

---

---

**Véhicules routiers — Génération de  
champs électromagnétiques pour  
l'étalonnage des champmètres entre  
20 kHz et 1 000 MHz**

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

*Road vehicles — Generation of standard EM fields for calibration of power  
density meters from 20 kHz to 1 000 MHz*

ISO/TR 10305:1992

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7915b1dc-7efd-4a31-9894-319213b250e3/iso-tr-10305-1992>



## Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales, mais, exceptionnellement, un comité technique peut proposer la publication d'un rapport technique de l'un des types suivants:

- type 1, lorsque, en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale;
- type 2, lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou lorsque, pour toute autre raison, la possibilité d'un accord pour la publication d'une Norme internationale peut être envisagée pour l'avenir mais pas dans l'immédiat;
- type 3, lorsqu'un comité technique a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales (ceci pouvant comprendre des informations sur l'état de la technique, par exemple).

Les rapports techniques des types 1 et 2 font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales. Les rapports techniques du type 3 ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données fournies ne soient plus jugées valables ou utiles.

L'ISO/TR 10305, rapport technique du type 3, a été élaboré par le comité technique ISO/TC 22, *Véhicules routiers*, sous-comité SC 3, *Équipement électrique et électronique*.

Le présent Rapport technique, uniquement de caractère informatif, représente l'état de la technique dans le domaine de l'étalonnage des champmètres.

© ISO 1992

Droits de reproduction réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

Organisation internationale de normalisation  
Case Postale 56 • CH-1211 Genève 20 • Suisse

Imprimé en Suisse

# Véhicules routiers — Génération de champs électromagnétiques pour l'étalonnage des champmètres entre 20 kHz et 1 000 MHz

## 1 Domaine d'application

Le présent Rapport technique décrit des techniques pour étalonner des instruments de mesure de champs de haute densité lors de mesurages de champs à haute fréquence à rayonnement de haute densité (haut risque) dans la plage des fréquences comprises entre 20 kHz et 1 000 MHz. Il s'applique au domaine des véhicules routiers.

## 2 Techniques

iTeh STANDARD PREVIEW

(standards.iteh.ai)  
Les techniques recommandées sont celles décrites dans le rapport NBSIR 75-804, *Generation of standard EM fields for calibration of power density meters 20 kHz to 1 000 MHz* (Edition January 1975 amended), dont la traduction en français est annexée.

[ISO/TR 10305:1992](#)

NOTE 1 Aux fins de normalisation internationale, l'auteur du document a apporté des corrections aux figures 5, 8 et 12 (échelles de grandeur).

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7915b1dc-7ef1-4a31-9894-319213b250e3/iso-tr-10305-1992>

## 3 Révision du Rapport technique

Il a été convenu avec le National Institute of Standards and Technology que le comité technique ISO/TC 22 sera consulté dans l'éventualité d'une révision ou d'un amendement du document NBSIR 75-804.

Page blanche

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

ISO/TR 10305:1992

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7915b1dc-7efd-4a31-9894-319213b250e3/iso-tr-10305-1992>

NBSIR 75-804

**GENERATION DE CHAMPS ELECTROMAGNETIQUES  
POUR L'ETALONNAGE DES CHAMPMETRES ENTRE  
20 kHz ET 1 000 MHz**

---

M.L. Crawford

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

[ISO/TR 10305:1992](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7915b1dc-7efd-4a31-9894-319213b250e3/iso-tr-10305-1992)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7915b1dc-7efd-4a31-9894-319213b250e3/iso-tr-10305-1992>

Electromagnetics Division  
Institute for Basic Standards  
National Bureau of Standards  
Boulder, Co 80302

Janvier 1975

Rapport final

Préparé pour le  
Calibration Coordination Group  
Army/Navy/Air Force

Page blanche

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

ISO/TR 10305:1992

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7915b1dc-7efd-4a31-9894-319213b250e3/iso-tr-10305-1992>

## SOMMAIRE

1	Introduction .....	1
2	Techniques de génération des champs d'essai étalons .....	3
	2.1 Lignes de transmission à plaques parallèles .....	3
	2.2 Ligne de transmission à fils parallèles.....	4
	2.3 Cellules de transmission TEM.....	5
	2.4 Antennes directives.....	6
3	Description, conception et évaluation des cellules TEM (Techniques recommandées d'étalonnage des champmètres de 20 kHz à 500 MHz) .....	9
	3.1 Représentation des champs à l'intérieur des cellules .....	11
4	Mode opératoire de mesurage .....	13
5	Analyse d'erreur de la normalisation du champ à l'intérieur des cellules .....	16
6	Comparaison entre lignes à plaques parallèles, cellules TEM, guides d'ondes ouverts et cornets à gain normal .....	17
7	Résumé et conclusions.....	20
	Références bibliographiques .....	22

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 – Exemple type de ligne à plaques parallèles selon la norme MIL-STD-462 ....	23
Figure 2 – Schéma fonctionnel d'un champmètre à fils parallèles.....	24
Figure 3 – Cellules TEM et équipement associé pour l'étalonnage des appareils de mesure des risques de rayonnement .....	25
Figure 4 – Schéma fonctionnel d'un système d'essai des appareils de mesure des risques de rayonnement à antennes directionnelles.....	26
Figure 5 – Antenne rétrodirective courte et diagramme du rayonnement.....	27
Figure 6 – Antenne dipôle à quatre éléments .....	28
Figure 7 – Sonde d'évaluation du risque de rayonnement montée en avant d'une antenne à guide d'onde ouvert (OEG).....	29
Figure 8 – Schéma de construction d'une cellule TEM rectangulaire.....	30
Figure 9 – Coupe transversale d'une ligne de transmission rectangulaire.....	31
Figure 10 – Courbe réflectométrique dans le temps de l'impédance répartie d'une cellule vide.....	32
Figure 11 – Rapport d'onde stationnaire (ROS) à l'entrée de la cellule vide.....	33
Figure 12 – Répartition relative du champ électrique à l'intérieur de la cellule – Vue en coupe de la moitié supérieure de la cellule.....	34
Figure 13 – Schéma fonctionnel d'un système à cellule TEM pour le contrôle et l'étalonnage des champmètres HF entre 1 MHz et 500 MHz .....	35
Figure 14 – Schéma fonctionnel d'un système à cellule TEM pour le contrôle et l'étalonnage des champmètres HF entre 20 kHz et 1 MHz.....	36
Figure 15 – Tour en mousse polymérique supportant la sonde en face d'un cornet à gain normalisé sur la plage d'extrapolation NBS .....	37

## GENERATION DE CHAMPS ELECTROMAGNETIQUES D'ETALONNAGE DES CHAMPMETRES

### ENTRE 20 kHz et 1000 MHz

Le présent rapport décrit des techniques d'étalonnage des champmètres utilisés par le Ministère de la Défense pour mesurer les champs à haute fréquence et haute intensité (à haut niveau de risque) couvrant la plage de 20 kHz à 1000 MHz. Il rend compte d'une partie des travaux subventionnés par le CCG (Calibration Corodination Group) du Ministère de la Défense, couvrant la plage des fréquences situées entre 20 kHz et 20 Ghz.

Diverses techniques sont utilisées pour produire ces champs étalons : lignes de transmission à plaques parallèles ou à fils parallèles, cellules de transmission à mode électromagnétique transverse (TEM), antennes directives diverses et guides d'ondes ouverts (OEG). Le présent rapport insiste plus particulièrement sur les cellules TEM dont l'utilisation est recommandée pour les fréquences comprises entre 20 kHz et 500 MHz. Il donne le détail de leur conception et de leur évaluation ainsi qu'une analyse des erreurs découlant de ce système de mesurage. Les niveaux de densité de puissance pouvant être établis dans des cellules vont de quelques milliwatts par centimètre carré à 100 mW/cm<sup>2</sup> avec des incertitudes ne dépassant pas 1 dB.

Il décrit également brièvement l'emploi des guides d'ondes, les techniques recommandées dans les hyperfréquences (500 MHz à 2,6 GHz) et donne le résultat de comparaisons effectuées entre lignes à plaques parallèles, cellules TEM, guides d'ondes et cornets à gain normal.

Mots clés : Champs à haut risque - étalonnage des champmètres - cellules de transmission TEM.

### 1 INTRODUCTION

Les autorités civiles et militaires s'inquiètent de plus en plus de l'effet des rayonnements non ionisants (HF) sur les personnes et sur les équipements. Ainsi les antennes radar ou radio peuvent-elles engendrer des rayonnements électromagnétiques potentiellement dangereux, de même que certains appareils électriques comme les fours à micro-ondes.

Plusieurs appareils sont désormais disponibles dans le commerce pour mesurer l'intensité de ces rayonnements électromagnétiques.

Le présent rapport décrit les travaux entrepris sous l'égide du CCG du Ministère de la Défense pour mettre au point puis évaluer, des instruments et des techniques normalisées capables d'engendrer des champs à haute fréquence connus permettant d'étalonner les appareils mesureurs.

L'objectif que s'était fixé le groupe était de mettre au point des procédures optimales d'étalonnage des champmètres utilisés par le Ministère de la Défense pour mesurer les champs HF à rayonnement direct de haute intensité (haut risque) dans la plage des fréquences comprises entre 20 kHz et 20 GHz. Les niveaux de densité de puissance considérés étaient d'environ 1 à 100 mW/cm<sup>2</sup>, soit des champs électriques de 600 V/m. La précision désirée d'étalonnage était de  $\pm 1$  dB.

Le présent rapport décrit des techniques utilisables en dessous de 1000 MHz, et insiste plus particulièrement sur la cellule TEM (à mode électromagnétique transverse) qui est d'emploi recommandé entre 20 kHz et 500 MHz. Un deuxième rapport décrira plus en détail les techniques recommandées pour les fréquences comprises entre 500 MHz et 20 GHz.

Un certain nombre de techniques équivalentes ont été évaluées et comparées du point de vue de la facilité d'emploi de la précision et du coût de reproductibilité. Elles font l'objet d'une brève description dans la deuxième partie du présent rapport. Elles concernent :

- a) la génération d'un champ uniforme entre deux conducteurs à plaques parallèles ou entre deux lignes de transmission parallèles,
- b) la génération d'un champ uniforme dans une cellule de transmission TEM ou un guide d'ondes,
- c) la génération d'un champ calculable en avant des antennes directives du type cornets à gain normal ou guide d'ondes ouvert.

Le choix des techniques recommandées (c'est à dire les cellules TEM et les guides d'ondes), est justifié par l'exposé des avantages et inconvénients des diverses solutions.

Les chapitres 3, 4 et 5 décrivent la méthode de la cellule TEM avec beaucoup de détails car c'est la méthode recommandée sur une large bande de la plage des fréquences (20kHz - 500 MHz). Les conseils d'utilisation des guides d'ondes sur la plage 500 MHz - 2,6 GHz figureront dans un second rapport établi par M. BOWMAN et on n'y reviendra pas ici en détail sauf pour ce qui est des raisons guidant le choix des guides d'ondes et des résultats de certaines comparaisons entre lignes à plaques parallèles, cellules TEM, guides d'ondes et cornets à gain normal. Les mesurages ont été faits sur des fréquences se recoupant pour renforcer la crédibilité de la méthode recommandée et permettre la vérification des données de précision incluses dans la partie de la norme traitant de l'analyse des erreurs.

Ces résultats figurent au chapitre 4 et montrent une cohérence remarquable dans les limites prescrites de précision ( $\pm 1$ dB) imputables aux techniques particulières utilisées.

## 2 TECHNIQUES DE GENERATION DES CHAMPS D'ESSAI ETALONS

### 2.1 Lignes de transmission à plaques parallèles

Cette technique est utilisée depuis quelque temps dans les études d'impulsions électromagnétiques et de contrôle de la susceptibilité des équipements électroniques. Divers auteurs ont présenté cette technique en détail [1,2]. Nous n'en donnerons donc ici qu'une brève description.

Cette technique consiste essentiellement à établir un champ d'essai entre les surfaces conductrices d'une ligne de transmission à ruban (ligne triplaque) (figure 1) fermée à sa sortie par l'impédance caractéristique et alimentée à l'entrée par une source puissante à haute fréquence branchée sur un réseau d'impédance adaptée. L'analyse des champs statiques donnée en référence [1] montre que le mode TEM d'une ligne à plaques parallèles peut simuler une onde électromagnétique plane en champ libre sur une bonne partie de sa région intérieure.

L'impédance de la ligne peut, si l'on néglige la dispersion magnétique, s'exprimer sous la forme :

$$Z_0 \approx 377 \frac{h}{w} \text{ ohms} \quad (1)$$

où h et w ont les valeurs indiquées à la figure 1.

Le champ électrique est donné par l'équation :

$$E_v = \frac{V}{h} \text{ volts/mètre} \quad (2)$$

Avec la ligne considérée, on peut obtenir des champs électriques supérieurs à 200 V/m avec des générateurs de 100 watt.

Ce système peut fonctionner à des fréquences pouvant aller jusqu'à quelques centaines de MHz avec un degré satisfaisant de précision si le dispositif essayé ou la sonde est de petite taille ( $< h/5$  et  $w/5$ ). Lorsque la fréquence augmente et que h tend vers  $\lambda/4$ , la ligne émet cependant de forts rayonnements à ses extrémités ouvertes.

Ce phénomène crée des perturbations qui peuvent gêner le mesurage, être dangereuses pour l'opérateur ou perturber d'autres expériences en cours sur la même plage de transmission.

Des modes d'ordre supérieur s'observent également dès que l'écartement des plaques dépasse  $\lambda/4$ .

Ces modes déforment la configuration du champ d'essai et limitent la précision de la détermination du champ connu. Les principaux inconvénients de la méthode sont la restriction dimensionnelle qu'impose la fréquence d'essai utile supérieure et l'absence de blindage contre les rayonnements.

Il faut également adapter avec soin les impédances et veiller à ce que les dimensions du dispositif essayé ne dépassent pas  $(h/5 \times w/5)$ . Si tel n'est pas le cas, on peut engendrer de grandes ondes stationnaires dans la région d'essai ce qui donne un champ électrique entre le dispositif essayé et les plaques sensiblement différent de celui qu'indiquent les calculs basés sur la tension HF mesurée entre les plaques. Les coûts de fabrication d'une ligne capable de tester des sondes de taille n'excédant pas 10 cm sont minimum quand les fréquences ne dépassent pas 100 MHz. Pièces et main d'oeuvre ne dépassent pas un coût de 2000 à 3000 dollars.

NBS a construit une ligne à plaques parallèles pour étalonner à 15 MHz une sonde de transfert étalon à dipôles permettant de comparer des étalonnages similaires effectués à l'aide d'une cellule de transmission TEM. Les résultats de cette comparaison figurent au chapitre 6.

Les erreurs associées à la technique de la ligne de transmission à plaques parallèles sont similaires à celles de la cellule de transmission TEM et sont, semble-t-il, dans les limites désirées de précision d'étalonnage ( $\pm 1$ dB).

## 2.2 Ligne de transmission à fils parallèles

Cette technique est très semblable à celle de la ligne à plaques parallèles sauf qu'elle remplace des plaques avec ou sans équilibrage électrique par des fils équilibrés. Les sondes des champmètres étant par essence petites, on peut respecter un écartement minimal entre les conducteurs de la ligne à fils parallèles, ce qui permet d'utiliser cette technique pour engendrer un champ d'essai étalon [3]. Le champ situé à mi-chemin entre les conducteurs est uniforme si le diamètre des fils est notablement plus petit que l'écartement des conducteurs et il s'exprime sous la forme :

$$E_v \approx \frac{377}{\pi d} |I_z| \quad (3)$$

où  $I_z$  est le courant dans les conducteurs,  
 $d$  est la moitié de la distance séparant les deux conducteurs de la ligne de transmission.

L'impédance caractéristique d'une ligne à deux fils ouverte dans l'air est donnée par l'équation :

$$Z_0 = 120 \cosh^{-1} \frac{2d}{a} \quad (4)$$

où  $d$  est défini ci-dessus  
et  $a$  est le diamètre des conducteurs.

On détermine le courant de ligne  $I$  en fermant la ligne par son impédance caractéristique (environ 600 ohms) après avoir mesuré avec précision la résistance  $R$  de la connexion de sortie et la dissipation de puissance  $P$  en  $R$ , grâce à l'équation :

$$|I_2| = \sqrt{P/R} \quad (5)$$

Un schéma fonctionnel de la ligne et des équipements associés est donné à la figure 2. La thermopile compare l'échauffement de la résistance de raccordement  $I$  sous l'effet de la puissance HF par rapport à la puissance équivalente en courant continu mesurée par le voltmètre à courant continu.

Cette technique présente fondamentalement les mêmes inconvénients que celle de la ligne à plaques parallèles auxquels vient s'ajouter une moins bonne uniformité de champ. Il n'a donc pas été jugé nécessaire de pousser davantage son étude pour l'étalonnage des champmètres.

### 2.3 Cellules de transmission TEM

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7915b1dc-7efd-4a31-9894-1a21e56c1103-11>

Cette technique recourt à une cellule de transmission à mode électromagnétique transverse (TEM) fonctionnant comme un système à impédance adaptée de  $50\Omega$  (figure 3). On établit à l'intérieur de la cellule, un champ TEM calculable uniforme à la fréquence d'essai à étudier en alimentant la cellule en énergie HF à l'aide d'un transmetteur raccordé à la porte d'entrée de la cellule.

A cette même porte, est raccordée une connexion de sortie  $50\Omega$  (sans réflexion). Le principe de cette technique est à peu près le même que celui de la ligne à plaques parallèles à cela près qu'il n'y pas rayonnement d'énergie vers l'espace environnant (ce qui est un avantage majeur), puisque le champ électromagnétique reste enfermé dans la cellule. La bande des fréquences est extrêmement large puisqu'elle n'est limitée que par la fréquence multimode du guide d'ondes associée à la taille de la cellule. Les cellules ne sont pas chères à construire (environ 3000 dollars l'une) et il n'est pas nécessaire de prévoir des chambres anéchoïques ou des enceintes blindées coûteuses. Les cellules permettent de définir des champs électriques connus de niveau compris entre moins de 1 V/m et 600 V/m, avec des incertitudes inférieures à  $\pm 1,0$  dB.