

Measurement of antenna parameters under a controlled temperature Mesure des paramètres d'une antenne sous une température contrôlée

¹Yannick Le Sage, Michael Charles, Jean-Marie Lerat

Laboratoire National de métrologie et d'Essais (LNE), 29 avenue Roger Hennequin 78197 Trappes, France

Abstract. Antenna design for aeronautical application requires the verification strict environmental conditions with important temperature and atmospheric constraints. The verification of performances of an antenna design is usually performed by measuring its electrical performances before and after thermal and hygrometric cycling to simulate the exposure to outdoor conditions. In this process the impact of temperature variation on antenna gain, radiation pattern or phase, is not tested while it may affect the antenna performance and modify the readout of the associated sensors which are dependent on amplitude of the signal and also on phase information. In particular the design of antennas based on innovative substrate or radome materials may require the validation of environmental withstanding of the antennas in the early design phase. Several solutions have been developed to perform the measurement of antennas under a temperature constraint; most of them involve a low dielectric permittivity enclosure containing the antenna itself. The temperature variation is obtained either by putting some part of the antenna (preferably metallic) in contact with a thermostat at high or low temperature; other solutions are based on the circulation of fluid, especially for cold temperature variations. In this work a thermal enclosure has been developed to test antenna performances at a temperature ranging from 0°C to 50°C. The thermal enclosure is manufactured from extruded polystyrene; it integrates a set of PT100 temperature sensors to measure the temperature grade inside the enclosure. The antenna complex gain is measured at ambient temperature without the enclosure shell and compared to the measurement inside the shell. The temperature variation is obtained by applying an air flux extracted from a laboratory oven. The measurement achieves traceability of the temperature applied antenna and of the antenna parameters through S-parameters traceable measurements. The process is used to measure Commercial Off-The-Shelf (COTS) and may be applied to prototypes.

1 Introduction

La mesure des paramètres de rayonnement d'une antenne trouve généralement ses applications pour la validation de systèmes satellitaires pour lesquels la tenue des performances dans des conditions de fonctionnement extrême est indispensable. D'autres applications concernent les antennes montées en extérieur ou les applications aéronautiques pour lesquelles il peut être opportun de valider la tenue de l'antenne dans son environnement. Dans ce cas, le maintien du fonctionnement de l'antenne est testé après l'application de conditions sévères telles que l'atmosphère saline, la projection d'eau. Les antennes de positionnement GLONASS pour les applications GPS sont validées suivant ce processus [1].

La plupart des effets thermiques ont un impact sur la déformation des parties métalliques des antennes, qui est d'une importance particulière dans le cas des antennes à réflecteur, la variation de température peut aussi affecter la phase et l'amplitude des composants actifs [2] et ainsi que les propriétés diélectriques du substrat et du radôme de l'antenne, ainsi que celle des câbles intégrés à l'antenne.

Pour les applications aéronautiques plupart de ces tests sont effectués avant et après conditionnement climatique des antennes et il y a un manque évident d'information sur la performance de l'antenne lors de la variation des conditions d'atmosphère. L'objet de cette étude est la

mesure d'antenne de type transpondeur ATC pour lors d'une mise sous température compris entre 0°C et 50°C. Ces antennes sont situées sur la surface de l'avion et exposées à des passages en haute altitude.

Un nombre restreint de solutions existent pour le test thermique de diagramme de rayonnement d'antenne. La NASA a notamment développé une solution pour la mesure d'antennes micro-ruban en bande Ka à des températures cryogéniques [3]; avec une température d'essai de 25 ° K.

Ce système est basé sur un refroidissement à l'hélium liquide en cycle fermé. L'antenne est montée sur une plaque reliée à un doigt froid fabriqué à partir d'acier inoxydable. La directivité de l'antenne à la fréquence de test (32 GHz) permet le montage de pièces métalliques derrière elle avec une perturbation limitée du diagramme de rayonnement. Le doigt froid passe à travers une enveloppe métallique cylindrique qui est utilisée comme une enceinte à vide. L'enveloppe est fermée par un radôme de polyéthylène qui maintient les conditions de vide tout en restant relativement transparent aux ondes électromagnétiques. L'effet de condensation est évité en maintenant l'atmosphère de vide à l'intérieur de l'enceinte.

Plus récemment SATIMO introduit une solution similaire en utilisant ses techniques de balayage rapide [4]. L'antenne est montée à l'intérieur d'un récipient à isolation thermique transparent aux ondes électromagnétiques contenant un réservoir d'azote

¹ Email de correspondance de l'auteur : yannick.lesage@lne.fr

liquide. Les dimensions de l'enceinte climatique sont spécifiquement adaptées aux dimensions de l'antenne en cours de test et les dimensions extérieures sont compatibles avec les dimensions du système de mesure utilisé, un moyen de mesure d'antenne multi-sonde rapide Starlab.

L'enceinte thermique se divise en trois parties: un réservoir d'azote liquide dans lequel un refroidisseur à immersion est plongé pour conduire la chaleur de l'antenne et les parties supérieures de l'enceinte froide au thermostat. La partie intermédiaire qui supporte l'antenne et le refroidisseur d'immersion, avec un accès par câble, et la partie supérieure qui contient l'antenne. Un câble d'alimentation spécifique est sélectionné pour minimiser l'influence de la température sur la perte de retour et pertes d'insertion.

Ces deux systèmes permettent l'essai des températures allant de $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ bien qu'ils aient été réellement testés à partir de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ jusqu'à $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Un brevet installé en 1989 décrit également une chambre de test thermique pour effectuer des mesures RF à une température entre $-38\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$ [5]. La capacité d'Astrium à effectuer température antenne satellite d'essai est également mentionnée dans [6].

Dans cette étude la méthode retenue est la mise sous température d'un caisson fabriqué en matière isolante diélectrique (rohacell). Le boîtier comporte une arrivée d'air sur laquelle est branché un tube en polyuréthane, lui même alimenté en air par une étuve dont l'air est extrait par une ventilation utilisée pour les aérateurs par gaine. Ce dispositif permet de positionner le caisson de l'antenne dans une chambre anéchoïque comportant une trappe d'accès suffisamment large pour laisser passer la conduite d'air tout en positionnant l'étuve et le système d'extraction à l'extérieur de la chambre anéchoïque.

2 Moyens de mesure

Les mesures sont réalisées dans une chambre anéchoïque spécifiée pour un fonctionnement dans une gamme de fréquence comprise entre 1 GHz et 40 GHz. Les fréquences de fonctionnement des transpondeurs sont en bande basse de fonctionnement (1030 et 1090 MHz) et la mesure dans cette chambre se fera donc avec un fonctionnement dégradé. Les incertitudes de mesure ne sont pas évaluées dans cette étude et feront l'objet de travaux ultérieurs. L'antenne utilisée pour éclairer le transpondeur est un cornet dual-ridge ETS lindgren, modèle 3117, dont la gamme de fréquence spécifiée va de 1 GHz à 18 GHz et le gain à 1 GHz est de 1 dB.

Les dimensions de la chambre hors absorbants sont de 7,3 m de long par 3,6 m de large et de haut. La couverture absorbante est majoritairement constituée d'absorbant de type HFP-60 (hauteur totale 660 mm) et HPP-40 (hauteur totale 455 mm). Dans un premier temps le coefficient de transmission est mesuré sans caisson, tel que visible sur la figure 1, puis avec le caisson monté sur l'antenne pour déterminer l'impact du caisson sur la mesure RF. Un premier prototype a été réalisé en mousse isolante de type

isolation de bâtiment, les résultats de mesure de perturbation sont donc majorant par rapport à une réalisation en Rohacell.

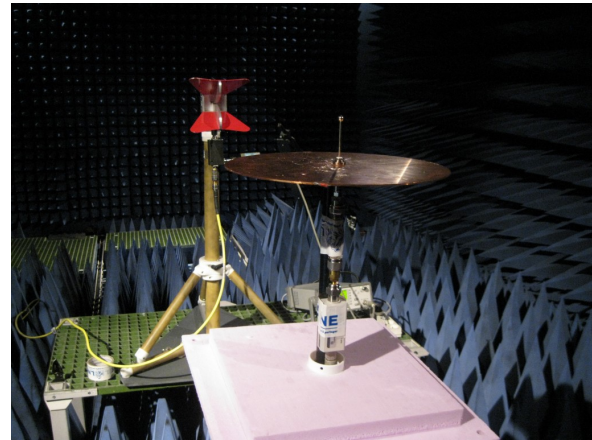


Figure 1. Dispositif de mesure sans caisson thermique

La mesure de l'impact du caisson est effectuée en mesurant le ratio entre la puissance injectée dans l'antenne cornet d'émission et la puissance mesurée à la sortie du transpondeur. Cette mesure est effectuée avec et sans caisson interposé, et le calcul du ratio de ces deux rapport donne une indication de l'impact du caisson. Plus le rapport de puissance est élevé, plus il y a de perte entre les deux antennes. Les résultats reportés sur la figure 2 confirme le faible impact de l'enceinte sur la transmission entre les deux antennes, avec une variation d'un facteur inférieur à 1,05 sur le rapport puissance émise sur puissance reçue avec et sans caisson.

	Mesure avec caisson	Mesure sans caisson
Puissance émise	2,013 W	2,013 W
Puissance reçue	0,058 W	0,061
rapport	34,75	33,21

Figure 2. Rapport de puissance entre antennes mesuré avec et sans caisson thermique

L'autre mesure effectuée pour évaluer l'impact du caisson est la mesure du coefficient de réflexion de l'antenne transpondeur avec et sans caisson, dans la chambre anéchoïque. Les résultats de mesure sont reportés dans les figures 3 et 4 respectivement. Ces mesures permettent de vérifier que le caisson influe sur l'adaptation de l'antenne transpondeur essentiellement à basse fréquence où l'on observe une variation de 3dB du coefficient de réflexion. Cette observation est toutefois à pondérer avec l'importance du câblage de cette antenne de type dipôle au plan de masse et la disposition du contreplans qui influe notablement le résultat de mesure.

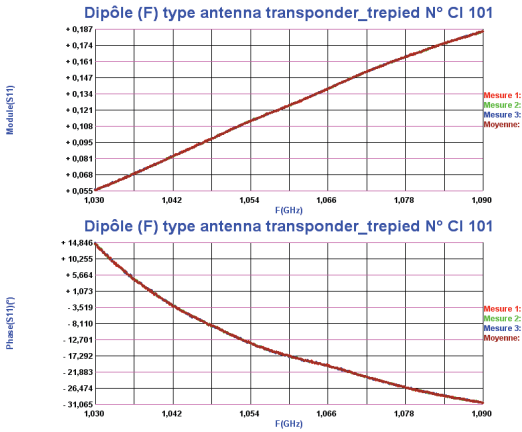


Figure 3. Mesure du coefficient de réflexion de l'antenne transpondeur sans caisson thermique

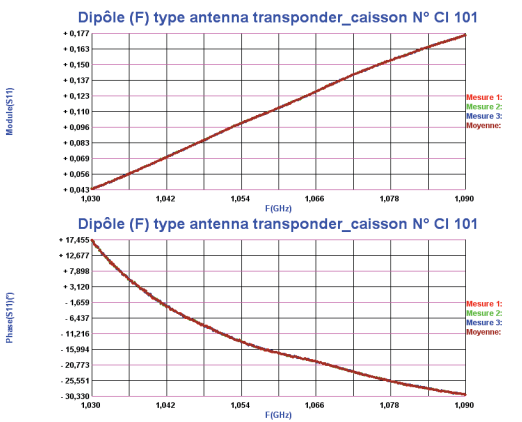


Figure 4. Mesure du coefficient de réflexion de l'antenne transpondeur avec caisson thermique

3 Essais préliminaire de mesure d'antenne sous température

Les essais préliminaires réalisés avec les sondes de températures thermocouple K montées sur une centrale Graphtek permettant l'enregistrement des cycles de température. Cette centrale est visible sur la figure 5 avec l'étuve utilisée pour thermostatier l'air injecté dans l'enceinte thermique de l'antenne.



Figure 5. Centrale de mesure de température Graphtek et étuve ESPEC SH-641

Un jeu de 4 thermocouples est disposé dans l'enceinte et la température est enregistrée lors d'un cycle de chauffage de l'antenne. Le chauffage est obtenu au

moyen d'un pistolet à air chaud. Le cycle est réalisé en trois phases, une première phase avec une consigne à 50°C et une deuxième phase avec une consigne à 200°C interrompue avant que le caisson n'atteigne la température limite de 60°C qui pourrait endommager le matériau utilisé pour cette première version. La troisième phase est obtenue en enregistrant le refroidissement du caisson. La température ambiante est de 23°C.

Les courbes de température sont enregistrées sur la figure 6. On note un bon suivi de la température à l'intérieur du caisson dans la première phase. La dispersion augmente entre les sondes lors la deuxième phase, c'est effet de gradient est particulièrement visible sur la figure 7 qui représente l'écart relatif des sondes à la température moyenne enregistrée dans le caisson. L'écart relatif est inférieur à 5% lors de la phase de chauffage à 50°C et reste homogène malgré la variation de température dans l'enceinte. La dispersion augmente nettement lors de la deuxième phase ou l'air est poussé avec plus de pression dans le caisson, et le gradient de température plus important. Lors de la phase de relaxation la température décroît de façon exponentielle puis quasi linéaire, avec une dispersion inférieure à 10%.

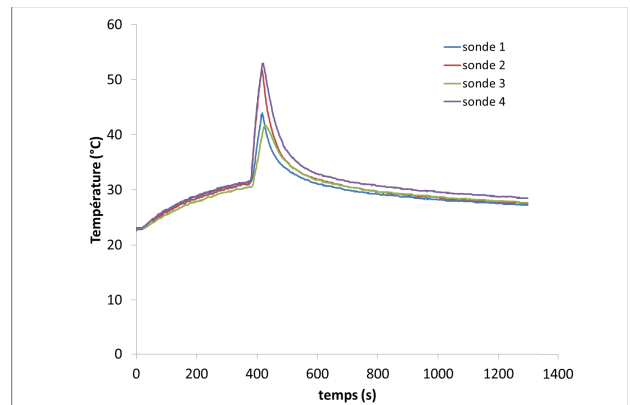


Figure 6. Mesure de température des sondes intégrées au caisson

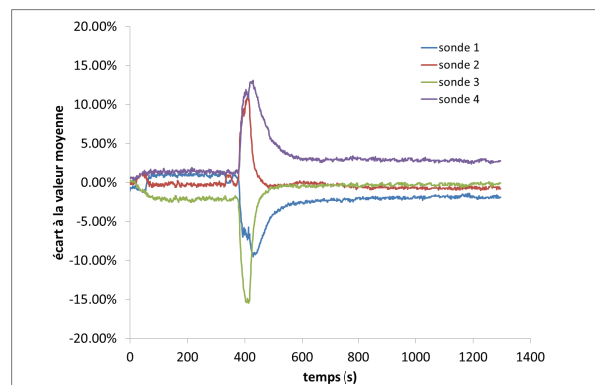


Figure 7. Ecart relatif de mesure de température entre les sondes et la valeur moyenne

La dispersion est lié à plusieurs paramètres qui ne sont pas pleinement contrôlé mais que l'on peut citer ici : la différence de température avec l'ambient, le débit de l'air injecté dans la cellule. Celle-ci comporte des trous

destinés à évacuer l'air et diminuer la charge du système de ventilation, tout en maintenant un flux d'air constant. Ce flux permet notamment de limiter les effets de condensation en cas de température basse mais en contrepartie il augmente la dispersion des sondes lorsque le débit d'air est nul.

Les essais à basse température sont réalisés avec une étuve dont la consigne est réglée à 5°C puis 1°C. Un des quatre thermocouples est utilisé pour enregistrer la température dans l'étuve, les trois autres enregistrent la température dans l'enceinte thermique.

La figure 8 montre l'enregistrement de la température dans l'enceinte et dans l'étuve. On note une phase de mise en route puis une stabilisation de la température avec un plateau à 15°C pour l'enceinte thermique et à 5°C pour l'étuve. Dans un deuxième temps la consigne de l'étuve est réglée à 1°C (vers 4000 s), et la différence de température de 10°C est globalement maintenue. A l'arrêt de l'étuve la température dans l'enceinte thermique remonte rapidement vers l'ambient (23°C).

L'écart relatif de température entre les sondes dans l'enceinte est négligeable pour cet essai, on vérifie sur la figure 9 qu'il est inférieur à 1%.

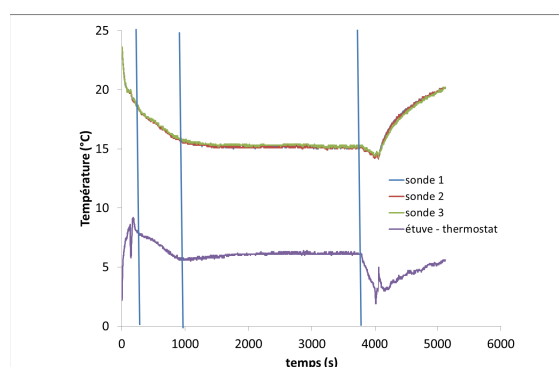


Figure 8. Mesure de température des sondes

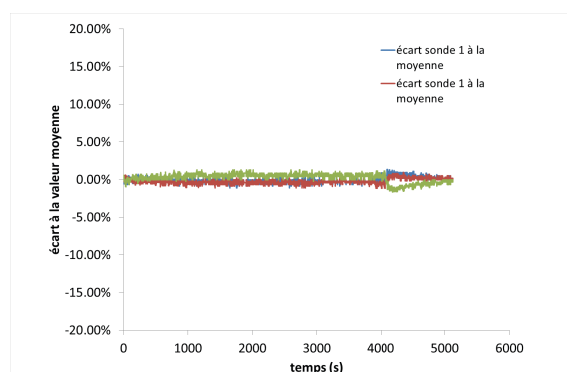


Figure 9. Ecart relatif de mesure de température entre les sondes de l'enceinte et la sonde de l'étuve

4 Conclusion

Dans cette étude on a réalisé un premier prototype bas cout de caisson pour mettre une antenne à une température différente de l'ambient, tout en minimisant les perturbations de ce caisson sur les propriétés électromagnétique de l'antenne. Une autre contrainte consiste à garantir l'absence de dépôt humide sur la surface de l'antenne ou de son plan de masse par condensation car ce dépôt conducteur pourrait modifier dramatiquement le comportement de l'antenne.

Le caisson réalisé présente un impact sur le rayonnement de l'antenne mesurable mais acceptable pour un dispositif de ce type. Les mesures de température n'ont pas permis de valider l'absence de condensation faute d'une température assez basse mais on a bien observé un flux d'air constant et la dépendance de la température du caisson au maintien de ce flux d'air. La différence de température mesurée entre l'étuve et l'enceinte est d'environ 10°C et des mesures complémentaires sur un caisson optimisé devraient permettre de diminuer cet écart. L'étuve utilisée peut être réglée sur une consigne comprise entre 0°C et 60°C, la réalisation de mesure avec une mise du caisson à une température comprise entre 0°C et 50°C, pour une mesure du gain fait partie des perspective de ce projet.

Ces travaux ont été réalisés dans le cadre du projet Euramet IND51 « Metrology for optical and RF communication systems ».

Références

1. Scardelletti, M.C.; Jordan, J.L.; Ponchak, G.E., "Temperature Dependency (25 C - 400 C) of a Planar Folded Slot Antenna on Alumina Substrate," *Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE* , vol.7, no., pp.489,492, 2008.
2. Rieck, C.; Jarlemark, P.; Jaldehag, K.; Johansson, J., "Thermal influence on the receiver chain of GPS carrier phase equipment for time and frequency transfer," *Frequency Control Symposium and PDA Exhibition Jointly with the 17th European Frequency and Time Forum, 2003. Proceedings of the 2003 IEEE International* , vol., no., pp.326,331, 4-8 May 2003
3. M.A. Richard, K.B. Bhasin, C. Gilbert, S. Metzler and P.C. Claspy., "Measurement techniques for cryogenic Ka-band microstrip antennas", *AMTA*, 1991.
4. L.J. Foged, A. Giacomini, R. Morbidini, "Thermal testing of antennas in spherical near-field multi-probe system", *Eucap*, 2011.
5. Edward E. Hines, Lee J. Royer, Thomas D. Jehring, William E. Faulkenberry, Norvan J. Posey, Joseph T. Richeson , "RF transparent thermal test chamber", *Patent US4860602*.
6. J. Migl, J. Habersack, H. Grim, S. Paus, "Test Philosophy and Test Results of the Intelsat-IX C-

Band Antennas”, 25. AMTA 2003, Irvine, CA, US;
19.–24.10.2003

7. Mayer, R., Kress, H. D., & Migl, J., “Antenna Performance Measurements at Extreme Temperatures”, Fourth International Symposium Environmental Testing for Space Programmes. Meeting held June 12-14, 2001, at the Palais de Congrès, Liège, Belgium. Edited by Brigitte Schürmann. European Space Agency, ESA SP-467, 2001. ISBN: 92-9092-7097, p.377