

Comparaison de critères permettant la comparaison de données entachées d'incertitude proposés par le Groupe de réflexion CDIIS du GdR Ondes

Amelie Litman, Antoine Roueff, B. Etchessahar, Philippe Besnier, Jean-Michel Geffrin, G. Maze-Merceur

▶ **To cite this version:**

Amelie Litman, Antoine Roueff, B. Etchessahar, Philippe Besnier, Jean-Michel Geffrin, et al.. Comparaison de critères permettant la comparaison de données entachées d'incertitude proposés par le Groupe de réflexion CDIIS du GdR Ondes. Journées Nationales Microondes, May 2019, Caen, France. hal-02133576

HAL Id: hal-02133576
https://hal.science/hal-02133576

Submitted on 19 May 2019

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.

XXI[èmes] Journées Nationales Microondes
14-17 mai 2019 – Caen

Comparaison de critères permettant la comparaison de données entachées d'incertitude proposés par le Groupe de réflexion CDIIS du GdR Ondes

Amélie Litman[1], Antoine Roueff [1], B. Etchessahar[2], Philippe Besnier [3], Jean-Michel Geffrin[1], G. Mazé-Merceur[2]

[1] *Aix Marseille Univ, CNRS, Centrale Marseille, Institut Fresnel, Marseille*
[2] *CEA – CESTA, Avenue des Sablières, CS 6001, BP 33116 Le Barp Cedex*
[3] *INSA Rennes, CNRS, IETR-UMR 6164, F-35000 Rennes*
Amelie.litman@institutfresnel.fr

Résumé *– Une étude nationale de métriques permettant de proposer un indicateur de satisfaction sur la comparaison de données entachées d'incertitudes a été organisée dans le cadre d'un Groupe de Réflexion du GdR ondes. Initié par le CEA-CESTA, l'Institut Fresnel et l'IETR, ce Groupe de Réflexion CDIIS (Comparaison de Données entachées d'Incertitudes: Indicateurs de Satisfaction) est composé de représentants industriels, étatiques et de laboratoires de recherche universitaires. Quatre tâches ont été définies: 1/ Identification de métriques permettant de comparer quantitativement des jeux de données entachés d'incertitudes, 2/ Identification de cas tests représentatifs de problèmes posés en électromagnétisme, 3/ Application des métriques à ces cas tests, sélection des plus pertinentes et définition d'un indicateur de satisfaction, 4/ Conclusions : quelle métrique et quel critère est le mieux adapté à un problème donné en électromagnétisme. Cette communication traite du point 1 et présente les résultats des métriques appliquées à un problème canonique de SER (Surface Equivalente Radar).*

1. Introduction

A une proposition de concept est associée la fabrication d'un prototype puis l'acquisition de données expérimentales comme objectif de démonstration. On doit alors comparer des simulations entachées d'incertitudes (méconnaissance des données d'entrées du dispositif sous test, défauts technologiques, impact du procédé de fabrication,…) à des données expérimentales, également entachées d'incertitudes liées à l'instrumentation et à la méthodologie de mesure. Pour porter un avis sur la démonstration, la première étape consiste à chiffrer les différentes incertitudes. Ce travail est généralement effectué en identifiant les incertitudes élémentaires en jeu. Celles présentes lors de l'expérimentation sont exploitées en utilisant un modèle du processus de mesure (par exemple, basé sur le *Guide to the expression of uncertainty in measurement* ou GUM), qui permet d'aboutir à une valeur globale sous la forme, par exemple, d'une valeur moyenne associée à une distribution probabiliste. De même, les incertitudes sur les paramètres géométriques et radioélectriques en entrée des calculs sont propagées dans la simulation, et combinées avec les erreurs numériques et les erreurs de modèle introduites dans les codes de calcul. Une fois franchies ces étapes préliminaires se pose la question de la quantification de cette comparaison : quelle métrique utiliser pour comparer des jeux de données entachées d'incertitude ? Quel critère de satisfaction définir?

C'est le thème que se propose de traiter le nouveau Groupe de Réflexion CDIIS (Comparaison de Données entachées d'Incertitudes: Indicateurs de Satisfaction), initié par le GdR Ondes et le CNRS, et piloté par le CEA (Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives), l'IETR (Institut d'Electronique et de Télécommunications de Rennes) et l'Institut Fresnel. Ce thème est la suite des réflexions ayant émergé suite aux inter-comparaisons de mesures et de calcul de SER de cibles, menées dans le GTi (Groupe de Travail sur les incertitudes de mesure en chambre anéchoïque) [1].

Les premières discussions ont mis en évidence que le critère de satisfaction devait être adapté au problème posé (SER, antenne, compatibilité électromagnétique, caractérisation de matériaux, dosimétrie radar, etc..), chacun devant exploiter des signaux variant de manière spécifique (résonances, ou a contrario variation lente, forte ou faible dynamique). En conséquence, différents cas d'étude ont ensuite été choisis. Ils exhibent chacun des données avec une variabilité spécifique, et on peut leur appliquer différentes métriques. Dans cette communication, les résultats des métriques appliquées à un des cas test proposés sont discutés.

2. Exemple de métriques

Dans toute la suite, on considère à titre d'exemple le cas du calcul et de la mesure de la SER bistatique (émission et réception en deux points différents) d'une sphère. La quantité d'intérêt est le champ électrique E variant suivant la direction d'observation et la fréquence. Pour un couple (angle d'observation, fréquence), E est un signal auquel on ajoute une variable aléatoire. Nous considérons alors deux distributions E_1 et E_2, avec pour moyennes respectives μ_1 et μ_2, et matrices de covariances respectives Σ_1 et Σ_2, Leurs densités de

probabilité sont notées p_1 et p_2. Par la suite nous supposerons pour simplifier que leur distribution est normale et qu'elles ne sont pas corrélées. Différentes métriques ont été proposées, parmi lesquelles celles qui conduisent à un résultat compris entre 0 et 1 ont été retenues :

- *Maximum de vraisemblance ML:* pour un couple de données y_1 et y_2 (correspondant respectivement à E_1 et E_2), le maximum de vraisemblance de y_t, $p_t(y_t)$ est défini au voisinage de y_1 et y_2 [2] :

$$ML = \max_{y_t} p_t(y_t)$$

avec

$$p_t(y_t) = \frac{p_1(y_1/y_t - 1) \times p_2(y_2/y_t - 1)}{\int p_1(y_1/y_t - 1) \times p_2(y_2/y_t - 1) dy_t}$$

- *Consistance:* il s'agit d'un test statistique qui quantifie le recouvrement entre deux distributions. L'intervalle de confiance D_s associé à la probabilité α de l'une des distributions (celle de la simulation par exemple) est d'abord calculé :

$$P(Y \in D_s|sim) = 1 - \alpha$$

avec α = 5% par exemple. Le critère de consistance est défini comme la probabilité que la quantité d'intérêt (ici: la mesure) soit dans l'intervalle de confiance de la simulation:

$$C(Y|sim, Y|meas) = P(Y \in D_s|meas)$$

Ce critère n'est pas symétrique, et conduit à des résultats différents selon que la mesure ou la simulation est considérée comme étant la référence. Sa valeur est comprise entre 0 (pas de recouvrement entre deux distributions) et 1 (distribution des mesures incluse dans celle des calculs) [3].

- *Distance de Hellinger D_H :* elle s'exprime à partir de la distance de Bhattacharyya D_B qui quantifie le degré de similarité entre deux probabilités de distributions [4]. Pour des distributions normales, elle s'exprime comme suit:

$$D_H(p_1, p_2) = \sqrt{1 - \exp[-D_B(p_1, p_2)]}$$

avec

$$D_B(p_1, p_2) = \frac{1}{8}(\mu_2 - \mu_1)^T \Sigma^{-1}(\mu_2 - \mu_1) + \frac{1}{2} \ln\left(\frac{\det \Sigma}{\sqrt{\det \Sigma_1 \det \Sigma_2}}\right)$$

Ainsi, ses valeurs sont comprises entre 0 et 1.

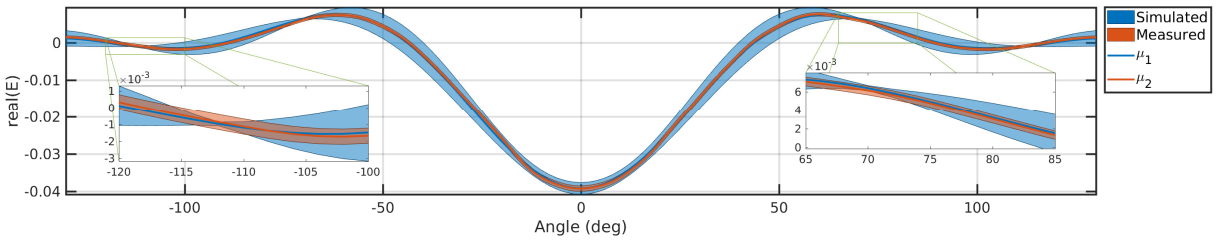


Figure 1. Partie réelle de la SER bistatique d'une sphère, simulée et mesurée, avec une incertitude de ±3σ autour de la valeur moyenne

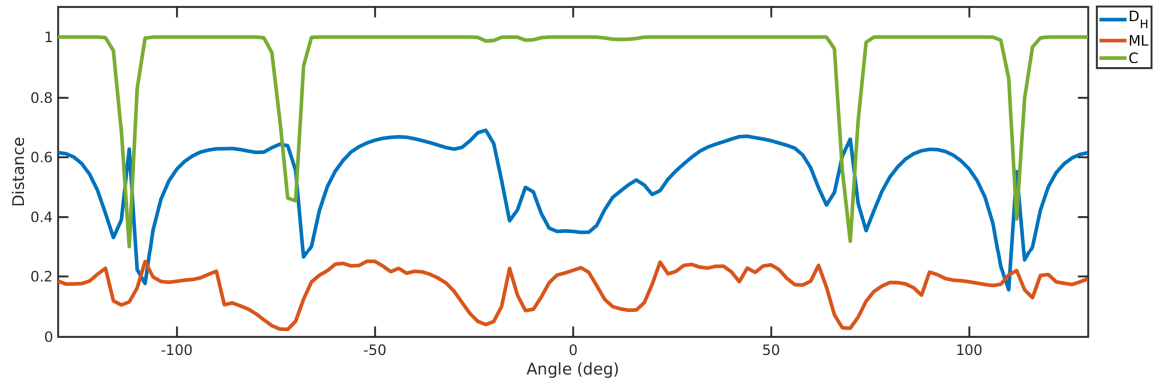


Figure 2. Comparaison des métriques appliquées sur la partie réelle de la SER (D_H : distance de Hellinger, ML : Maximum de vraisemblance, C : critère de consistance)

3. Application à un cas test « SER »

Ces distances ont été appliquées ici aux calculs et mesures de la SER bistatique d'une sphère de plexiglas de diamètre 38.1 mm illuminée en polarisation VV à l'incidence 180°, observée sur le secteur angulaire [-130°, 130°], à 9.6 GHz. Les mesures ont été effectuées en chambre anéchoïque au Centre Commun de Ressources en Microondes (CCRM) à Marseille et sont fournies avec leur moyenne et leur variance [5].

La simulation est obtenue par les séries de Mie [6][7] associées à une méthode Monte-Carlo [8], et suppose que les parties réelle et imaginaire de la permittivité suivent une distribution uniforme sur l'intervalle [2.52, 2.65] + *j* [0.00, 0.06] ([9]), et que l'incertitude sur diamètre vaut uniformément ±0.2 mm. On suppose que la partie réelle et la partie imaginaire du champ électromagnétique suivent toutes les deux une loi normale et sont indépendantes l'une de l'autre.

4. Discussion

La figure 1 montre l'évolution de la partie réelle du champ diffracté, en fonction de l'angle de bistatisme. Il est intéressant d'y noter les différences non seulement en termes de valeurs moyennes mais également en termes de barres d'erreurs. La prise en compte de cette disparité en biais et en variance rend la comparaison et donc la prise de décision plus complexe à analyser et à implémenter.

La figure 2 montre l'évolution des différents critères, l'analyse étant faite de manière indépendante, angle par angle. Le critère de Maximum de Vraisemblance D_{ML} est principalement sensible au biais tandis que le critère de Hellinger D_H prend en compte à la fois les différences de biais et d'écart-types. Le critère de consistance C est un critère non-symétrique et il permet de répondre de manière claire à la question suivante : est-ce que la courbe mesurée est bien contenue dans les valeurs admissibles prédites par la simulation si on suppose que la simulation est la référence. Il permet de plus de chiffrer le taux de recouvrement entre mesures et simulations. Le choix du critère sera donc fortement lié à la question qui est posée au préalable de l'étape de comparaison.

5. Conclusion et perspectives

Un certain nombre d'indicateurs ont été sélectionnés par le Groupe de Réflexion CDIIS du GDR Ondes. Ils ont été appliqués à un cas de SER pour lequel à la fois des mesures et des simulations ont été fournies, avec leurs barres d'erreur. Tout en continuant à explorer d'autres types d'indicateurs, le CDIIS est en train d'analyser grâce à ces outils d'autres jeux de données issus d'applications électromagnétiques d'intérêt pour la communauté (rayonnement d'antennes, SER de structures complexes, caractérisation de permittivité, compatibilité électromagnétique, …).

6. Remerciements

Nous remercions les membres du CDIIS pour leur proposition de nouveaux cas test qui seront exploités par la suite par application des métriques proposées (P. Bonnet (Univ. Clermont-Auvergne), J-C Castelli (ONERA), F. Daout (IUT Ville d'Avray), JY Dauvignac (LEAT), P. De Resseguier (Nexio), C. Eyraud (Institut Fresnel), C. Guiffaut (XLIM), F. Jouvie (L2S), M. Klingler (PSA), L. Koné (Univ Lille), T. Le Boulch (TAS), G Le Fur (CNES), D. Lecointe (GEEPS), S. Leman (NEXIO), N. Mallejac (CEA-LR), G.-P. Piau (CdP du GdR ondes), F. Sarrazin (Univ. Paris-Est Marne-la-Vallée), J. Simon (ONERA), E. Richalot (Univ. Paris-Est Marne-la-Vallée), K. Tekkouk (Thales).

Les chercheurs de l'Institut Fresnel tiennent à remercier le Centre Commun de Ressources en Microondes (CCRM) à Marseille pour l'utilisation de la chambre anéchoïque où les mesures de SER ont été effectuées.

Références

[1] JC Castelli, F. Comblet, F. Daout, C. Eyraud, S. Fargeot, R. Guillerey, JM Geffrin, S. Leman, P. Massaloux, G. Mazé-Merceur, GP Piau «National Comparison of Radar Cross Section Measurements: Motivations, Task, and Results», 2016 IEEE APS URSI, June 2016, Porto Rico, USA

[2] F. Delaporte, P. Besnier, B. Azanowski « Analyse de la vraisemblance de résultats issus de différents outils de simulation numérique de la CEM des cartes électroniques ». *CEM 2018.* Paris

[3] P. Bonnemason, J. de Kat, B. Etchessahar, P. Massaloux, P. Minvielle, G. Mazé-Merceur, « Comparison of the measured and computed RCS of a target: criterion taking into account the measurement and computation uncertainties», ICEAA 2017, September 2017, Verona, Italy

[4] TM Cover, JA Thomas "Elements of Information Theory", Wiley-Interscience, 1991

[5] JM Geffrin, C Eyraud, A Litman, P Sabouroux. «Optimization of a Bistatic Microwave Scattering Measurement Setup: From High to Low Scattering Targets» Radio Science, 2009, vol 44, pp.RS2007

[6] CF Bohren, DR Huffman, «Absorption and Scattering of Light by Small Particles»,, John Wiley, 1983

[7] C Mätzler, «MATLAB Functions for Mie Scattering and Absorption», Institut für Angewandte Physik, Research Report No. 2002-08, 2002.

[8] S. Marelli, and B. Sudret, «UQLab: A framework for uncertainty quantification in Matlab», Proc. 2nd Int. Conf. On Vulnerability, Risk Analysis and Management (ICVRAM2014), Liverpool, United Kingdom, 2014, p. 2554-2563

[9] C Eyraud, JM Geffrin, A Litman, H Tortel. «Complex Permittivity Determination From Far-Field Scattering Patterns» IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2015, vol 14, pp.309 – 312