthodologie présentée dans ce papier. Dans ce paragraphe nous présenteront une mesure d'interférence ($\text{dB}\mu\text{V}$) effectuée à l'entrée RF de l'autoradio en bande FM. Il s'agit de faire une mesure dans le cas où la SLB est en fonctionnement (SLB ON). Le principe est de mesurer l'interférence à l'entrée de l'autoradio à l'aide d'un récepteur de mesure EMI. Il faut tout d'abord alimenter l'antenne active du véhicule avec une batterie 12 V et par la suite connecté cette antenne à l'entrée RF du récepteur grâce un câble coaxial [9].

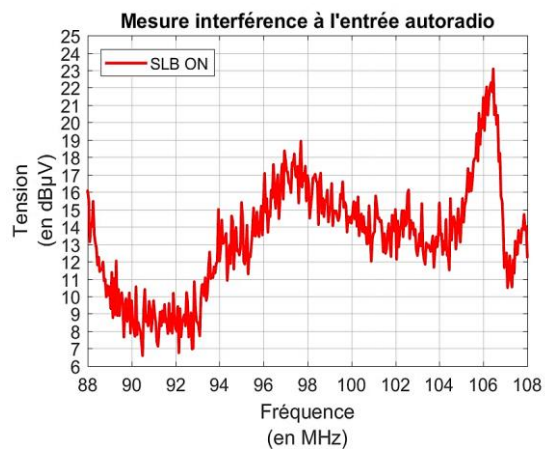


Fig. 9. Mesure d'interférence à l'entrée de l'autoradio en bande FM dans les cas : SLB ON.

La courbe SLB ON (source d'interférence active) de la Fig. 9 varie entre $8 \text{ dB}\mu\text{V}$ et $23 \text{ dB}\mu\text{V}$ sur toute la bande

pour un pas de mesure de 50 kHz. En particulier à la fréquence 106 MHz la tension est de 23 dB μ V tandis que à la fréquence 92 MHz la tension est de 8 dB μ V. Dans le paragraphe suivant nous allons comparer cette mesure avec la mesure de sensibilité en champ incident.

III.3. Mesure seuil de sensibilité en champ incident

La figure 10 Présente une mesure de sensibilité en champ incident (dB μ V/m) dans le cas où la SLB est ON.

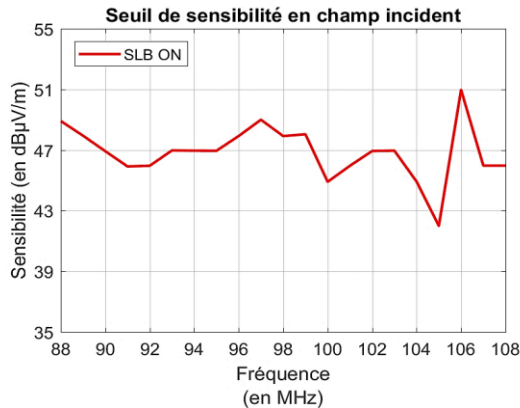


Fig. 10. Mesure de sensibilité en champ incident.

Le niveau du seuil (Fig. 10) varie entre 42 dB μ V/m et 51 dB μ V/m sur toute la bande. La courbe SLB ON de la figure 10 montre également que l'évolution du seuil de sensibilité est très proche de celle de l'interférence mesurer (Fig. 9). Dans le paragraphe suivant nous allons comparer le niveau de seuil sensibilité en champ incident (Fig. 10) au seuil de sensibilité à l'entrée de l'autoradio obtenu par post-traitement.

III.4. Calcul du seuil de sensibilité en tension à l'entrée de l'autoradio

Ce paragraphe présentera la méthode de calcul afin de retrouver le seuil de sensibilité à l'entrée de l'autoradio (dB μ V).

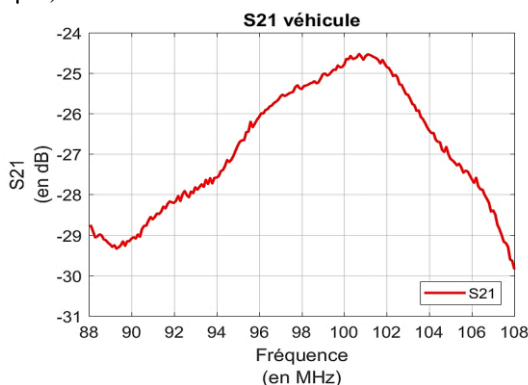


Fig. 11. Mesure de paramètre S21 entre l'antenne d'émission et l'entrée de l'autoradio du véhicule.

Le but est d'une part, de pouvoir retrouver à l'entrée de l'autoradio le niveau de signal qui a permis une démodulation correcte et d'autre part, de comparer au même point d'observation le niveau d'interférence et le

seuil de sensibilité. Il s'agit donc de convertir le seuil de sensibilité en champ incident (dB μ V/m) mesuré, en se basant sur la puissance de référence transmise par l'émetteur (le calibrage) et l'atténuation de l'espace entre l'entrée de l'autoradio et l'antenne d'émission (S21). Pour cela, il est nécessaire tout d'abord de faire une mesure de cette atténuation. A l'aide du VNA nous avons mesuré le paramètre S21 (Fig.11) entre l'entrée de l'autoradio et l'antenne d'émission en bande FM dans la direction ($\theta = 90^\circ, \varphi = 180^\circ$). La mesure montre que l'atténuation varie entre -25,5 dB et -30 dB. On remarque également que le couplage est meilleur (autour de -25 dB) entre 99 MHz et 103 MHz. Dans ce qui suit nous appliquerons ce résultat de mesure (par post-traitement), afin de calculer la sensibilité à l'entrée de l'autoradio (dB μ V).

a - Calcul de seuil de sensibilité en tension à l'entrée de l'autoradio

Pour calculer par post-traitement le seuil à l'entrée de l'autoradio nous nous baserons sur les équations (1) et (2) :

$$S_a(\text{dB}\mu\text{V}) = P_t(\text{dBm}) + S_{21}(\text{dB}) + 107 \quad (1)$$

$$P_t(\text{dBm}) = P_r(\text{dBm}) + S_{E_I}(\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}) - E(\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}) \quad (2)$$

Avec:

$P_r(\text{dBm})$: Puissance de référence transmise par l'émetteur.

$S_{21}(\text{dB}\mu\text{V})$: Atténuation mesurée entre l'entrée de l'autoradio et l'antenne d'émission.

$E(\text{dB}\mu\text{V}/\text{m})$: Champ de référence (= 80 dB μ V/m).

$S_a(\text{dB}\mu\text{V})$: Sensibilité à l'entrée de l'autoradio.

$S_{E_I}(\text{dB}\mu\text{V}/\text{m})$: Sensibilité en champ incident.

$P_t(\text{dBm})$: Puissance transmise par l'émetteur.

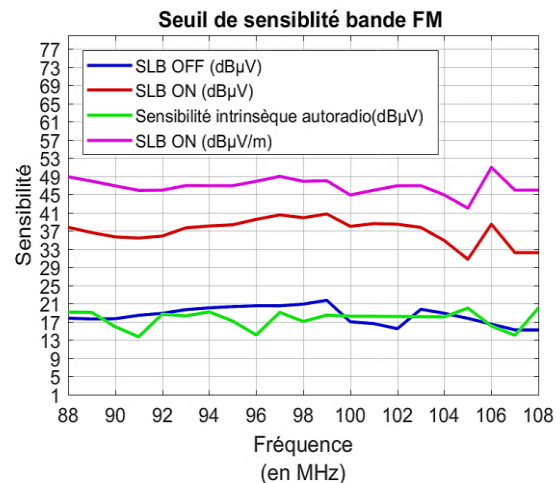


Fig. 12. Seuils de sensibilité SLB ON, SLB OFF

La courbe sensibilité SLB ON (dB μ V) de la figure 12 (courbe rouge) représente le seuil de sensibilité à l'entrée

de l'autoradio (dB μ V) obtenu par post-traitement (en appliquant les équations (1) et (2) sur le résultat de mesure de la figure 10). Sur la figure 12, nous avons superposé la courbe de la sensibilité mesurée en champ incident de la figure 10 (courbe violette) dans le cas où la SLB ON. On remarque que cette courbe et celle de la sensibilité à l'entrée de l'autoradio (dB μ V, courbe rouge) (SLB ON), évoluent de la même manière. La différence entre les deux résultats est à peu près constante (10 dB/m). Par ailleurs nous avons comparé la mesure de sensibilité intrinsèque de l'autoradio (obtenue par des mesures sur table) avec la sensibilité (dB μ V) (SLB OFF) obtenu en appliquant les équations (1) et (2). Nous retrouvons les mêmes résultats en mesurant la sensibilité par voie conduite. Ceci valide donc le processus de mesure.

IV. CONCLUSION

La comparaison entre les mesures d'interférence et les mesures de sensibilité en champ incident a permis de montrer la faisabilité d'un banc d'essais permettant de qualifier la réception radio véhicule. Le banc d'essai permet de mesurer grâce à un pilotage automatique, la sensibilité du récepteur véhicule sur toute la bande de fréquences quelle que soit l'antenne FM du véhicule en mode rayonné. De plus, notre moyen prend en considération les performances des antennes de réception du véhicule. Par ailleurs, avec ce moyen d'essai nous surmontons toutes la problématique technique liée à l'accès à l'entrée des antennes véhicules pour qualifier la réception radio. Une des perspectives de l'étude est de montrer qu'avec le banc d'essai de mesure de sensibilité en mode conduit (à l'entrée de l'autoradio), qu'il est possible de retrouver les mêmes résultats de sensibilité à l'entrée de l'autoradio élaboré dans le paragraphe III.4.

REFERENCES

- [1] Balanis, Constantine "A. Antenna theory: analysis and design." page 30, 86, John wiley & sons, 2016.
- [2] John, D. Kraus, and J. Marhefka Ronald. "Antennas: for all applications." page 27, Mc Graw Hill, 2002.
- [3] S. Mortazavi et al., "Investigation of Possible EM Interference of Automotive Multi-Gig Communication Link in the FM and DAB Ranges Using 3D Field Simulation," 2019 Joint International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Sapporo and Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Sapporo/APEMC), Sapporo, Japan, 2019, pp. 104-107.
- [4] S. Fisahn, S. Koj and H. Garbe, "EM Interferences between Power Converters and FM Radio Services on Vehicles of Security Authorities," 2018 IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility, Signal Integrity and Power Integrity (EMC, SI & PI), Long Beach, CA, 2018, pp. 427-431.
- [5] N. Koch, "EMC-Influences on Digital Broadcasting Services in Vehicular Environments," 2009 20th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility, Zurich, 2009, pp. 209-212.
- [6] S.Mee, "Frequency modulated (FM) radio band audio interference pre-compliance test Electromagnetic Compatibility", 2008. EMC 2008. IEEE International Symposium on.
- [7] W.Wegst "Audio Test Setup for EMC Interference Assessment by Listeners", Zurich 2009
- [8] K.Wiklundh, "A new approach to derive emission requirements on APD in order to protect digital communication systems Electromagnetic Compatibility", 2003. EMC '03. 2003 IEEE International Symposium on.
- [9] CISPR25, "Limits and methods of measurement of electromagnetic disturbance characteristics for the protection of receivers used on board vehicles", 2nd edition, IEC 2002-08, 2002.
- [10] R.Wiese "Automotive audio noise assessment. Human hearing factors and complexity - Electromagnetic Compatibility" 2006. EMC 2006. 2006 IEEE International Symposium on.
- [11] Yung-Chun Lei et al., "A 10-mA Current and 1.1- μ V Sensitivity Single-Chip FM Radio Receiver," 2006 IEEE Asian Solid-State Circuits Conference, Hangzhou, 2006, pp. 43-46.
- [12] Le Danvic, Lois, E. Lardjane, P. Besnier, M. Drissi "Définition d'un essai de sensibilité du système radio FM sur véhicule en base sphérique multi-capteurs." 15ème Colloque International et Exposition sur la Compatibilité Magnétique (CEM 2010). 2010.
- [13] American National Standard for Electromagnetic Compatibility--Radiated Emission Measurements in Electromagnetic Interference (EMI) Control--Calibration and Qualification of Antennas (9 kHz to 40 GHz)," in ANSI C63.5-2017 (Revision of ANSI C63.5-2005) , vol., no., pp.1-114, 8 May 2017.