

Compatibilité électromagnétique

L'intensité du champ électrique, au même titre que la densité de flux magnétique ou la puissance rayonnée, n'est pas une unité de base du système SI. A ce titre, elle ne peut pas être matérialisée par des objets comme l'étalon du kilogramme. Au contraire, le champ électrique doit être concrétisé par des expériences reproductibles. Afin de comparer ces différentes réalisations internationales, METAS a organisé la première comparaison internationale dans ce domaine. Cette comparaison s'inscrit dans le cadre des travaux du comité GT-RF (Consultative Committee for Electricity and Magnetism Working Group – Radiofrequency Quantities).

FRÉDÉRIC PYTHOUD

L'intensité du champ électrique, au même titre que la densité de flux magnétique ou la puissance rayonnée, n'est pas une unité de base du système SI. A ce titre, elle ne peut pas être matérialisée par des objets comme l'étalon du kilogramme. Au contraire, le champ électrique doit être concrétisé par des expériences reproductibles. Afin de comparer ces différentes réalisations internationales, METAS a organisé la première comparaison internationale dans ce domaine. Cette comparaison s'inscrit dans le cadre des travaux du comité GT-RF (Consultative Committee for Electricity and Magnetism Working Group – Radiofrequency Quantities).



1 Étalon de transfert : La partie sensible au champ électrique (en jaune) a un diamètre de 1 cm.

L'étalon de transfert

Afin de comparer les capacités d'étalonnage du champ électrique aux fréquences de 30 MHz à 1000 MHz, une sonde miniature de champ électrique a circulé dans les laboratoires mentionnés dans l'encadré 2.

La comparaison s'est effectuée pour une intensité de champ de 20 V/m. Elle s'est déroulée de mai 1999 jusqu'au rapport final en février 2006. La durée de cette comparaison s'explique par des retards d'origines techniques comme personnelles et organisationnelles.

Réalisations de l'étalon de champ électrique

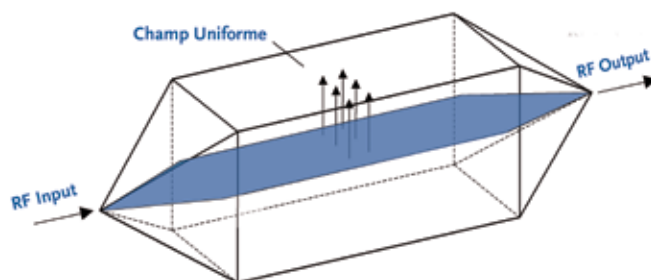
Le champ électrique est exprimé en Volt/mètre. Il est relié au Système International par l'intermédiaire d'une unité de longueur (le mètre) ainsi que d'une unité électrique (le Volt). Les laboratoires participant à la comparaison ont utilisé les techniques suivantes pour la réalisation du champ électrique : les cellules TEM et les antennes calculables.

Les antennes calculables sont des antennes dont le facteur peut être calculé mathématiquement et relativement simplement en utilisant les équations de Maxwell et la géométrie précise de l'antenne. L'on peut ainsi déterminer l'intensité d'un champ par une mesure électrique aux bornes de l'antenne.

Les cellules TEM sont les étalons les plus répandus parmi les participants au test. La cellule TEM est constituée d'une en-

Acronyme	Institut national de métrologie	Pays
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt	Germany
METAS	Federal Office of Metrology	Switzerland
NPL	National Physical Laboratory	United Kingdom
NMi-VSL	Nederlands Meetinstituut Van Swindern Laboratorium	The Netherlands
STUK	Radiation and Nuclear Safety Authority	Finland
IEN	Instituto Elettrotecnico Nazionale	Italy
NML-CSIR	National Metrology Laboratory	South Africa
SP	Swedish National Testing and Research Institute	Sweden
KRISS	Korea Research Institute of Standards and Science	Korea
CSIRO	National Measurement Laboratory	Australia
NIM	National Institute of Metrology of China	China
VNIIFTRI	All-Russian Scientific and Research Institute for Physical-Technical and Radiotechnical Measurement	Russia
CMI	Czech Metrology Institute	Czech Republic

2 Laboratoires participant à la comparaison internationale.



3 Vue schématique d'une cellule TEM.

ceinte métallique au milieu de laquelle se trouve un conducteur plat (septum) isolé électriquement de l'enceinte (figure 3).

L'énergie électrique est injectée dans la cellule par l'intermédiaire d'un câble coaxial dont l'âme est connectée au septum et la gaine à l'enceinte de la cellule. Cette énergie traverse la cellule et ressort de l'autre côté par un second câble coaxial. Suivant les dimensions géométriques de la cellule, ainsi que de la fréquence du signal électrique, l'énergie qui traverse la cellule peut prendre la forme d'une onde électromagnétique très « propre » appelée mode TEM (Transverse ElectroMagnetic) : les propriétés de cette onde sont identiques aux propriétés des ondes électromagnétiques dans le vide en champ lointain.

Dans ce cas il règne alors, dans l'espace entre le septum et l'extérieur de la cellule, un champ électrique moyen défini par

$$\frac{U}{d}$$

où U est la tension du signal appliqué à la cellule et d la hauteur de l'espace du septum à l'enceinte. Aux fréquences qui nous intéressent (30 MHz à 1 GHz), il est relativement difficile de mesurer directement la tension. Il est plus facile de mesurer la puissance dissipée dans une charge d'impédance Ω de 50 Ω (valeur conventionnellement utilisée pour ce type d'expérience) à la sortie de la cellule. Dans ce cas là, la tension est dérivée d'une mesure de puissance et d'une mesure d'impédance à l'aide de l'équation

$$U = \sqrt{Z \cdot P}$$

où Z est l'impédance de la charge et P la puissance de l'onde électrique. A ces formules s'ajoutent naturellement des corrections fines.

Résultats et conclusions

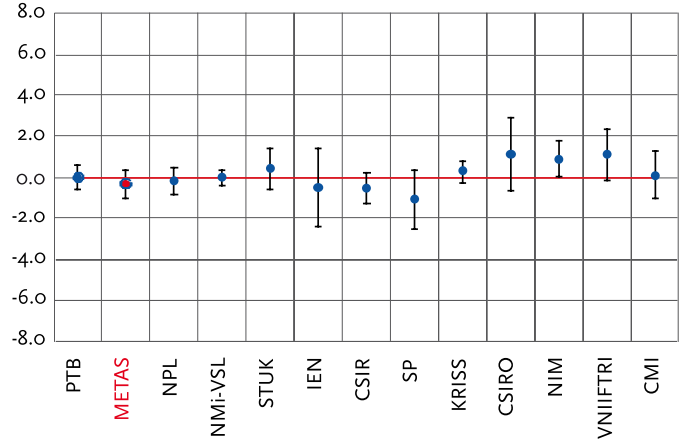
Le diagramme 4 illustre le résultat de la comparaison pour la fréquence de 100 MHz. Douze autres fréquences ont fait l'objet de comparaison, et sur l'ensemble des résultats, les laboratoires nous ont fourni des incertitudes standard ($k=1$) variant de 0.6% jusqu'à 17%. Sur la base de l'analyse de ces résultats, nous pouvons affirmer que les mesures de chacun des laboratoires sont compatibles avec l'incertitude indiquée.

Ce résultat montre, pour la première fois, la capacité de réalisation du V/m aux fréquences de 30 MHz jusqu'à 1 GHz. Il est intéressant d'observer que beaucoup de laboratoires, dont METAS, fournissent des incertitudes standard ($k=1$) de l'ordre de grandeur de 1.5% à 4%. Cette précision contraste fortement avec les 13 à 15 chiffres significatifs que l'on obtient en mesure du temps par exemple. La réalisation du V/m est donc validée de 30 MHz à 1 GHz, mais reste tout de même délicate. Une comparaison internationale va démarrer prochainement pour valider la réalisation du Volt/mètre aux fréquences allant de 1 GHz à 3 GHz.

Possibilités de mesure à METAS

La cellule TEM de METAS, validé par cette comparaison internationale, nous sert d'étalon pour tous nos étalonnages de sondes de champ de 1 MHz à 1 GHz. Nous avons la possibilité, en utilisant d'autres techniques, de couvrir actuellement de domaine de fréquences de 10 kHz jusqu'à 3 GHz. Pour répondre aux besoins grandissants de nos clients, nous cherchons à élargir l'étendue de ces mesures.

Deviation from KCRV / V/m



4 La figure illustre le résultat de la comparaison pour la fréquence de 100 MHz. Douze autres fréquences ont fait l'objet de comparaison, et sur l'ensemble des résultats, les laboratoires nous ont fourni des incertitudes standard ($k=1$) variant de 0.6% jusqu'à 17%. Sur la base de l'analyse de ces résultats, nous pouvons affirmer que les mesures de chacun des laboratoires sont compatibles avec l'incertitude indiquée.

Référence

F. Pythoud, CCEM.RF-K20: *Comparison of electrical field strength measurements*, Metrologia, 43, Tech. Suppl. 01006, 2006.