



HAL
open science

Mesure et caractérisation de cibles radar à 77 GHz

Emna Bel Kamel, Alain Peden, Patrice Pajusco

► **To cite this version:**

Emna Bel Kamel, Alain Peden, Patrice Pajusco. Mesure et caractérisation de cibles radar à 77 GHz. JNM 2017: 20èmes Journées Nationales Microondes, May 2017, Saint-Malo, France. hal-01617995

HAL Id: hal-01617995

<https://hal.science/hal-01617995>

Submitted on 3 Jul 2018

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.

Mesure et caractérisation de cibles radar à 77 GHz

E. Bel Kamel¹, A. Peden¹, P. Pajusco¹

¹Telecom Bretagne, LAB-STICC UMR CNRS 6285, Brest, France
emna.belkamel@telecom-bretagne.eu

Résumé – Ce papier décrit une méthode de caractérisation en bande W de cibles radar électriquement larges. Les signatures électromagnétiques de différents véhicules ont été mesurées dans une grande salle de gymnase. La configuration de mesure proposée a pour but l'extraction de points brillants pour la modélisation de la cible. Ainsi, lors de la simulation de scénarios routiers pour des applications radar automobile, leur utilisation pour représenter les cibles permettra de réduire considérablement le temps de calcul.

1. Introduction

Notre étude s'inscrit dans le cadre des applications "radar automobile" en lien avec l'amélioration de la sécurité routière et les systèmes de communication entre véhicules. La caractérisation expérimentale et la modélisation des cibles sont des sujets essentiels en vue d'étudier et optimiser les systèmes de détection. Afin de réduire significativement la complexité des modèles de véhicules et le temps de calcul, une approche en points brillants s'avère pertinente [1]. Les positions et intensités de chaque point brillant peuvent être extraites des mesures. Dans la littérature, les mesures sont généralement réalisées en chambre anéchoïque et donnent des résultats précis. Cependant, elles s'avèrent très coûteuses compte tenu des infrastructures nécessaires pour positionner des objets de grande taille. De telles configurations ne sont disponibles que dans quelques laboratoires de recherche. Peu de recherches et expérimentations sur les mesures de véhicules et de piétons en bande W en extérieur ont été présentées à ce jour [2]–[4]. L'objectif principal de ce travail est d'étudier la rétrodiffusion d'une cible radar en bande W. L'originalité réside dans l'utilisation d'une configuration relativement facile à mettre en place et ne nécessitant pas de chambre anéchoïque.

2. Caractérisation de cibles en bande W

2.a. Conditions de mesure de la SER

La SER est normalement définie et mesurée lorsque la cible se trouve dans le champ lointain de l'antenne d'émission et que celle de réception se trouve en champ lointain de la cible. Cela garantit alors un front d'onde plan incident sur la cible sous test et sur le système de réception. Ainsi, un objet rétrodiffusant de dimension $D = 2$ m illuminé par un radar à 77 GHz devrait se placer à

environ 2 km pour satisfaire la condition du champ lointain $2D^2/\lambda^2$ pour l'antenne de réception. Cette distance n'est cependant pas réaliste dans le cas du radar automobile, la détection se faisant au maximum sur une distance de 200 m. Par conséquent, les radars automobiles fonctionnent en pratique dans la zone de champ proche compte-tenu de la taille des véhicules. De ce fait, les cibles radars de dimensions de l'ordre de quelques mètres peuvent présenter des caractéristiques de réflexion de champ proche. A titre d'exemple, en champ lointain, une plaque a une caractéristique de réflexion en $(\sin(x)/x)^2$, x étant l'angle d'observation. Lorsque la distance entre le radar et la plaque diminue en dessous de la plage du champ lointain, les lobes secondaires augmentent et sa réponse s'étale autour de sa valeur maximale [5]. L'effet global du champ proche est que la SER dépend de la variation de la distance. Ceci ne constitue pas a priori une forte limitation pour notre étude étant donné que l'on cherche à s'approcher du fonctionnement réel du radar automobile et à classer les signatures de cibles radar (véhicules, bicyclette, moto et piéton), à une distance donnée. On montrera dans ce qui suit que la SER ainsi mesurée est caractéristique de chaque type de cible testée. En outre, il a été montré dans la littérature que la mesure en champ proche n'influe pas de manière significative sur l'analyse de la réponse de la cible et de sa dépendance à l'angle [6].

2.b. Description du banc de mesure

Pour caractériser la signature électromagnétique d'objets électriquement larges, des mesures ont été effectuées à l'intérieur d'une grande salle de gymnase, en utilisant un banc de caractérisation semi-automatisé. Il est composé d'un analyseur de réseau vectoriel (ARV), et deux têtes millimétriques en bande W (72-110 GHz). Une configuration quasi-monostatique a été choisie avec deux antennes cornets dont le gain mesuré vaut 23,5dBi. Les angles d'ouverture en azimut et élévation sont 26° et 22° respectivement, ce qui est suffisant pour assurer l'illumination de la cible, comme le montre la Figure 1-a. La mesure en transmission (S_{21}) entre les deux antennes est effectuée dans une bande de 5 GHz (76-81 GHz), soit une résolution de 4 cm. La bande de fréquence est échantillonnée sur 2048 points pour une profondeur temporelle de 123 m. L'objet à caractériser est placé au centre de la salle de gymnase, à une distance R de 12 m des antennes.

Pour éviter le recours à une plateforme tournante, c'est l'ARV qui est déplacé manuellement le long d'un

cercle de 12 m de rayon alors que la cible est maintenue fixe (Voir Figure 1-b). Le cercle est discrétisé par pas de 2° entre 0° à 180° compte tenu de la symétrie de la cible. La mesure est alors effectuée à chaque angle pour un scénario donné. Aucun absorbant n'étant placé autour de l'objet caractérisé, le signal rétrodiffusé résultant contient la réponse de la cible ainsi que les contributions parasites des objets de l'environnement présents dans la salle de gymnase, sol compris.

Malgré les contraintes énoncées précédemment, un calibrage basé sur l'équation radar, théoriquement valable en champ lointain, est appliqué du fait de sa simplicité. Une valeur de SER est alors extraite en mesurant la puissance rétrodiffusée par la cible située à une distance inférieure à celle du champ lointain. Tous les paramètres physiques de la chaîne d'acquisition (gain des antennes Tx/Rx G_{rx} et G_{tx} , distance d entre les antennes, rapport puissances émise/reçue P_{rx}/P_{tx} et coefficient de réflexion) sont déterminés avec précision. Cependant, un calibrage indirect par un objet de référence (trièdre, sphère ...) est à tester afin d'évaluer la performance de chacune de ces méthodes [2].

Dans le cas mono-statique, la SER de la cible est alors donnée par :

$$\sigma_{cible_{mes}}(f, \varphi) = \left(\frac{P_{rx}}{P_{tx}} \right) (f, \varphi) \frac{(4\pi)^3 d^4}{G_{tx} G_{rx} \lambda^2} \quad (1)$$

Un fenêtrage temporel sur la réponse impulsionnelle, obtenue après une transformée de Fourier, permet d'isoler les trajets dans la zone des 12 mètres. On note que la procédure de mesure effectuée à 12 m peut être appliqué à n'importe quelle distance R afin d'étudier l'influence de la variation de distance sur la signature électromagnétique de l'objet.

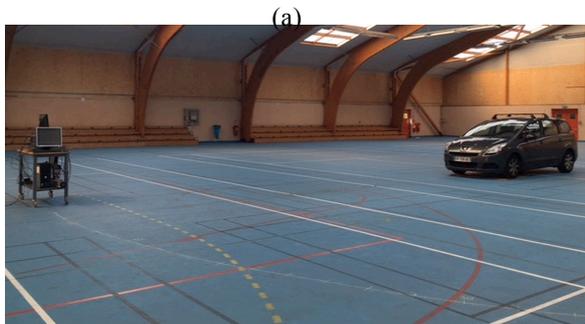
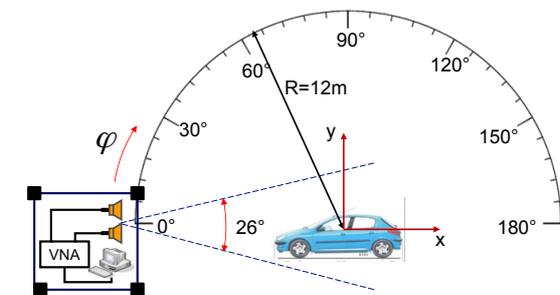


Figure 1. (a) Configuration de mesure en bande W, (b) Environnement de mesure dans la salle de gymnase.

3. Résultats expérimentaux

3.a. Variation de la SER en fonction de l'angle

La caractérisation de diverses cibles a été réalisée : berlines et camionnettes de différentes tailles, moto, vélo et piéton. Toutes les mesures ont été effectuées en polarisation standard Verticale/Verticale. La réponse impulsionnelle pour chaque angle φ contient des maxima dans la région de la voiture comme le montre la figure 2.

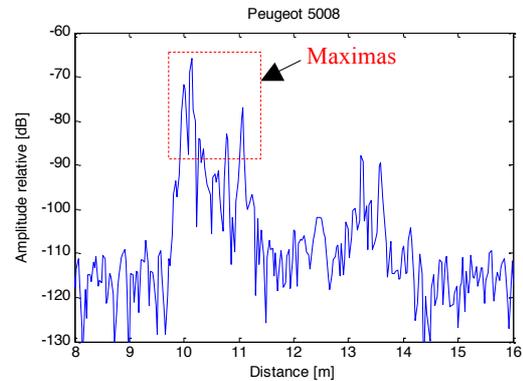


Figure 2. Réponse impulsionnelle de la Peugeot 5008 à $\varphi = 180^\circ$.

Les Figures 3 et 4 donnent les SER des objets mesurés en fonction de l'angle. On note un comportement similaire de la SER pour toutes les voitures mesurées. En outre, les valeurs maximales varient entre 8,7 et 20,5 dBm² pour l'avant des véhicules, de 14,4 et 24,6 dBm² pour l'arrière et 19-22 dBm² pour le côté. Ces valeurs concordent avec les résultats présentés dans [2], [3]. Comme prévu, les deux valeurs de la SER de la bicyclette et du piéton sont inférieures à celle des véhicules, car il y a peu ou pas de pièces métalliques planes ou des coins. La valeur maximale de la SER de la bicyclette est de 10 dBm² dans la vue de côté, mais très faible à l'avant et l'arrière. La SER moyenne d'un piéton est d'environ -3 dBm². En particulier, sa dispersion est similaire à celle d'un cylindre, qui présente une valeur pratiquement constante en fonction de l'angle. L'effet du champ proche est illustré sur les figures 3 et 4 par un étalement des valeurs autour de $\varphi = 90^\circ$ [7].

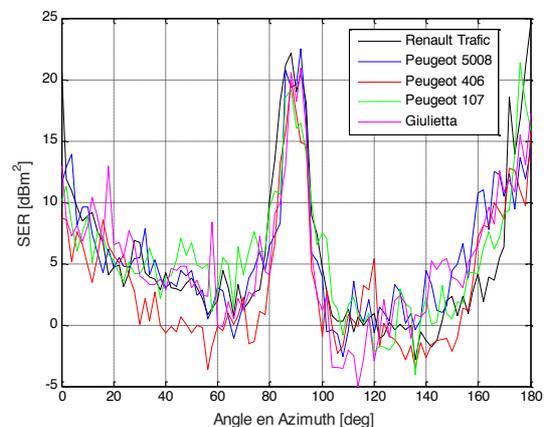


Figure 3. SER de divers véhicules, vue de face ($\varphi = 0^\circ$)

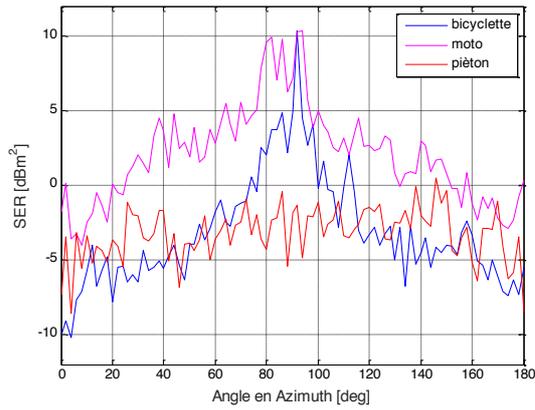


Figure 4. SER de différentes cibles, vue de face ($\varphi = 0^\circ$).

3.b. Représentation distance-azimut

Les figures distance-azimut obtenues, via l'équation radar, à partir de l'ensemble des réponses impulsionnelles peuvent aider à localiser les centres de diffusions. En se basant sur la Figure 5 ci-dessous, trois différentes zones de diffusion importantes (cercles verts) apparaissent clairement, correspondant respectivement à l'avant, le côté et l'arrière de la voiture. Pour le vélo et le piéton, il y a une répartition uniforme de ces zones.

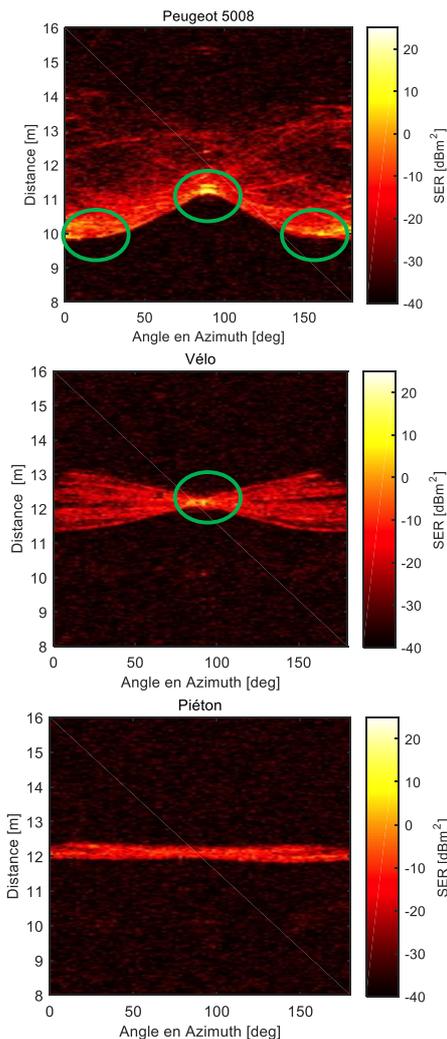


Figure 5. Graphes distance-azimut pour trois cibles : voiture, piéton et bicyclette.

4. Modélisation par des points brillants

4.a. Description du modèle

Les maxima de la réponse impulsionnelle peuvent être associés à des points brillants. En effet, le modèle de points brillants est couramment utilisé pour décrire la dispersion d'une cible à des fréquences élevées. Dans ce modèle, on suppose que la signature peut être approchée par la somme des réponses des diffuseurs ponctuels individuels [1]. Ils décrivent les parties géométriques les plus importantes en termes de réflexion/diffusion. La modélisation de ces points brillants par la théorie géométrique de diffraction a été proposée dans [8], [9]. Par ailleurs, les points brillants sont associés à des trajectoires que l'on peut identifier sur les graphes distance-azimut de la figure 5 [10]. Pour des objets simples et de petites dimensions, ces trajectoires sont bien distinctes et identifiables alors qu'elles apparaissent de façon plus diffuse dans le cas d'objets complexes de grande taille.

4.b. Images 2D

Un algorithme simple utilisant la notion de trajectoires a été appliqué afin d'obtenir des « images » 2D des objets caractérisés [10]. Le principe consiste à construire une grille 2D de pixels dont la résolution sera obtenue à partir de celle de la réponse impulsionnelle. L'intensité de chaque pixel est calculée en sommant sa contribution tout au long de sa trajectoire correspondante dans le graphe distance-azimut moyenné par le nombre de positions parcourues (ici 91 positions). Cette représentation donne une demi-vue de dessus de la cible, limitée à son contour, mettant en évidence les zones de diffusion où seront localisés les principaux points brillants. A titre d'exemple, un contour 2D est donné sur la figure 6. On note que les limites du contour sont cohérentes avec les dimensions réelles de voiture ($4.52 \times 1.83 \times 1.64$ m).

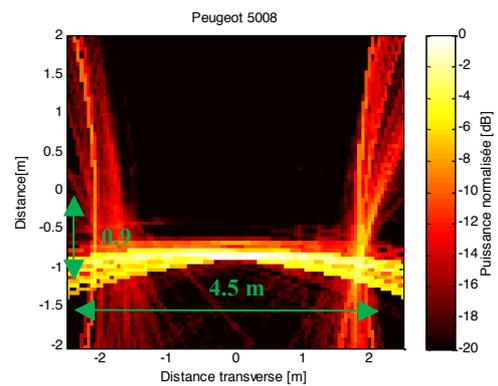


Figure 6. Image 2D (contour) d'une voiture en (x,y) .

4.c. Extraction des points brillants

Afin d'extraire l'ensemble des points brillants représentatifs de la cible, on utilise des outils de classifications classiques en traitement d'image. L'algorithme s'appuie sur la décomposition de l'image en clusters avec l'algorithme Kmeans. A chaque cluster,

une caractéristique de diffusion est calculée. Toutes les contributions complexes des points brillants du cluster, contribuant pour chaque l'angle, sont représentées par son barycentre en s'appuyant sur l'équation :

$$\begin{aligned} x_c &= \frac{1}{\sum_{i=1}^N x_i} \sum_{i=1}^N I(i, j) x_i \\ y_c &= \frac{1}{\sum_{j=1}^M y_j} \sum_{j=1}^M I(i, j) y_j \end{aligned} \quad (2)$$

où x_i et y_j sont les coordonnées du barycentre du cluster, correspondant à son centre d'intensité et non pas à son centre spatial. $I(i, j)$ est l'intensité du pixel à la position (x_i, y_j) . L'amplitude d'un centre brillant est déterminée en suivant la trajectoire de chaque point. Ces points brillants représentent le modèle de diffusion simplifié qui a un comportement de diffusion similaire à celui du modèle du véhicule complexe. L'algorithme est appliqué sur l'image d'un véhicule (Peugeot 5008). Dans la figure 7, chaque point vert de l'image 2D représente le barycentre du cluster extrait par l'algorithme Kmeans. Ce diagramme illustre les parties les plus importantes en termes de diffusion. A chaque direction, une partie seulement des points brillants visualisés contribue au signal rétrodiffusé. L'amplitude de chaque point brillant reste à déterminer. L'utilisation des points brillants extraits à partir de l'expérimentation permettra de réduire significativement la complexité de la cible.

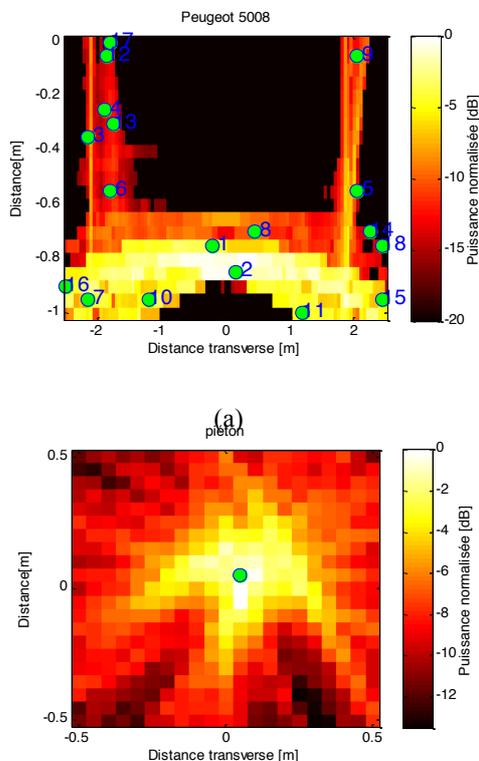


Figure 8. Extraction des points brillants représentatifs d'un véhicule et d'un piéton.

5. Conclusion

Dans ce travail, des résultats de caractérisation à 77 GHz de diverses cibles automobiles ont été obtenus à l'aide d'un dispositif de mesure relativement simple à mettre œuvre. Les valeurs maximales mesurées de SER des véhicules testés à une distance de 12 m du système radar varient entre 19 et 25 dBm². La valeur maximale de la SER d'une bicyclette est de 10 dBm², comparée à la valeur moyenne d'environ -3 dBm² pour un piéton. En outre, les points brillants ont été localisés sur l'image 2D du véhicule. En perspective, leur utilisation dans la simulation de scénarios routiers pour des applications radar permettra de réduire significativement la complexité de la cible et ainsi le temps du calcul.

Références

- [1] K. Schuler, D. Becker, and W. Wiesbeck, 'Extraction of virtual scattering centers of vehicles by ray-tracing simulations', *Antennas Propag. IEEE Trans. On*, vol. 56, no. 11, pp. 3543–3551, 2008.
- [2] K. Geary, J. S. Colburn, A. Bekaryan, S. Zeng, B. Litkouhi, and M. Murad, 'Automotive radar target characterization from 22 to 29 GHz and 76 to 81 GHz', *IEEE Natl. Radar Conf. - Proc.*, pp. 1–6, Apr. 2013.
- [3] I. Matsunami, R. Nakamura, and A. Kajiwara, 'RCS measurements for vehicles and pedestrian at 26 and 79GHz', in *2012 6th International Conference on Signal Processing and Communication Systems (ICSPCS)*, 2012, pp. 1–4.
- [4] M. Andres, P. Feil, W. Menzel, H. L. Bloecher, and J. Dickmann, '3D detection of automobile scattering centers using UWB radar sensors at 24/77 GHz', *IEEE Aerosp. Electron. Syst. Mag.*, vol. 28, no. 3, pp. 20–25, Mar. 2013.
- [5] R. Deban, H. Boutayeb, J. Conan, and K. Wu, 'Numerical and experimental analysis of metallic plate near-field RCS at oblique incidence and applications to radar systems', in *2009 Loughborough Antennas Propagation Conference*, 2009, pp. 441–444.
- [6] R. K. Gilbert, 'Characterization and evaluation of a prototype forward-looking automotive radar', 1997.
- [7] P. Pouliguen and L. Desclos, 'A physical optics approach to near field RCS computations', *Ann. Télécommunications*, vol. 51, no. 5–6, pp. 219–226, May 1996.
- [8] L. C. Potter, D.-M. Chiang, R. Carriere, and M. J. Gerry, 'A GTD-based parametric model for radar scattering', *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 43, no. 10, pp. 1058–1067, Oct. 1995.
- [9] Y. Akyildiz and R. L. Moses, 'Scattering center model for SAR imagery', in *Remote Sensing*, 1999, pp. 76–85.
- [10] A. Peden, E. Bel Kamel, P. Pajusco, 'Caractérisation et modélisation d'objets par des points brillants : application au radar automobile à 77 GHz', *20èmes Journées Nationales Microondes*, Saint-Malo, France, Mai 2017.