

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61000-4-21

Première édition
First edition
2003-08

PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM
BASIC EMC PUBLICATION

Compatibilité électromagnétique (CEM) –

**Partie 4-21:
Techniques d'essai et de mesure –
Méthodes d'essai en chambre réverbérante**

Electromagnetic compatibility (EMC) –

**Part 4-21:
Testing and measurement techniques –
Reverberation chamber test methods**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61000-4-21:2003

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- Site web de la CEI (www.iec.ch)
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.htm) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- IEC Just Published

Ce résumé des dernières publications parues (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.htm) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- Service clients

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- IEC Web Site (www.iec.ch)
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.htm) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- IEC Just Published

This summary of recently issued publications (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.htm) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- Customer Service Centre

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61000-4-21

Première édition
First edition
2003-08

PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM
BASIC EMC PUBLICATION

Compatibilité électromagnétique (CEM) –

**Partie 4-21:
Techniques d'essai et de mesure –
Méthodes d'essai en chambre réverbérante**

Electromagnetic compatibility (EMC) –

**Part 4-21:
Testing and measurement techniques –
Reverberation chamber test methods**

© IEC 2003 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembe, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE **XD**

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	6
INTRODUCTION	10
1 Domaine d'application.....	12
2 Références	12
3 Définitions et acronymes.....	14
4 Généralités	20
5 Environnements d'essai et limitations	22
6 Applications	22
7 Matériels d'essai.....	24
8 Etalonnage de chambre	26
9 Essais.....	28
10 Résultats d'essai, rapport d'essai et conditions d'essai.....	28
 Annexe A (informative) Vue d'ensemble de la chambre réverbérante	30
Annexe B (normative) Etalonnage de chambre par brassage de modes pas à pas	78
Annexe C (normative) Etalonnage de chambre réverbérante par brassage de modes continu	98
Annexe D (normative) Essais d'immunité aux émissions rayonnées	108
Annexe E (normative) Mesures des émissions rayonnées	118
Annexe F (informative) Mesures de l'efficacité de blindage des ensembles de câbles, des câbles, des connecteurs, des guides d'ondes et des composants passifs hyperfréquence	128
Annexe G (informative) Mesures de l'efficacité de blindage des joints d'étanchéité et des matériaux	136
Annexe H (informative) Mesures de l'efficacité de blindage	160
Annexe I (informative) Mesures du rendement d'antenne	176
Annexe J (informative) Evaluation directe de performances de réverbération en utilisant les coefficients d'anisotropie et d'inhomogénéité du champ.....	180
 Figure A.1 – Uniformité de champ type pour 200 pas du brasseur.....	56
Figure A.2 – Structure modale théorique pour une chambre de 10,8 m × 5,2 m × 3,9 m.....	56
Figure A.3 – Structure modale théorique avec largeur de bande du facteur de qualité superposée sur le 60 ^{ème} mode	58
Figure A.4 – Structure modale théorique avec largeur de bande du facteur de qualité plus élevée (Q plus faible) superposée sur le 60 ^{ème} mode.....	58
Figure A.5 – Installation de chambre réverbérante type.....	60
Figure A.6 – Prescriptions d'échantillonnage théorique pour une confiance de 95 % [voir Equation (A.3) sur le calcul de la densité de modes].....	62
Figure A.7 – Prescriptions d'échantillonnage théorique pour confiance réduite.....	64
Figure A.8 – Fonction de densité de probabilité normalisée d'une composante de champ électrique à un emplacement fixe pour une mesure avec un seul échantillon	64
Figure A.9 – Fonction de densité de probabilité de la moyenne d'une composante de champ électrique à un emplacement fixe pour une mesure avec N échantillons	66

CONTENTS

FOREWORD	7
INTRODUCTION	11
1 Scope	13
2 Normative references	13
3 Definitions and acronyms	15
4 General.....	21
5 Test environments and limitations	23
6 Applications	23
7 Test equipment	25
8 Chamber calibration	27
9 Testing	29
10 Test results, test report and test conditions	29
Annex A (informative) Reverberation chamber overview.....	31
Annex B (normative) Chamber calibration for mode-tuning.....	79
Annex C (normative) Chamber calibration for mode-stirring.....	99
Annex D (normative) Radiated immunity tests	109
Annex E (normative) Radiated emissions measurements	119
Annex F (informative) Shielding effectiveness measurements of cable assemblies, cables, connectors, waveguides and passive microwave components	129
Annex G (informative) Shielding effectiveness measurements of gaskets and materials	137
Annex H (informative) Shielding effectiveness measurements of enclosures	161
Annex I (informative) Antenna efficiency measurements	177
Annex J (informative) Direct evaluation of reverberation performance using field anisotropy and field inhomogeneity coefficients.....	181
Figure A.1 – Typical field uniformity for 200 tuner steps	57
Figure A.2 – Theoretical modal structure for a 10,8 m × 5,2 m × 3,9 m chamber.....	57
Figure A.3 – Theoretical modal structure with quality factor bandwidth superimposed on 60th mode.....	59
Figure A.4 – Theoretical modal structure with greater quality factor bandwidth (lower Q) superimposed on 60 th mode.....	59
Figure A.5 – Typical reverberation chamber facility	61
Figure A.6 – Theoretical sampling requirements for 95 % confidence [see equation (A.3) on calculating mode density]	63
Figure A.7 – Theoretical sampling requirements for reduced confidence	65
Figure A.8 – Normalized PDF of an electric field component at a fixed location for a measurement with a single sample	65
Figure A.9 – Normalized PDF of the mean of an electric field component at a fixed location for a measurement with <i>N</i> samples	67

Figure A.10 – Fonction de densité de probabilité du maximum d'une composante de champ électrique à un emplacement pour une mesure avec N échantillons	66
Figure A.11 – Volume de travail de la chambre	68
Figure A.12 – Données de sonde types	70
Figure A.13 – Données normalisées moyennes pour la composante x de 8 sondes de champ E	72
Figure A.14 – Ecart type des données pour les composantes du champ E de 8 sondes	72
Figure A.15 – Distribution des absorbants pour l'essai relatif aux effets de charge	74
Figure A.16 – Amplitude de charge pour l'essai relatif aux effets de charge	74
Figure A.17 – Données d'écart type pour composantes de champ électrique de 8 sondes dans la chambre chargée	76
Figure B1 – Emplacements de sonde pour l'étalonnage de chambre	96
Figure C.1 – Puissance reçue (dBm) en fonction de la ou des rotations du brasseur à 500 MHz	106
Figure C.2 – Puissance reçue (dBm) en fonction de la ou des rotations du brasseur à 1 000 MHz	106
Figure D.1 – Exemple d'installation d'essai adaptée	116
Figure E.1 – Exemple d'installation d'essai adaptée	126
Figure F.1 – Montage type d'essai	134
Figure G.1 – Montage type d'essai	154
Figure G.2 – Installation d'essai type pour les essais de joint d'étanchéité et/ou de matériau	156
Figure G.3 – Installation d'essai configurée pour l'étalonnage	158
Figure H.1 – Installation de l'enceinte d'essai type pour les essais d'enceinte de sol	172
Figure H.2 – Installation de l'enceinte d'essai type pour les essais d'enceinte montés sur banc	174
Figure J.1 – Distributions théoriques et types mesurées pour les coefficients d'anisotropie de champ dans une chambre bien brassée	194
Figure J.2 – Distributions théoriques et types mesurées pour les coefficients d'anisotropie de champ dans une chambre mal brassée	196
Figure J.3 – Valeurs mesurées types pour les coefficients d'anisotropie de champ en fonction de N dans une chambre bien brassée	198
Figure J.4 – Valeurs mesurées types pour coefficients d'anisotropie de champ en fonction de N dans une chambre mal brassée	200
Tableau A.1 – Prescriptions d'échantillonnage	44
Tableau B.1 – Prescriptions d'échantillonnage	94
Tableau B.2 – Prescriptions de tolérance pour l'uniformité du champ	94
Tableau J.1 – Valeurs types pour coefficients d'anisotropie de champ totale pour une qualité de réverbération «moyenne» et «bonne»	190

Figure A.10 – Normalized PDF of the maximum of an electric field component at a fixed location for a measurement with N samples	67
Figure A.11 – Chamber working volume.....	69
Figure A.12 – Typical probe data	71
Figure A.13 – Mean-normalized data for x component of 8 probes	73
Figure A.14 – Standard deviation of data for E-field components of 8 probes	73
Figure A.15 – Distribution of absorbers for loading effects test.....	75
Figure A.16 – Magnitude of loading from loading effects test.....	75
Figure A.17 – Standard deviation data for electric field components of eight probes in the loaded chamber	77
Figure B.1 – Probe locations for chamber calibration	97
Figure C.1 – Received power (dBm) as a function of tuner rotation (s) at 500 MHz	107
Figure C.2 – Received power (dBm) as a function of tuner rotation (s) at 1 000 MHz	107
Figure D.1 – Example of suitable test facility.....	117
Figure E.1 – Example of suitable test facility	127
Figure F.1 – Typical test set-up	135
Figure G.1 – Typical test set-up	155
Figure G.2 – Typical test fixture installation for gasket and/or material testing	157
Figure G.3 – Test fixture configured for calibration.....	159
Figure H.1 – Typical test enclosure installation for floor mounted enclosure testing	173
Figure H.2 – Typical test enclosure installation for bench mounted enclosure testing.....	175
Figure J.1 – Theoretical and typical measured distributions for field anisotropy coefficients in a well-stirred chamber	195
Figure J.2 – Theoretical and typical measured distributions for field anisotropy coefficients in a poorly stirred chamber.....	197
Figure J.3 – Typical measured values for field anisotropy coefficients as a function of N in a well-stirred chamber	199
Figure J.4 – Typical measured values for field anisotropy coefficients as a function of N in a poorly stirred chamber.....	201
Table A.1 – Sampling requirements	45
Table B.1 – Sampling requirements	95
Table B.2 – Field uniformity tolerance requirements.....	95
Table J.1 – Typical values for total field anisotropy coefficients for ‘medium’ and ‘good’ reverberation quality	191

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 4-21: Techniques d'essai et de mesure – Méthodes d'essai en chambre réverbérante

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente, les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61000-4-21 a été établie par le sous-comité A du CISPR: Mesures des perturbations radioélectriques et méthodes statistiques, avec la coopération du sous-comité 77B: Phénomènes haute fréquence, du comité d'études 77: Compatibilité électromagnétique.

Elle constitue la Partie 4-21 de la CEI 61000. Elle a le statut de publication fondamentale en CEM conformément au guide 107 de la CEI.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
CISPR/A/455/FDIS	CISPR/A/469/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –**Part 4-21: Testing and measurement techniques –
Reverberation chamber test methods****FOREWORD**

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61000-4-21 has been prepared by CISPR subcommittee A: Radio interference measurements and statistical methods, in cooperation with subcommittee 77B: High-frequency phenomena, of IEC technical committee 77: Electromagnetic compatibility.

It forms Part 4-21 of IEC 61000. It has the status of a basic EMC publication in accordance with IEC Guide 107.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
CISPR/A/455/FDIS	CISPR/A/469/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2005. A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61000-4-21:2003

Withdrawn

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2005. At this date, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

Withdrawn
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61000-4-21:2003

INTRODUCTION

La CEI 61000 est publiée sous forme de plusieurs parties conformément à la structure suivante:

Partie 1: Généralités

Considérations générales (introduction, principes fondamentaux)

Définitions, terminologie

Partie 2: Environnement

Description de l'environnement

Classification de l'environnement

Niveaux de compatibilité

Partie 3: Limites

Limites d'émission

Limites d'immunité (dans la mesure où elles ne relèvent pas des comités de produit)

Partie 4: Techniques d'essai et de mesure

Techniques de mesure

Techniques d'essai

Partie 5: Guide d'installation et d'atténuation

Guide d'installation

Méthodes et dispositifs d'atténuation

Partie 6: Normes génériques

Partie 9: Divers

Chaque partie est à son tour subdivisée en plusieurs parties, publiées soit comme Normes internationales soit comme spécifications techniques ou rapports techniques, dont certaines ont déjà été publiées comme sections. D'autres seront publiées avec le numéro de partie, suivi d'un tiret et complété d'un second numéro identifiant la subdivision (exemple: 61000-6-1).

INTRODUCTION

IEC 61000 is published in separate parts according to the following structure:

Part 1: General

General considerations (introduction, fundamental principles)

Definitions, terminology

Part 2: Environment

Description of the environment

Classification of the environment

Compatibility levels

Part 3: Limits

Emission limits

Immunity limits (in so far as they do not fall under the responsibility of the product committees)

Part 4: Testing and measurement techniques

Measurement techniques

Testing techniques

Part 5: Installation and mitigation guidelines

Installation guidelines

Mitigation methods and devices

Part 6: Generic standards

Part 9: Miscellaneous

Each part is further subdivided into several parts, published either as international standards or as technical specifications or technical reports, some of which have already been published as sections. Others will be published with the part number followed by a dash and a second number identifying the subdivision (example : 61000-6-1).

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 4-21: Techniques d'essai et de mesure – Méthodes d'essai en chambre réverbérante

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61000-4 porte sur les essais d'immunité et d'émissions désirées et non désirées pour les matériels électriques et/ou électroniques, et sur les essais d'efficacité d'écran. Seuls les phénomènes rayonnés sont examinés. Elle établit les procédures d'essai nécessaires à l'utilisation de chambres réverbérantes pour la réalisation des essais d'immunité aux champs rayonnés, d'émissions rayonnées et d'efficacité d'écran.

L'objet de cette partie est d'établir une référence commune pour l'utilisation des chambres réverbérantes dans le but d'évaluer les performances des matériels électriques et électroniques lorsqu'ils sont soumis à des champs électromagnétiques radioélectriques et dans le but de déterminer les niveaux des rayonnements radioélectriques émis par les matériels électriques et électroniques.

NOTE Des méthodes d'essai sont définies dans cette partie pour mesurer l'effet des rayonnements électromagnétiques sur les matériels et celui des émissions électromagnétiques provenant des matériels concernés. La simulation et la mesure des rayonnements électromagnétiques ne présentent pas l'exactitude adéquate pour la détermination quantitative des effets. Les méthodes d'essai définies sont structurées avec comme objectif essentiel d'établir une reproductibilité adaptée des résultats en plusieurs installations d'essai pour l'analyse qualitative des effets.

La présente partie de la CEI 61000-4 n'est pas destinée à spécifier les essais qui doivent être appliqués à des appareils ou des systèmes particuliers. Elle vise principalement à offrir à tous les comités de produits concernés de la CEI une référence de base générale. Les comités de produits doivent choisir les limites d'émission et les méthodes d'essai en concertation avec le CISPR. Les comités de produits restent responsables du choix approprié des essais d'immunité et des limites des essais d'immunité à appliquer à leurs matériels. Cette partie de la CEI 61000 décrit des méthodes d'essai différentes de celles de la CEI 61000-4-3 et de la CISPR 16-2. Les autres méthodes peuvent être utilisées en consultation avec le CISPR et le CE 77, si les comités de produits en décident ainsi.

2 Références

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60050(161):1990, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 161: Compatibilité électromagnétique*

CEI 60068-1, *Essais d'environnement – Partie 1: Généralités et guide*

CEI 61000-4-3, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-3: Techniques d'essai et de mesure – Essais d'immunité aux champs électromagnétiques rayonnés aux fréquences radioélectriques*

CEI 61000-4-6, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-6: Techniques d'essai et de mesure – Immunité aux perturbations conduites, induites par les champs radioélectriques*

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –

Part 4-21: Testing and measurement techniques – Reverberation chamber test methods

1 Scope

This part of IEC 61000 considers immunity and wanted and unwanted emissions tests for electric and/or electronic equipment and screening effectiveness tests. Only radiated phenomena are considered. It establishes the required test procedures for using reverberation chambers for performing radiated immunity, radiated emissions and screening effectiveness testing.

The object of this part is to establish a common reference for using reverberation chambers to evaluate the performance of electric and electronic equipment when subjected to radio-frequency electromagnetic fields and for determining the levels of radio-frequency radiation emitted from electric and electronic equipment.

NOTE Test methods are defined in this part for measuring the effect of electromagnetic radiation on equipment and the electromagnetic emissions from equipment concerned. The simulation and measurement of electromagnetic radiation is not adequately exact for quantitative determination of effects. The test methods defined are structured for the primary objective of establishing adequate repeatability of results at various test facilities for qualitative analysis of effects.

This part of IEC 61000 does not intend to specify the tests to be applied to particular apparatus or system(s). Its main aim is to give a general basic reference to all concerned product committees of the IEC. The product committees are to select emission limits and test methods in consultation with CISPR. The product committees remain responsible for the appropriate choice of the immunity tests and the immunity test limits to be applied to their equipment. This part of IEC 61000 describes other test methods than IEC 61000-4-3 and CISPR 16-2. The other methods may be used in consultation with CISPR and TC 77, if so specified by product committees.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60050(161):1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 161: Electromagnetic compatibility*

IEC 60068-1, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*

IEC 61000-4-3, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test*

IEC 61000-4-6, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-6: Testing and measurement techniques – Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields*

CISPR 16-1, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques*

CISPR 16-2, *Spécifications pour les appareils et méthodes de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité – Partie 2: Méthodes de mesure des perturbations et de l'immunité*

3 Définitions et acronymes

3.1 Définitions

Pour les besoins de la présente partie de la CEI 61000-4, les définitions données dans la CEI 60050(161), ainsi que les suivantes, s'appliquent.

3.1.1

antenne

partie d'une installation d'émission ou de réception d'ondes radioélectriques destinée à assurer le couplage nécessaire entre un émetteur ou un récepteur et le milieu où se propagent les ondes radioélectriques.

[VEI 712-01-01]

NOTE Pour les besoins de la présente procédure, on estime que les antennes ont un rendement de 75 % ou plus.

3.1.2

onde électromagnétique

variations de l'état d'un milieu matériel ou du vide, caractérisées par un champ électromagnétique variable dans le temps et se déplaçant à une vitesse qui est déterminée en chaque point et dans chaque direction par les propriétés du milieu

NOTE Une onde électromagnétique est engendrée par des variations de charges électriques ou de courants électriques.

[VEI 121-11-63]

3.1.3

région de champ lointain

région de l'espace où les composantes prépondérantes du champ électromagnétique sont celles qui correspondent à une propagation d'énergie et où la répartition du champ en fonction de la direction est pratiquement indépendante de la distance à l'antenne

NOTE 1 Dans la région de champ lointain, toutes les composantes du champ décroissent de façon inversement proportionnelle à la distance à l'antenne.

NOTE 2 Pour une antenne à rayonnement transversal dont la dimension maximale, D , est grande par rapport à la longueur d'onde, λ , on considère généralement que la région de champ lointain est située au-delà d'une distance à l'antenne $2D^2/\lambda$ dans la direction du maximum de rayonnement.

[VEI 712-02-02]

3.1.4

intensité du champ

mesure réalisée en champ lointain, soit de la composante électrique, soit de la composante magnétique du champ, et exprimée en V/m ou en A/m; chacune de ces mesures peut être convertie dans l'autre

NOTE Pour les mesures effectuées en champ proche, on utilise le terme «champ électrique» ou «champ magnétique» selon que le champ mesuré est, respectivement, le champ électrique ou le champ magnétique résultant. Dans cette région de champ, la relation entre le champ électrique et le champ magnétique et la distance, est complexe et difficile à prévoir, dans la mesure où elle dépend de la configuration particulière concernée. Etant donné qu'il n'est généralement pas faisable de déterminer la relation entre phases temporelle et spatiale des différentes composantes du champ complexe, la densité de flux de puissance du champ est de la même façon indéterminée.

CISPR 16-1, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus*

CISPR 16-2, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 2: Methods of measurement of disturbances and immunity*

3 Definitions and acronyms

3.1 Definitions

For the purposes of this part of IEC 61000-4, the following definitions, together with those in IEC 60050(161) apply.

3.1.1

antenna

that part of a radio transmitting or receiving system which is designed to provide the required coupling between a transmitter or a receiver and the medium in which the radio wave propagates

[IEV 712-01-01]

NOTE For the purpose of this procedure antennas are assumed to have an efficiency of 75 % or greater.

3.1.2

electromagnetic (EM) wave

variations of the conditions of a material medium or vacuum, characterized by a time-varying electromagnetic field, and moving with a velocity defined at each point and in each direction by the properties of the medium

NOTE An electromagnetic wave is produced by variations of electric charges or of electric currents.

[IEV 121-11-63]

3.1.3

far field region

that region of the electromagnetic field of an antenna wherein the predominant components of the field are those which represent a propagation of energy and wherein the angular field distribution is essentially independent of the distance from the antenna

NOTE 1 In the far field region, all the components of the electromagnetic field decrease in inverse proportion to the distance from the antenna.

NOTE 2 For a *broadside* antenna having a maximum overall dimension, D , which is large compared to the wavelength, λ , the far field region is commonly taken to exist at distances greater than $2D^2/\lambda$ from the antenna in the direction of maximum radiation.

[IEV 712-02-02]

3.1.4

field strength

measurement, made in the far field, of either the electric or the magnetic component of the field and expressed as V/m or A/m; any one of these measurements may be converted into the others

NOTE For measurements made in the near field, the term "electric field strength" or "magnetic field strength" is used according to whether the resultant electric or magnetic field, respectively, is measured. In this field region, the relationship between the electric and magnetic field strength and distance is complex and difficult to predict, being dependent on the specific configuration involved. Inasmuch as it is not generally feasible to determine the time and space phase relationship of the various components of the complex field, the power flux density of the field is similarly indeterminate.

La définition de la norme IEEE 100 est la suivante:

intensité du champ

(onde électromagnétique) terme général qui désigne habituellement l'amplitude du vecteur champ électrique, communément exprimée en V/m, mais qui peut également désigner l'amplitude du vecteur champ magnétique, communément exprimée en A/m

NOTE Aux fréquences supérieures à environ 100 MHz et en particulier au-delà de 1 000 MHz, le champ de la zone lointaine est quelquefois identifié avec une densité de flux de puissance P . Pour une onde polarisée de manière linéaire dans l'espace $P = E^2 \left(\sqrt{\mu_v/\epsilon_v} \right)$,

où

E est le champ électrique, et

μ_v et ϵ_v sont les constantes magnétique et électrique de l'espace libre, respectivement.

Lorsque P est exprimée en W/m² et E en V/m, le dénominateur est souvent arrondi à 120π . Voir également: champ électrique; champ magnétique; système de mesure.

3.1.5 polarisation

$\vec{P}$

en un point donné dans un domaine de volume quasi infinitésimal V , grandeur vectorielle égale au moment dipolaire électrique de vecteur $\vec{p}$ de la substance contenue dans le domaine divisée par le volume V

$$\vec{P} = \frac{\vec{p}}{V} \quad (1)$$

NOTE 1 La polarisation électrique, $\vec{P}$, vérifie la relation

$$D = \epsilon_0 E + P \quad (2)$$

où

D est la densité de flux électrique,

E est le champ électrique,

ϵ_0 est la constante électrique.

[VEI 121-11-37 modifiée]

NOTE 2 La polarisation magnétique (symboles B_i , J) est la grandeur vectorielle égale au produit de l'aimantation M par la constante magnétique μ_0

$$J = \mu_0 M \quad (3)$$

[VEI 121-11-54]

3.1.6 chambre réverbérante

enceinte blindée qui est généralement équipée de brasseurs mécaniques qui modifient (brassent) la structure interne des champs électromagnétiques et, par conséquent, transforment la structure des champs électromagnétiques à l'intérieur de l'enceinte

NOTE Les essais en chambre réverbérante peuvent être décrits comme un processus stochastique au cours duquel les brasseurs mécaniques «brassent» les «modes» à l'intérieur de l'enceinte. Ces chambres sont également appelées chambres à brassage de modes.

The IEEE Std 100 definition is as follows:

field strength

(electromagnetic wave) A general term that usually means the magnitude of the electric field vector, commonly expressed in V/m, but that may also mean the magnitude of the magnetic field vector, commonly expressed in A/m.

NOTE At frequencies above about 100 MHz, and particularly above 1 000 MHz, field strength in the far zone is sometimes identified with power flux density P . For a linearly polarized wave in free space $P = E^2 \left(\sqrt{\mu_0/\epsilon_0} \right)$, where

E is the electric field strength, and

μ_0 and ϵ_0 are the magnetic and electric constants of free space, respectively.

When P is expressed in W/m² and E in V/m, the denominator is often rounded off to 120π . See also: electric field strength; magnetic field strength; measurement system.

3.1.5

polarization

$\vec{P}$

at a given point within a domain of quasi-infinitesimal volume V , vector quantity equal to the vector electric dipole moment $\vec{p}$ of the substance contained within the domain divided by the volume V

$$\vec{P} = \frac{\vec{p}}{V} \quad (1)$$

NOTE 1 The electric polarization, $\vec{P}$, satisfies the relation

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \quad (2)$$

where

$\vec{D}$ is the electric flux density,

$\vec{E}$ the electric field strength, and

ϵ_0 the dielectric constant.

[IEV 121-11-37, modified]

NOTE 2 Magnetic polarization (symbols B_i , J) is the vector quantity equal to the product of the magnetization, M , and magnetic constant, μ_0 .

$$\vec{J} = \mu_0 \vec{M} \quad (3)$$

[IEV 121-11-54]

3.1.6

reverberation chamber

shielded enclosure that is generally equipped with mechanical tuners/stirrers which change (stir) the boundary conditions within the enclosure and, thus, alter the structure of the electromagnetic fields within the enclosure

NOTE Testing in a reverberation chamber can be described as a stochastic process in which the mechanical tuners/stirrers “stir” the “modes” inside the enclosure. The chambers are also called stirred-mode, mode-stirred or mode-tuned chambers.

3.1.7

facteur de qualité de la chambre réverbérante

Q

le facteur de qualité de la chambre ou «Q» est une mesure de la qualité de stockage de l'énergie de la chambre (voir A.6 [2]¹⁾). Pour une chambre donnée, Q varie en fonction de la fréquence et peut être calculé comme suit:

$$Q = \frac{16\pi^2 V}{\eta_{Tx} \eta_{Rx} \lambda^3} \left\langle \frac{P_{MoyRec}}{P_{Entrée}} \right\rangle \quad (4)$$

où

V est le volume de la chambre (m³),

λ est la longueur d'onde (m),

$\langle P_{MoyRec}/P_{Entrée} \rangle$ est le rapport de la puissance moyenne reçue sur la puissance d'entrée, sur une séquence complète du brasseur

η_{Tx} et η_{Rx} sont les facteurs de rendement de l'antenne pour les antennes d'émission (Tx) et de réception (Rx), respectivement. (Si les données des fabricants ne sont pas disponibles, alors on peut estimer le rendement à 0,75 pour les antennes log périodiques et à 0,9 pour les antennes cornets.)

3.1.8

largeur de bande du coefficient Q de chambre réverbérante (BW_Q)

mesure de la largeur de bande de fréquence sur laquelle les modes sont corrélés dans une chambre réverbérante (voir A.2). La BW_Q d'une chambre réverbérante peut être calculée en utilisant l'expression suivante:

$$BW_Q = f/Q \quad (5)$$

où

f est la fréquence

Q est le facteur de qualité de la chambre réverbérante, défini en 3.1.7.

3.1.9

dysfonctionnement

interruption de la capacité d'un matériel à exécuter des fonctions prévues ou exécution par le matériel de fonctions non prévues

3.1.10

émissions rayonnées

toute émission désirée ou non désirée provenant d'un dispositif électrique

3.1.11

brasseur

dispositif mécanique élaboré à partir de matériaux électriquement conducteurs, qui modifient les conditions électromagnétiques limitées à l'intérieur des chambres réverbérantes

NOTE En général, une chambre réverbérante est une enceinte blindée dont la dimension la plus faible est importante par rapport à la longueur d'onde à la fréquence utilisable la plus faible. La chambre est normalement équipée d'un dispositif mécanique de brassage dont les dimensions sont une partie significative des dimensions de la chambre et de la longueur d'onde à la fréquence utilisable la plus faible. Lorsque la chambre est excitée avec une énergie radioélectrique, l'environnement électromagnétique multi-modes qui en résulte peut être «brassé» par le brasseur mécanique. L'environnement qui en résulte est statistiquement uniforme et isotrope (ce qui signifie que l'énergie est arrivée de tous les angles d'exposition et à toutes les polarisations), lorsqu'on établit une moyenne sur un nombre suffisant de positions du brasseur mécanique.

1) Les chiffres entre crochets renvoient à l'Article « Documents de référence », à la fin de l'Annexe indiquée.

3.1.7**reverberation chamber quality factor****Q**

the chamber quality factor or “Q” is a measure of how well the chamber stores energy (see A.6[2]¹⁾). For a given chamber, Q varies as a function of frequency and can be calculated using the following:

$$Q = \frac{16\pi^2 V}{\eta_{Tx} \eta_{Rx} \lambda^3} \left\langle \frac{P_{AveRec}}{P_{input}} \right\rangle \quad (4)$$

where

V is the chamber volume (m³),

λ is the wavelength (m),

$\langle P_{AveRec}/P_{input} \rangle$ is the ratio of the average received power to the input power over one complete tuner/stirrer sequence, and

η_{Tx} and η_{Rx} are the antenna efficiency factors for the Transmit (Tx) and Receive (Rx) antennas, respectively. (If manufacturer's data is not available then the efficiency can be assumed to be 0,75 for log periodic antennas and 0,9 for horn antennas.)

3.1.8**reverberation chamber Q-bandwidth (BW_Q)**

the BW_Q is a measure of the frequency bandwidth over which the modes in a reverberation chamber are correlated (see Clause A.2). The BW_Q of a reverberation chamber can be calculated using the following:

$$BW_Q = f/Q \quad (5)$$

where

f is the frequency, and

Q is the quality factor defined in 3.1.7.

3.1.9**malfunction**

termination of the ability of an equipment to carry out intended functions or the execution of unintended functions by the equipment

3.1.10**radiated emissions**

any wanted or unwanted emission from an electrical device

3.1.11**tuner/stirrer**

mechanical device constructed from electrically conductive material which alters the electromagnetic boundary conditions within reverberation chambers

NOTE In general, a reverberation chamber is a shielded enclosure with the smallest dimension being large with respect to the wavelength at the lowest useable frequency. The chamber is normally equipped with a mechanical tuning/stirring device whose dimensions are a significant fraction of the chamber dimensions and of the wavelength at the lowest useable frequency. When the chamber is excited with RF energy, the boundary conditions of the resulting multi-mode electromagnetic environment can be “altered” by the mechanical tuner/stirrer. The resulting environment is statistically uniform and statistically isotropic (i.e., the energy having arrived from all aspect angles and at all polarizations) when averaged over a sufficient number of positions of the mechanical tuner/stirrer.

¹⁾ Numbers in brackets refer to the reference documents in the respective annexes.

3.2 Acronymes

Seuls les acronymes utilisés dans le texte de la version française de la présente partie sont repris ci-dessous, ceux utilisés dans les équations étant explicités à la suite de ces dernières:

CEI	Commission Electrotechnique Internationale
CEM	Compatibilité électromagnétique
CISPR	Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques
EST	Matériel en essai
NOTE EST est l'abréviation de «équipement sous test», déconseillé sous cette forme.	
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISO	International Standardization Organization
JTF	Joint Task Force
NIST	National Institute of Standards and Technology
VEI	Vocabulaire Electrotechnique International

4 Généralités

La plupart des matériels électroniques sont, d'une manière ou d'une autre, affectés par des rayonnements électromagnétiques. Ces rayonnements sont fréquemment générés par des sources comme les émetteurs-récepteurs radios portatifs de petite taille qui sont utilisés par le personnel d'exploitation, de maintenance et de sécurité, par les émetteurs de radio et de télévision à station fixe, par les émetteurs radios à bord des véhicules, et par différentes sources électromagnétiques industrielles.

Les champs électromagnétiques de niveau élevé sont générés facilement et en toute sécurité en utilisant des chambres réverbérantes. Le facteur de qualité élevé désigné par la lettre «Q» de la plupart des chambres, permet la génération de champs relativement élevés avec des puissances d'entrée de niveau modéré, et l'absence d'absorbants rend la génération des niveaux de champs élevés plus sûre dans la mesure où le risque d'enflammer les absorbants est éliminé.

Outre l'énergie électromagnétique générée volontairement, il existe également des perturbations rayonnées causées par des dispositifs tels les soudeuses, les thyristors, les éclairages fluorescents, les interrupteurs fonctionnant sur charges inductives, etc. Pour la plus grande partie, cette perturbation se manifeste comme une perturbation électrique conduite et, en tant que telle, elle est couverte par d'autres parties de la CEI 61000-4. Cependant, la présente norme traite de la manière de mesurer les émissions rayonnées par de tels dispositifs. Les méthodes employées pour empêcher les effets des champs électromagnétiques réduiront normalement aussi les effets provenant de ces sources.

L'environnement électromagnétique est déterminé par le champ électromagnétique (champ électrique en V/m et champ magnétique en A/m). Le champ n'est pas facilement mesurable sans des appareils sophistiqués, et n'est pas non plus facilement calculable avec des équations et des formules classiques, en raison des effets des structures environnantes ou de la proximité d'autres matériels, qui vont déformer et/ou renvoyer les ondes électromagnétiques.

3.2 Acronyms

ACF	Antenna Calibration Factor
CCF	Chamber Calibration Factor
CDF	Cumulative Distribution Function
CISPR	Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques
CLF	Chamber Loading Factor
CW	Continuous Wave
EM	Electromagnetic
EMC	Electromagnetic Compatibility
EMI	Electromagnetic Interference
EUT	Equipment Under Test
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEV	International Electrotechnical Vocabulary
IF	Image Frequency
IL	Insertion Loss
ISO	International Standardization Organization
JTF	Joint Task Force
LUF	Lowest Usable Frequency
NIST	National Institute of Standards and Technology
OATS	Open Area Test Site
PDF	Probability Density Function
RE	Radiated Emissions
RF	Radio Frequency
RMS	Root Mean Square
RSS	Root Sum of the Squares
Rx	Receive (antenna)
SE	Shielding Effectiveness
SW	Square Wave modulation
TFCF	Test Fixture Calibration Factor
Tx	Transmit (antenna)

4 General

Most electronic equipment is, in some manner, affected by electromagnetic radiation. This radiation is frequently generated by such sources as the small hand-held radio transceivers that are used by operating, maintenance and security personnel, fixed-station radio and television transmitters, vehicle radio transmitters and various industrial electromagnetic sources.

High-level electromagnetic fields are easily and safely generated using reverberation chambers. The high quality factor or “Q” of most chambers allows fairly high field strengths to be generated with moderate input powers, and the absence of absorber makes generation of high field levels safer as the risk of igniting absorbers is eliminated.

In addition to electromagnetic energy deliberately generated, there are also radiated disturbances caused by devices such as welders, thyristors, fluorescent lights, switches operating inductive loads, etc. For the most part, this disturbance manifests itself as conducted electrical disturbance and, as such, is dealt with in other parts of IEC 61000-4. However, this standard does deal with how to measure radiated emissions from such devices. Methods employed to prevent effects from electromagnetic fields will normally also reduce the effects from these sources.

The electromagnetic environment is determined by the strength of the electromagnetic field (electric field strength in V/m and magnetic field in A/m). The field strength is not easily measured without sophisticated instrumentation nor is it easily calculated by classical equations and formulae because of the effect of surrounding structures or the proximity of other equipment that will distort and/or reflect the electromagnetic waves.

5 Environnements d'essai et limitations

La méthode de la chambre de réverbération est adaptée pour réaliser les essais des niveaux de champs extrêmement faibles aux niveaux les plus élevés. En raison du niveau de séparation élevé avec l'environnement ambiant, les essais d'émission et d'immunité peuvent être réalisés pour la plupart des exigences commerciales sans limitations.

Comme indiqué à l'Annexe A, la gamme de fréquences des essais est déterminée par la taille et la construction de la chambre, et par l'efficacité du ou des dispositifs mécaniques de brassage. On fait normalement fonctionner les chambres réverbérantes de la taille de pièces (par exemple volumes entre 75 m³ et 100 m³) de 200 MHz à 18 GHz sans limitations. Le fonctionnement à moins de 200 MHz exige des chambres de taille supérieure au local blindé habituel. Actuellement, la CEI fixe la fréquence de transition entre essais rayonnés et essais conduits à 80 MHz pour les essais d'immunité.

NOTE La CEI 61000-4-6 définit également les méthodes d'essai pour établir l'immunité des matériels électriques et électroniques à l'énergie électromagnétique conduite. Elle couvre les fréquences inférieures à 80 MHz.

6 Applications

6.1 Immunité rayonnée

L'utilisation de chambres réverbérantes pour réaliser les essais d'immunité rayonnée est traitée à l'Annexe D. Cette annexe couvre le montage d'essai, l'étalonnage de la chambre, et les procédures d'essai. L'injection d'un niveau prédéterminé de puissance radioélectrique dans la chambre génère les champs désirés à l'intérieur de celle-ci. Ce niveau prédéterminé de puissance radioélectrique est déduit des données d'étalonnage de la chambre qui sont décrites aux Annexes B et/ou C.

6.2 Emissions rayonnées

L'utilisation de chambres réverbérantes pour mesurer les émissions rayonnées (à la fois intentionnelles et non intentionnelles) est couverte par l'Annexe E. La méthode décrite mesure la quantité de puissance radioélectrique rayonnée par le matériel en essai à l'intérieur de la largeur de bande de mesure. Comme pour les essais d'immunité rayonnée, les données d'étalonnage de chambre décrites aux Annexes B et/ou C sont utilisées pour déterminer les niveaux d'émissions rayonnées.

6.3 Mesures de l'efficacité d'écran

Trois annexes sont dédiées à la réalisation des essais d'efficacité d'écran. Les mesures d'efficacité d'écran des assemblages de câbles, des câbles, des connecteurs, des guides d'ondes et des composants passifs hyperfréquence sont décrites à l'Annexe F. L'Annexe G couvre l'efficacité d'écran des joints d'étanchéité et des matériaux. L'approche décrite à l'Annexe G utilise une méthodologie dite de la «chambre imbriquée» (par exemple, une chambre réverbérante à l'intérieur d'une chambre réverbérante). Cette annexe couvre également l'étalonnage des aménagements d'essai qui sont généralement nécessaires pour réaliser les mesures d'écran sur les joints d'étanchéité et les matériaux. Des différences mineures dans la conception/la construction des aménagements d'essai peuvent avoir une influence importante sur les résultats d'essai. Il est nécessaire que les matériaux des aménagements, l'espacement des boulons, les finitions de surface, les réglages de couple, etc. soient tous contrôlés afin d'obtenir des résultats reproductibles. En raison du grand nombre de variations qui seraient nécessaires pour couvrir les nombreux joints d'étanchéité et matériaux différents qui nécessitent une évaluation, cette annexe ne contient pas de lignes directrices détaillées pour la conception des aménagements d'essai. L'Annexe H couvre les mesures d'efficacité d'écran des enceintes. Comme à l'Annexe G, la méthodologie décrite à l'Annexe H utilise l'approche de la «chambre imbriquée».

5 Test environments and limitations

The reverberation chamber method is suitable for performing testing from extremely low to extremely high field levels. Due to the high level of separation from the ambient environment, both emissions and immunity tests can be performed for most commercial requirements without limitations.

As stated in Annex A, the frequency range of tests is determined by the size and construction of the chamber and the effectiveness of the mechanical tuner(s). Room-sized reverberation chambers (e.g., volumes of between 75 m³ to 100 m³) are typically operated from 200 MHz to 18 GHz without limitations. Operations below 200 MHz require chambers that are larger than the typical shielded room. At present, the IEC sets the transition frequency between radiated and conducted testing at 80 MHz for immunity testing.

NOTE IEC 61000-4-6 also defines test methods for establishing the immunity of electrical and electronic equipment against conducted electromagnetic energy. It covers frequencies below 80 MHz.

6 Applications

6.1 Radiated immunity

The use of reverberation chambers for performing radiated immunity testing is covered in Annex D. This Annex covers test set-up, chamber calibration, and test procedures. Injecting a predetermined level of RF power into the chamber generates the desired field strengths within the chamber. This predetermined level of RF power is derived from chamber calibration data described in Annexes B and/or C.

6.2 Radiated emissions

Using reverberation chambers to measure radiated emissions (both intentional and unintentional) is covered in Annex E. The method described measures the amount of RF power radiated by the EUT within the measurement bandwidth. As with radiated immunity testing, chamber calibration data described in Annexes B and/or C is used to determine radiated emissions levels.

6.3 Screening effectiveness measurements

Three annexes are devoted to conducting screening effectiveness measurements. Screening effectiveness measurements of cables assemblies, cables, connectors, waveguides and passive microwave components are described in Annex F. Annex G covers screening effectiveness of gaskets and materials. The approach outlined in Annex G uses a “nested chamber” methodology (e.g., a reverberation chamber within a reverberation chamber). This annex also covers calibration of test fixtures that are usually necessary for conducting screening measurements on gaskets and materials. Minor differences in test fixture design/construction can have significant influence on test results. Fixture materials, bolt spacing, surface finishes, torque settings, etc. must all be controlled in order to get repeatable results. Due to the large number of variations that would be needed in order to accommodate the many different gaskets and materials that require evaluation, this annex does not contain detailed design guidance for test fixtures. Annex H covers screening effectiveness measurements of enclosures. As in Annex G, the methodology described in Annex H uses the “nested chamber” approach.

7 Matériels d'essai

Les types suivants de matériels d'essai sont recommandés:

- *Chambre réverbérante*: d'une taille adaptée pour maintenir un environnement électromagnétique multimodal par rapport à la fréquence d'essai la plus faible.
- *Dispositif(s) mécanique(s) de brassage*: avec une dimension d'au moins 1/4 de longueur d'onde à la fréquence la plus faible. Il convient que chaque brasseur soit aussi grand que possible par rapport à la taille de la chambre globale, pour qu'une dimension soit au moins égale aux 3/4 de la dimension la plus faible de la chambre. En outre, il convient que chaque brasseur soit formé de manière à obtenir une distribution de champ non répétitive sur une révolution du brasseur.
- *Antennes émettrices (voir Annexe B)*: système d'antenne log périodique ou tout autre système à polarisation linéaire répondant aux exigences de fréquence et évitant l'éclairage direct du volume d'essai.
- *Antennes de champ de référence (voir Annexe B)*: système d'antenne log périodique ou tout autre système d'antenne à polarisation linéaire répondant aux exigences de fréquence.
- *Sonde de contrôle de champ isotrope (voir Annexe B)*: capable de contrôler le champ électrique le long des 3 axes orthogonaux. Tout circuit de tête de sonde et tout système optoélectronique doit avoir une immunité appropriée au champ à mesurer et une liaison à fibre optique avec l'indicateur situé à l'extérieur de la chambre. Il est également possible d'utiliser une liaison correctement filtrée.

NOTE 1 Les chambres réverbérantes exigent une sonde de champ qui permet la mesure du champ électrique de manière individuelle dans les 3 axes orthogonaux. Si une petite antenne à un seul axe est utilisée, il est nécessaire qu'elle soit repositionnée pour mesurer chaque composante de champ séparément.

- *Antenne de contrôle du champ* qui est une antenne dipolaire (étalonnée) (c'est-à-dire, inférieure à $0,1 \lambda$), qui peut remplacer la sonde sous réserve que l'antenne soit positionnée à 3 orientations non coplanaires (mutuellement perpendiculaires de préférence) pour chaque emplacement de mesure. Il convient de veiller à maintenir l'équilibre de cette antenne par rapport à son câble d'alimentation.
- *Filtres contre le brouillage électromagnétique*: il convient de prendre des précautions pour que les filtres n'introduisent pas d'autres effets de résonance sur les lignes connectées.
- *Générateur(s) de signaux à fréquences radioélectriques* capable(s) de couvrir la gamme de fréquences concernée et qui, s'il est utilisé pour des essais d'immunité, peut être modulé en amplitude par une onde sinusoïdale de 1 kHz avec un taux de modulation de 80 %. Ils doivent, soit comporter une capacité de balayage automatique de $(1,5 \times 10^{-3})$ décades/s ou plus lente, soit, dans le cas des synthétiseurs RF, pouvoir être programmés par pas de fréquence et temps de maintien. Ils doivent également pouvoir être réglés manuellement.

NOTE 2 Les comités de produits peuvent choisir des procédés alternatifs de modulation.

L'utilisation de filtres passe-bas ou passe-bande peut être nécessaire pour éviter des problèmes dus aux harmoniques sur les matériels de contrôle recevant les signaux.

- *Amplificateurs de puissance*: pour amplifier le signal (non modulé et modulé) et fournir à l'antenne émettrice la puissance nécessaire pour obtenir le niveau de champ nécessaire. Les harmoniques et la distorsion produits par l'amplificateur de puissance doivent se situer à un niveau inférieur ou égal à 15 dB en dessous du niveau de la porteuse.

AVERTISSEMENT – Des réflexions élevées sont présentes dans les essais en chambre réverbérante, une protection de l'amplificateur peut être nécessaire.

- *Équipement associé pour enregistrer les niveaux de puissance* nécessaires à la valeur du champ requis et pour contrôler la génération de ce niveau pour les essais.
- *Équipement associé pour enregistrer les niveaux de puissance* associés aux limites d'émission exigées.

On doit veiller à assurer une immunité appropriée des équipements auxiliaires.

7 Test equipment

The following types of test equipment are recommended.

- *Reverberation chamber*: of a size adequate to maintain a multi-mode electromagnetic environment with respect to the lowest test frequency.
- *Mechanical tuner(s)/stirrer(s)*: with one dimension at least one-quarter wavelength at the lowest frequency. Each tuner/stirrer should also be as large as possible with respect to overall chamber size in that one dimension should be at least three-quarters of the smallest chamber dimension. In addition, each tuner/stirrer should be shaped such that a non-repetitive field pattern is obtained over one revolution of the tuner/stirrer.
- *Field generating antennas (see Annex B)*: log periodic or any other linearly polarized antenna system capable of satisfying frequency requirements and avoiding direct illumination of the test volume.
- *Field strength reference antennas (see Annex B)*: log periodic or any other linearly polarized antenna system capable of satisfying frequency requirements.
- *Isotropic field strength monitoring probe (see Annex B)*: capable of monitoring the electric field along all three orthogonal axes. Any probe-head circuitry and opto-electronics shall have adequate immunity to the field strength to be measured, and a fiber-optic link to the indicator outside the chamber. An adequately filtered line may also be used.

NOTE 1 Reverberation chambers require a field probe that allows the electric field to be measured individually along all three orthogonal axes. If a small single-axis antenna is used it must be repositioned to measure each field component separately.

- *Field strength monitoring antenna* that is a small (calibrated) dipole antenna (i.e., less than $0,1\lambda$) may be substituted for the probe, provided that the antenna is positioned at three non-coplanar orientations (mutually perpendicular preferred) for each measurement location. Care should be taken to maintain the balance of this antenna with respect to its feed cable.
- *EMI filters*: care should be taken to ensure that the filters introduce no additional resonance effects on the connected lines.
- *RF signal generator(s)* capable of covering the frequency band of interest and which, if used for immunity testing, can be amplitude modulated by a 1 kHz sinewave to 80 % depth. They shall have either an automated sweep capability of $1,5 \times 10^{-3}$ decade/s or slower or, in the case of RF synthesizers, be capable of being programmed with frequency-dependent step-sizes and dwell times. They shall also be capable of being set manually.

NOTE 2 Product committees may select alternative modulation schemes.

The use of low-pass or band-pass filters may be necessary to avoid problems caused by harmonics to equipment which is intended to receive signals for monitoring purposes.

- *Power amplifiers*: to amplify signal (unmodulated and modulated) and provide antenna drive power to the necessary field level. The harmonics and distortion produced by the power amplifier shall be at a level less than or equal to 15 dB below carrier level.

WARNING – High reflections are present in reverberation chamber tests, amplifier protection may be required.

- *Associated equipment to record the power levels* necessary for the required field strength and to control the generation of that level for testing.
- *Associated equipment to record the power levels* associated with the required emissions limits.

Care shall be taken to ensure adequate immunity of the auxiliary equipment.

8 Etalonnage de chambre

A la suite de la construction initiale ou après toute modification majeure, une technique d'étalonnage de l'uniformité du champ fondée sur les performances, pour démontrer des performances de chambre réverbérante appropriées, est réalisée conformément à l'Annexe B. La procédure est utilisée pour déterminer la fréquence utilisable la plus faible de la chambre réverbérante employée. L'étalonnage de l'uniformité de champ de la chambre décrit doit être réalisé sur un volume d'essai/de travail, qui inclut l'emplacement du banc d'essai et du matériel en essai à l'intérieur de la chambre réverbérante. L'étalonnage de la chambre ne concerne que le fonctionnement en mode accordé (rotation par pas du brasseur) de la chambre réverbérante: le fonctionnement en mode brassé (rotation continue du brasseur) est traité de manière séparée à l'Annexe C. Il convient que la mesure de l'uniformité du champ soit réalisée après retrait de tous les équipements de support (y compris le banc d'essai) de la chambre réverbérante. L'étalonnage doit être réalisé à 8 emplacements selon 3 axes individuels (x, y, z) à chaque emplacement d'essai, c'est-à-dire en 24 points de mesure au total (B.1.1). Le champ à l'intérieur de la chambre est considéré comme uniforme si l'écart type se situe dans les limites de 3 dB au-dessus de 400 MHz, de 4 dB à 100 MHz décroissant linéairement jusqu'à 3 dB à 400 MHz, et dans les limites de 4 dB en dessous de 100 MHz.

La technique d'étalonnage nécessite l'utilisation d'antennes de contrôle à champ linéaire/passif au cours des essais des matériels. Les antennes sont étalonnées par rapport à un capteur de champ E à 3 axes (étalonné en espace libre). Le but de cet aspect de la procédure est de permettre le contrôle continu du champ au cours de l'essai avec une antenne et un matériel de contrôle associé ayant un temps de réponse rapide. L'essai est réalisé de nouveau après retrait du banc de mesure, en même temps que l'essai d'uniformité du champ.

En outre, après la construction initiale ou après une modification importante de la chambre réverbérante, une vérification de l'impact de la charge de la chambre sur l'uniformité de champ est réalisée (B.1.5), ceci pour déterminer la charge maximale acceptable de la chambre en vue des essais ultérieurs.

Avant le début de chaque essai, avec le banc d'essai et l'appareil en essai installés dans la chambre:

- Une mesure de «vérification rapide» des performances de la chambre est réalisée avec le matériel à soumettre aux essais et avec le banc d'essai installés dans la chambre (Article B.2). Cet essai est destiné à confirmer que la charge de la chambre est inférieure à celle simulée au cours de l'étalonnage initial de la chambre.
- Les calculs fondés sur les mesures d'étalonnage sont utilisés pour déterminer la largeur minimale d'impulsion (Article B.3) qui peut être soutenue dans une chambre donnée pour les essais de modulation en impulsion. Si la constante de temps de la chambre est supérieure à 0,4 fois la largeur d'impulsion exigée pour plus de 10 % des fréquences d'essai, on doit ajouter des absorbants ou augmenter la largeur d'impulsion (qui ne doit pas dépasser 100 μ s).

NOTE L'étalonnage de la chambre détaillé décrit à l'Article B.1 est nécessaire uniquement après la construction initiale ou une modification importante de celle-ci. La vérification de la charge maximale de la chambre (A.5.4, B.1.5) est nécessaire uniquement après la construction initiale ou après des modifications importantes de celle-ci. Les changements apportés aux brasseurs sont considérés comme une modification importante s'ils donnent lieu à des changements de l'efficacité du brassage comme indiqué en A.3.

8 Chamber calibration

Following the initial construction or after any major modifications, a performance-based field uniformity calibration technique to demonstrate adequate reverberation chamber performance is carried out in accordance with Annex B. The procedure is used to determine the lowest useable frequency (LUF) of the reverberation chamber employed. The chamber field uniformity calibration described is to be carried out over a test/working volume, which includes the location of the test bench and equipment under test (EUT) within the reverberation chamber. The chamber calibration addresses only mode tuned (stepped tuner rotation) operation of the reverberation chamber: mode-stirred (continuous tuner rotation) operation is addressed separately in Annex C. The field uniformity measurement should be carried out with all support equipment (including the test bench) removed from the reverberation chamber. The calibration is to be carried out at 8 locations for 3 individual axes (x, y, z) at each test location, i.e., 24 measurement points in total (B.1.1). The field within the chamber is considered uniform if the standard deviation is within 3 dB above 400 MHz, 4 dB at 100 MHz decreasing linearly to 3 dB at 400 MHz, and within 4 dB below 100 MHz.

The calibration technique requires the use of linear/passive field monitoring antennas during EUT testing. The antennas are calibrated against a three-axis *E*-field sensor (calibrated in free space). The purpose of this aspect of the procedure is to allow continuous monitoring of the field during the test with an antenna and associated monitoring equipment with a fast response time. Again, this test is performed with the measurement bench removed and performed at the same time as the field uniformity test.

In addition, following initial construction or after major modification to the reverberation chamber a check on the impact on field uniformity of chamber loading is performed (B.1.5) to determine the maximum acceptable loading of the chamber for future testing.

Prior to the start of each test with the test bench and EUT installed in the chamber, the following is carried out:

- A “quick check” chamber performance measurement is made with the equipment to be tested and test bench installed in the chamber (B.2). The purpose of this test is to confirm that the loading of the chamber is less than that simulated during the initial chamber calibration.
- Calculations based on the calibration measurements are used to determine the minimum pulse width (B.3) that can be sustained in a given chamber for pulse modulation testing. If the chamber time constant is greater than 0,4 times the required pulse width for more than 10 % of the test frequencies, absorbers shall be added or the pulse width increased (not to exceed 100 µs).

NOTE The chamber calibration detailed in clause B.1 need only be undertaken after initial chamber construction, and after major modification to the reverberation chamber. The maximum chamber loading verification (A.5.4, B.1.5) need only be undertaken after initial chamber construction or after major modifications to the reverberation chamber. Changes to the tuners/stirrers are considered a major modification if the changes result in changes in tuner efficiency as outlined in clause A.3.

9 Essais

Le montage et les procédures d'essai dépendent du type d'essai réalisé. Se référer à l'annexe qui concerne le type d'essai réalisé pour déterminer les prescriptions d'essai pour un essai spécifique.

Se référer à l'annexe qui appartient au type de méthodologie d'essai désiré (à savoir à brassage de modes pas à pas ou continu). Pour les lignes directrices concernant l'applicabilité du brassage de modes pas à pas par rapport au brassage de modes continu, se référer aux Annexes A et C.

10 Résultats d'essai, rapport d'essai et conditions d'essai

Les essais doivent être réalisés conformément à un plan d'essai qui doit être inclus dans le rapport d'essai.

Les résultats d'essai et les prescriptions concernant le rapport dépendent du type d'essai réalisé. Se référer à l'annexe qui concerne le type d'essai réalisé pour déterminer ce qu'il est nécessaire d'inclure dans le rapport d'essai.

Sauf spécification contraire dans le plan d'essai, les essais doivent être réalisés dans les conditions climatiques normales conformément à la CEI 60068-1.

9 Testing

Test set-up and procedures are dependent upon the type of test being performed. Refer to the annex that pertains to the type of test being performed to determine the test requirements for a specific test.

Refer to the annex that pertains to the type of test methodology desired (i.e., mode-tuned or mode-stirred). For guidance on applicability of mode-tuning versus mode-stirring, refer to Annexes A and C.

10 Test results, test report and test conditions

Testing shall be performed according to a test plan, which shall be included in the test report.

Test results and reporting requirements are dependent upon the type of test being performed. Refer to the annex that pertains to the type of test being performed to determine what needs to be included in the test report.

Unless otherwise stated in the test plan, tests shall be carried out in standard climatic conditions in accordance with IEC 60068-1.

Withdrawing
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61000-4-21:2003

Annexe A (informative)

Vue d'ensemble de la chambre réverbérante

A.1 Introduction

Les recherches concernant les chambres réverbérantes ont été menées depuis plus de 20 ans et ont permis une avancée significative dans la compréhension de la méthodologie [1]²⁾, [2], [3]. Bien qu'à l'origine ces recherches aient été destinées à mesurer l'efficacité d'écran des câbles, des connecteurs et des enceintes (voir [17]), le domaine d'application de ces travaux a été étendu pour inclure les essais de susceptibilité des matériels électroniques, les essais d'immunité des matériels et les essais d'émissions.

Une chambre réverbérante est une cavité ou une chambre fermée, électriquement de grande taille, à conductivité élevée, utilisée pour réaliser les mesures électromagnétiques (à la fois d'émission et d'immunité) sur les matériels électroniques. Toute installation qui correspond à cette description peut être considérée comme une chambre réverbérante (également appelée chambre à brassage de modes). Cependant, d'autres conditions peuvent être nécessaires avant qu'une telle installation puisse être utilisée avec une incertitude acceptable [4].

En général, une chambre réverbérante est une enceinte blindée dont la dimension la plus faible est importante par rapport à la longueur d'onde à la fréquence utilisable la plus faible. La chambre est normalement équipée d'un dispositif mécanique brasseur dont les dimensions sont une partie significative des dimensions de la chambre et de la longueur d'onde à la fréquence utilisable la plus faible. Lorsque la chambre est excitée avec une énergie radioélectrique, l'environnement électromagnétique multi-modes qui en résulte peut être «brassé» par le brasseur mécanique. L'environnement qui en résulte est statistiquement uniforme et isotrope (ce qui signifie que l'énergie est arrivée de tous les angles d'exposition et de toutes les polarisations) lorsqu'on établit une moyenne sur un nombre suffisant de positions du brasseur mécanique. Par «nombre suffisant,» on entend le nombre de pas du dispositif de brassage nécessaires pour donner l'uniformité de champ spécifiée. Pour obtenir un environnement statistiquement uniforme et isotrope aussi, des moyens autres que les dispositifs mécaniques de brassage peuvent être acceptables.

La densité de mode de la chambre et l'efficacité du brasseur mécanique déterminent la fréquence utilisable la plus faible. On accepte généralement que cette fréquence soit celle à laquelle la chambre satisfait aux prescriptions de fonctionnement. Cette fréquence apparaît généralement à une fréquence légèrement supérieure à 3 fois la première résonance de la chambre. En pratique, la taille de la chambre, l'efficacité des brasseurs et le facteur de qualité de la chambre, déterminent la fréquence utilisable la plus faible. Pour la procédure de la chambre réverbérante décrite dans la présente norme, il s'agit de la fréquence la plus faible à laquelle l'uniformité de champ spécifiée peut être obtenue, sur un volume défini par un jeu de données d'étalonnage à 8 emplacements.

Le facteur de qualité est utilisé pour décrire la capacité d'une chambre ou d'une cavité à stocker l'énergie. La capacité d'une chambre à stocker l'énergie est déterminée par les pertes présentes dans la chambre. La perte dominante dans une chambre vide est celle des parois de la chambre. Plus la conductivité des matériaux utilisés pour construire les parois de la chambre est élevée, plus les pertes de la chambre sont faibles. Les matériaux comme les feuilles de cuivre et d'aluminium offrent la conductivité la plus élevée et donc les pertes les plus faibles. D'autres matériaux comme les feuilles d'acier nues ou peintes ou les feuilles galvanisées sont aussi courants.

²⁾ Les chiffres entre crochets renvoient à l'Article A.6, Documents de référence, à la fin de cette annexe.

Annex A (informative)

Reverberation chamber overview

A.1 Preliminary remarks

Research on reverberation chambers has been performed for more than 20 years and has provided a significant increase in the understanding of the methodology [1]²⁾, [2], [3]. Although the initial intent of this research was for measuring the shielding effectiveness of cables, connectors and enclosures (see [17]), the scope of the work was expanded to include susceptibility testing of electronic equipment, immunity testing of ordnance and emissions testing.

A reverberation chamber is an electrically large, highly conductive enclosed cavity or chamber used to perform electromagnetic (EM) measurements (both emissions and immunity) on electronic equipment. Any facility that fits this description can be considered a reverberation chamber (also called a mode-stirred chamber). Other conditions, however, may be required before such a facility can be used with acceptable uncertainty [4].

In general, a reverberation chamber is a shielded enclosure with the smallest dimension being large with respect to the wavelength at the lowest useable frequency (LUF). The chamber is normally equipped with a mechanical tuning/stirring device whose dimensions are a significant fraction of the chamber dimensions and of the wavelength at the LUF. When the chamber is excited with RF energy, the resulting multi-mode electromagnetic environment can be “stirred” by the mechanical tuner/stirrer. The resulting environment is statistically uniform and statistically isotropic (i.e., the energy having arrived from all aspect angles and at all polarizations) when averaged over a sufficient number of positions of the mechanical tuner/ stirrer. By “sufficient number,” we mean the number of tuner steps required to give the specified field uniformity. To achieve a statistically uniform and statistically isotropic environment also, means other than mechanical tuners may be acceptable.

The chamber mode density and the effectiveness of the mechanical tuner/stirrer determine the LUF. The LUF is generally accepted to be the frequency at which the chamber meets operational requirements. This frequency generally occurs at a frequency slightly above three times the first chamber resonance. In practice the chamber size, tuner/stirrer effectiveness and the chamber quality factor determine the lowest useable frequency. For the reverberation chamber procedure described in this standard, the LUF is the lowest frequency at which, the specified field uniformity can be achieved over a volume defined by an 8-location calibration data set.

Quality factor is used to describe the ability of a chamber or cavity to store energy. The ability of a chamber to store energy is determined by the losses present in the chamber. The dominant loss in an empty chamber is the chamber walls. The higher the conductivity of the materials used to construct the chamber walls the lower the chamber losses. Materials such as copper and aluminium sheet offer the highest conductivity and therefore the lowest losses. Other materials such as bare or painted steel or galvanized sheet are also common.

²⁾ Figures in brackets refer to Clause A.6, Reference documents, at the end of this annex.

Les écrans en cuivre, en aluminium et en métal projeté cependant possèdent des zones de grande surface et ne donnent pas des environnements avec un facteur Q de valeur élevée. Des pertes additionnelles telles que celles dues aux antennes, aux structures de support et au matériel en essai, peuvent également affecter la valeur Q globale de la chambre.

La puissance d'entrée de la chambre ($P_{\text{Entrée}}$) est normalement prise comme étant la puissance incidente délivrée aux bornes de l'antenne. Dans certains cas, il est nécessaire de prendre en compte la puissance réfléchie causée par la désadaptation induite par l'antenne/l'excitation. Dans de tels cas, la puissance d'entrée doit être la puissance d'entrée résultante qui est égale à:

$$P_{\text{résultante}} = P_{\text{incidente}} - P_{\text{réfléchie}} \quad (\text{A.1})$$

La quantité de puissance nécessaire pour générer un champ spécifique à l'intérieur d'une chambre peut être déterminée à partir de l'étalonnage de la chambre vide indiqué à l'Annexe B. Cependant, le matériel en essai, l'équipement support requis, ou tout matériau absorbant présent, peut charger la chambre, réduire la valeur Q de la chambre, et ainsi réduire les champs d'essai pour la même puissance d'entrée. Ainsi, les champs dans une chambre chargée doivent être contrôlés et la puissance d'entrée doit être augmentée, si nécessaire, pour compenser cette charge comme décrit en B.2(7).

Il convient que les brasseurs soient appropriés pour fournir l'uniformité de champ désirée. Dans certaines chambres, il peut être nécessaire d'utiliser des brasseurs multiples pour obtenir l'uniformité de champ désirée aux fréquences exigées. Les moteurs pas à pas ou à commande par ordinateur sont recommandés. Les moteurs continus à vitesse variable sont acceptables, mais il faut que le temps de réponse du matériel en essai soit rapide par rapport à la vitesse du brasseur pour que cette option soit viable. Une méthode d'évaluation des performances des brasseurs est donnée à l'Article A.3.

Dans le passé, les essais étaient réalisés en utilisant 200 échantillons ou pas du dispositif mécanique de brassage [1]. Ceci donnait lieu à des incertitudes (à savoir, un manque d'homogénéité statistique) dans le champ, qui variaient en fonction de la fréquence en raison de l'augmentation de la densité modale aux fréquences plus élevées. Comme représenté à la Figure A.1, l'incertitude d'une chambre type variait de manière considérable en fonction de la fréquence dans la mesure où le nombre de pas du brasseur restait constant. La procédure développée pour la présente norme optimise le nombre de pas ou d'échantillons pour obtenir une incertitude fixe en fonction de la fréquence.

La procédure décrite donne une méthodologie précise et économique pour l'étalonnage des chambres réverbérantes. La procédure est souple dans la mesure où elle permet à un opérateur de régler le nombre de pas du brasseur utilisé pour obtenir l'incertitude du niveau désiré, et aussi d'augmenter au maximum la capacité de la chambre à générer des champs de valeur élevée en augmentant le nombre de pas des brasseurs.

La procédure d'étalonnage impose une prescription sévère à la chambre en cours d'évaluation. Les données exigées entraînent la nécessité pour les champs moyennés dans le temps générés dans le volume d'essai d'être uniformes dans les limites d'une incertitude donnée. Pour s'assurer que cette prescription est satisfaite, 3 mesures sont nécessaires à chacun des 8 emplacements en utilisant 3 orientations perpendiculaires entre elles. Chaque mesure est indépendante, ce qui donne au total 24 mesures à prendre. Une chambre qui passe avec succès la procédure d'étalonnage aura démontré sa capacité à générer l'uniformité de champ exigée.

Copper and aluminium screen and flame spray, however, have large surface areas and do not result in high Q environments. Additional losses such as antennas, support structures and the equipment under test (EUT) also can affect the overall Q of the chamber.

The chamber input power (P_{Input}) is normally taken to be the forward power delivered to the antenna terminals. In some cases it is necessary to take into account the reflected power caused by antenna/excitation induced mismatch. In such cases the input power shall be the net input power which is equal to:

$$P_{\text{Net}} = P_{\text{Forward}} - P_{\text{Reflected}} \quad (\text{A.1})$$

The amount of power needed to generate a specific field inside a chamber can be determined from the empty chamber calibration outlined in Annex B. However, the EUT, the required support equipment or any absorbing material present may load the chamber, reduce the chamber Q and hence reduce the test fields for the same input power. Therefore, the fields in a loaded chamber must be monitored and input power increased, if necessary, to compensate for this loading as described in B.2(7).

The tuners/stirrers should be adequate to provide the desired field uniformity. In some chambers, it may be necessary to use multiple tuners/stirrers to obtain the desired field uniformity at the required frequencies. Stepping motors or encoder-equipped servo-motors with computer control are recommended. Variable speed, continuous motors are acceptable, but the time response of the EUT must be fast relative to tuner/stirrer speed for this option to be viable. A method of evaluating tuner/ stirrer performance is given in clause A.3.

In the past, testing was performed using 200 samples or steps of the mechanical tuner [1]. This resulted in uncertainties (i.e., statistical inhomogeneity) in the field that varied as a function of frequency due to the increase in modal density at the higher frequencies. As shown in Figure A.1, the uncertainty for a typical chamber varied considerably as a function of frequency as the number of tuner steps remained constant. The procedure developed for this standard optimises the number of steps or samples to obtain a fixed uncertainty as a function of frequency.

The procedure described provides an accurate and economic methodology for calibrating reverberation chambers. The procedure is flexible in that it allows for an operator to adjust the number of tuner steps used to obtain the desired level uncertainty as well as maximize the ability of the chamber to generate higher fields by increasing the number of tuner steps.

The calibration procedure does place a stringent requirement on the chamber being evaluated. The data required places the need for the time-averaged fields generated within the test volume to be uniform to within a given uncertainty. To ensure this requirement is met, three measurements are required at each of the eight locations using three mutually perpendicular orientations. Each measurement is independent, which results in a total of 24 measurements being taken. A chamber that passes the calibration procedure will have demonstrated its ability to generate the required field uniformity.

A.2 Théorie des cavités

Les modes dans une cavité sont déterminés par les conditions aux limites. Pour une cavité rectangulaire sans pertes de dimensions L (longueur), W (largeur) et H (hauteur), on peut représenter les fréquences des modes $F_{l,m,n}$, en MHz par l'équation A.2 (voir [1]).

$$F_{l,m,n} = 150 ((l/L)^2 + (m/W)^2 + (n/H)^2)^{0,5} \quad (\text{A.2})$$

où

l , m et n sont les indices des modes

L , W et H sont les dimensions de la chambre, en mètres.

La Figure A.2 montre la distribution théorique de mode en fonction de la fréquence pour une chambre rectangulaire de 10,8 m × 5,2 m × 3,9 m ($L \times W \times H$). Chaque mode représente une variation unique du champ (structure modale) en fonction de l'emplacement spatial dans la cavité. La première résonance de cette chambre ($F_{1,1,0}$) intervient à une fréquence de 32,096 MHz.

La largeur de bande du facteur de qualité de la cavité, BW_Q , est définie comme $F_{l,m,n}/Q$ aux points à 3 dB d'une distribution d'ordre 2 (voir [5], [6]). Une BW_Q représentative est montrée à $F_{4,2,2}$ (le 60^{ème} mode) à la Figure A.3. Dans ce cas, seuls quelques modes sont excités lorsque la cavité est utilisée à $F_{4,2,2}$.

La Figure A.4 montre les effets de la réduction de Q de la cavité. Dans ce cas, des modes additionnels peuvent être excités lorsque la cavité est utilisée à la fréquence du 60^{ème} mode. La structure modale efficace serait la somme vectorielle des modes excités à différentes amplitudes. La variation du champ spatial sera différente de celle obtenue avec la cavité de valeur Q supérieure. Ainsi, faire varier la valeur Q de la cavité peut modifier la structure modale « efficace ». Noter que si la fréquence était augmentée, plus de modes seraient disponibles dans une BW_Q donnée (c'est-à-dire en corrélation). De nouveau, la structure modale efficace serait la somme vectorielle des modes.

Les Figures A.3 et A.4 montrent qu'aux fréquences inférieures, la population modale d'une chambre est clairsemée. Ces figures montrent également qu'en augmentant la fréquence, le nombre et la densité des modes augmentent. La structure modale efficace combinée à la capacité du prasseur à modifier les conditions aux limites de la chambre, détermine la manière dont la chambre fonctionnera.

NOTE Une chambre réverbérante peut avoir une forme géométrique arbitraire. Toutefois, certaines formes, par exemple sphériques, circulaires ou cylindriques, ne sont en principe pas utilisées pour les chambres réverbérantes, parce que les surfaces courbes sont susceptibles de produire des caustiques (focalisation du rayonnement), rendant difficile l'obtention d'une uniformité spatiale de champ (voir [2]).

La structure modale efficace dépend à la fois de la densité de mode théorique et de la largeur de bande du facteur de qualité à la fréquence considérée. Le nombre de modes, M , excités dans une BW_Q peut être estimé comme suit

$$M = \frac{8\pi V f^3}{c^3 Q} \quad (\text{A.3})$$

où

f est la fréquence, en Hz; et

V est le volume de cavité, en m³.

M est indépendant de la forme de la cavité (voir [1]).

A.2 Cavity theory

The modes in a cavity are determined by the boundary conditions. For an ideal, lossless, empty, rectangular cavity of dimensions L (length), W (width), and H (height), the mode frequencies $F_{l,m,n}$, in MHz, can be shown to be (see [1]):

$$F_{l,m,n} = 150 ((l/L)^2 + (m/W)^2 + (n/H)^2)^{0.5} \quad (\text{A.2})$$

where

l , m , and n are the mode indices, and

L , W , and H are the chamber dimensions in meters.

Figure A.2 shows the theoretical mode distribution as a function of frequency for a $10,8 \text{ m} \times 5,2 \text{ m} \times 3,9 \text{ m}$ ($L \times W \times H$) rectangular chamber. Each mode represents a unique field variation (modal structure) as a function of spatial location throughout the cavity. The first resonance of this chamber ($F_{1,1,0}$) occurs at a frequency of 32,096 MHz.

The cavity quality factor bandwidth, BW_Q , is defined as $F_{l,m,n}/Q$ at the 3-dB points of a second order distribution [5], [6]. A representative BW_Q is shown at $F_{4,2,2}$ (the 60th mode) in Figure A.3. In this case, only a few modes are excited when the cavity is driven at $F_{4,2,2}$.

Figure A.4 shows the effects of decreasing the Q of the cavity. In this case, additional modes can be excited when the cavity is driven at the frequency of the 60th mode. The effective modal structure would be the vector sum of the excited modes with different amplitudes. The spatial field variation will be different than that obtained with the higher Q cavity. Thus varying the cavity Q can change the “effective” modal structure. Note that if the frequency were increased, more modes would be available within a given BW_Q (i.e., correlated). Again, the effective modal structure would be the vector sum of the modes.

Figures A.3 and A.4 show that at the lower frequencies the modal population of a chamber is sparse. The figures also show that as frequency is increased the number and density of the modes increases. The effective modal structure combined with the ability of the tuner to change the boundary conditions of the chamber determines how well a chamber will perform.

NOTE A chamber may be any arbitrary geometry. However, some shapes, such as spherical and circular cylindrical, are generally not used for reverberation chambers; because the curved surfaces can produce caustics (focusing of rays) that make it difficult to obtain spatial field uniformity [2].

The effective modal structure depends on both the theoretical mode density and the quality factor bandwidth at the frequency of interest. The number of modes, M , excited in a BW_Q can be estimated by

$$M = \frac{8\pi V f^3}{c^3 Q} \quad (\text{A.3})$$

where

f is the frequency, in Hz, and

V , is the cavity volume, in m^3 .

M is independent of the shape of the cavity [1].

Les corrections d'ordre 2 à l'équation A.3, pour des fréquences relativement faibles, peuvent être calculées pour les chambres de géométrie arbitraire et sont proportionnelles à f (voir [7]).

Les théories actuelles suggèrent qu'une condition de «sur-mode» existe lorsqu'un nombre suffisant de modes sont excités. En condition de «sur-mode», il a été montré que la distribution de puissance correspondait à une distribution en Khi carré (χ^2) [2]. A des densités de modes plus faibles, les distributions de la puissance reçue ne correspondent pas à la distribution en χ^2 mais à une distribution exponentielle combinée plus compliquée [8].

Il n'est pas pratique de définir une chambre d'essai de taille minimale, et la fourniture de lignes directrices pour la conception détaillée est hors du domaine d'application de la présente norme. Le facteur critique est que si une chambre satisfait à la procédure d'étalonnage (B.1.1), alors ceci démontre qu'elle fournira l'environnement électromagnétique exigé au niveau de confiance statistique désiré.

A.3 Efficacité du brasseur

Afin d'appliquer des statistiques aux données obtenues d'une chambre réverbérante, il faut connaître le nombre d'échantillons indépendants. Pour une fréquence donnée, il faut qu'un ou des brasseurs modifient suffisamment les conditions des limites pour déclencher un changement statistiquement significatif dans le motif de champ de la chambre. Après un tel changement dans la structure de champ, tout échantillon obtenu à partir des champs provenant de la nouvelle position du brasseur est dit statistiquement indépendant de ceux de la position antérieure du brasseur. Il faut que les données de performances du brasseur soient obtenues pour déterminer le nombre d'échantillons statistiquement indépendants qu'un ou plusieurs brasseurs peuvent fournir à une fréquence désirée. Les données de performances du brasseur sont obtenues en contrôlant la puissance reçue à des intervalles régulièrement espacés sur une rotation du brasseur. La performance de brasseur peut être estimée en calculant le coefficient de corrélation entre les pas du brasseur [9]. Un calcul de coefficient de corrélation type implique de décaler de façon consécutive le fichier de données d'un échantillon pour chaque pas du brasseur, comme ceci est indiqué ci-dessous en considérant un ensemble total de 450 échantillons.

D1, D2, D3, D4, D5, D6,.....	D450
D450, D1, D2, D3, D4, D5, D6,.....	D449
D449, D450, D1, D2, D3, D4, D5, D6,.....	D448
D448, D449, D450, D1, D2, D3, D4, D5, D6.....	D447

Le coefficient de corrélation r peut être calculé en utilisant la formule suivante:

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_i^n (x_i - u_x)(y_i - u_y)}{\sqrt{\left(\frac{\sum_i^n (x_i - u_x)^2}{n-1} \right) \left(\frac{\sum_i^n (y_i - u_y)^2}{n-1} \right)}} \quad (\text{A.4})$$

$\uparrow$
 σ_x^2

$\uparrow$
 σ_y^2

y_i est la même distribution que x_i mais décalée d'un échantillon pour chaque pas du brasseur et n est le nombre d'échantillons pris sur une rotation du brasseur.

Second-order corrections to Equation (A.3) for relatively low frequencies can be calculated for chambers of arbitrary geometry and are proportional to f [7].

Theories at present suggest that an “overmoded” condition exists when a sufficient number of modes are excited. In the overmoded condition, the power distribution has been shown to fit a chi squared (χ^2) distribution [2]. At lower mode densities, the distributions of received power do not fit the χ^2 distribution but a more complicated compound exponential distribution [8].

It is not practical to define a minimum size test chamber and it is outside the scope of this standard to provide detailed design guidance. The critical factor is that if a chamber fulfils the calibration procedure (see B.1.1) then this demonstrates that it will provide the required electromagnetic environment at the desired level of statistical confidence.

A.3 Tuner efficiency

In order to apply statistics to data obtained from a reverberation chamber, the number of independent samples must be known. For a given frequency, a tuner (or tuners) must alter the boundary conditions sufficiently to effect a statistically significant change in the field pattern of the chamber. Once such a change has occurred in the field structure, any samples obtained from the fields resulting from the new tuner position are said to be statistically independent from those of the previous tuner position. Tuner performance data must be obtained in order to determine the number of statistically independent samples a given tuner (or tuners) can provide at a desired frequency. Tuner performance data is obtained by monitoring the received power at evenly spaced intervals over one tuner rotation. The tuner performance can be estimated by calculating the correlation coefficient between tuner steps [9]. A typical correlation coefficient calculation involves consecutively shifting the data file by one sample for each tuner step as shown below, assuming a total set of 450 samples.

D1, D2, D3, D4, D5, D6, ...	D450
D450, D1, D2, D3, D4, D5, D6, ...	D449
D449, D450, D1, D2, D3, D4, D5, D6, ...	D448
D448, D449, D450, D1, D2, D3, D4, D5, D6, ...	D447

The correlation coefficient r can be calculated using the following formula:

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_i^n (x_i - u_x)(y_i - u_y)}{\sqrt{\left(\frac{\sum_i^n (x_i - u_x)^2}{n-1} \right) \left(\frac{\sum_i^n (y_i - u_y)^2}{n-1} \right)}} \quad (\text{A.4})$$

$\uparrow$
 σ_x^2

$\uparrow$
 σ_y^2

y_i is the same distribution as x_i but shifted by one sample for each tuner step, and n is the number of samples taken over one tuner rotation.

NOTE

- x_i et y_i sont des valeurs de puissance reçues
- u_x et u_y sont des moyennes de la puissance originale reçue par rapport à l'ensemble des données de positions du brasseur

Dans la mesure où la distribution y est la même que la distribution x (il n'y a qu'un ensemble de données, la distribution des données décalées est la même que celle de l'ensemble des données originales):

$$u_y = u_x \text{ et } \sigma_x = \sigma_y$$

Le coefficient de corrélation r peut être obtenu en utilisant la fonction de corrélation intégrée à la plupart des tableurs en comparant l'ensemble des données originales aux ensembles de données décalées. Les données sont considérées comme non corrélées lorsque l'amplitude du coefficient de corrélation est inférieure à 0,37. Diviser le nombre total d'échantillons (par exemple 450 comme ci-dessus) par le nombre de pas nécessaires pour réduire le coefficient de corrélation à moins de 0,37 donne une estimation du nombre d'échantillons indépendants que le brasseur peut fournir à une fréquence particulière.

EXEMPLE Réaliser la procédure ci-dessus sur une chambre en faisant effectuer au brasseur mécanique une rotation de 360° en 450 pas régulièrement espacés à 80 MHz, 100 MHz et 500 MHz. Si le coefficient de corrélation est devenu inférieur à 0,37 après, respectivement, 25 pas, 15 pas et 5 pas du brasseur, on pourrait s'attendre à ce que le brasseur délivre 18 échantillons indépendants à 80 MHz, 30 MHz à 100 MHz, et 90 à 500 MHz. Comme cela est montré dans l'Article A.4, le nombre de pas du brasseur requis peut dépasser la capacité d'un brasseur unique. Dans de tels cas, un deuxième brasseur sera nécessaire.

A.4 Statistiques de chambre réverbérante

La procédure d'étalonnage de la présente norme est fondée sur la nature statistique des cavités complexes [2], [4]. Il a été validé de manière expérimentale que les champs à l'intérieur d'une chambre réverbérante peuvent être prévus en théorie, en utilisant les modèles statistiques appropriés [5], [6], [10], [11]. Ces modèles définissent les fonctions de distribution pour 1) la puissance reçue par une antenne qui est liée à la densité de puissance scalaire de la chambre et au carré du champ électrique, 2) la puissance maximale reçue ou le carré du champ électrique maximal reçu, 3) une composante rectangulaire du champ électrique et 4) le maximum de la composante rectangulaire du champ électrique. Ces quatre distributions sont différentes mais peuvent être rattachées. Il ne sera pas essayé de couvrir les statistiques des chambres réverbérantes en détail dans la présente annexe, même si certaines propriétés particulières de certaines des distributions seront discutées ci-dessous. La fonction d'une chambre réverbérante est de générer un environnement d'essai statistiquement uniforme (c'est-à-dire statistiquement isotrope), dans des limites d'incertitude et de confiance acceptables. Ceci est réalisé en introduisant un dispositif mécanique de brassage dans un local blindé, qui est utilisé pour redistribuer l'énergie du champ. Le brasseur modifie les conditions aux limites à l'intérieur de la chambre lorsqu'il est déplacé ou qu'il subit des rotations. Lorsque le brasseur a été déplacé en un nombre suffisant de positions indépendantes, les variations de champ qui en résultent fournissent un ensemble de champs couvrant la plupart de toutes les directions et toutes les polarisations. Ceci implique que l'amplitude et la direction des champs étaient les mêmes, dans des limites d'incertitude bornées, pour tous les points à l'intérieur de la chambre. Le terme «isotrope» est souvent utilisé pour faire référence à l'environnement généré par une chambre réverbérante. Ce terme est quelque peu trompeur, dans la mesure où l'environnement n'est pas arrivé avec une amplitude égale de toutes les directions et polarisations simultanément. Pour cette raison, il convient d'utiliser ce terme avec précaution lorsqu'on se réfère aux chambres réverbérantes.

Pour la discussion qui suit, on part de l'hypothèse que les dimensions de chambre sont importantes lorsqu'on les compare à la longueur d'onde d'excitation (la chambre est en sur-mode [5]), et que la chambre a une configuration complexe. L'introduction d'antennes et de brasseurs assurent la complexité exigée dans une cavité par ailleurs régulière. De plus, nous limiterons la discussion aux champs à l'intérieur du volume de travail de la chambre. Le volume de travail est défini par une distance de $\lambda/4$ à partir des parois de la chambre et de toute antenne, de tout brasseur, ou de tout autre objet à la fréquence de fonctionnement la plus faible. Pour une chambre qui fonctionne au-delà de 100 MHz, ce serait 0,75 m. Une installation de chambre réverbérante type est représentée à la Figure A.5.

NOTE

- x_i and y_i are received power values.
- u_x and u_y are the mean of the original received power vs. tuner position data set.

Since the y distribution is the same as the x distribution (there is only one data set, the distribution of the shifted data is the same as the original data set):

$$u_y = u_x \text{ and } \sigma_x = \sigma_y$$

The correlation coefficient r can be obtained using the correlation function built into most spreadsheets by comparing the original data set to the shifted data sets. The data is regarded as uncorrelated when the magnitude of the correlation coefficient is less than 0,37. Dividing the total number of samples (e.g., 450 above) by the number of steps necessary to reduce the correlation coefficient to less than 0,37 yields an estimate of the number of independent samples the tuner can provide at a particular frequency.

EXAMPLE Carry out the above procedure on a chamber rotating the mechanical tuner 360° in 450 evenly spaced steps at 80 MHz, 100 MHz, and 500 MHz. If the correlation coefficient became less than 0,37 after 25, 15, and 5 steps of the tuner, respectively; then the tuner could be expected to deliver 18 independent samples at 80 MHz, 30 independent samples at 100 MHz, and 90 independent samples at 500 MHz. As shown in Clause A.4, the number of tuner steps required may exceed the ability of a single tuner to provide. In such cases, a second tuner will be necessary.

A.4 Reverberation chamber statistics

The calibration procedure for this standard is based on the statistical nature of complex cavities [2], [4]. It has been experimentally validated that the fields in a reverberation chamber can be theoretically predicted using the appropriate statistical models [5], [6], [10], [11]. These models define distribution functions for 1) the received power by an antenna which is related to the chamber scalar power density and the electric field squared, 2) the maximum received power or the maximum electric field squared, 3) a rectangular component of the electric field and 4) the maximum of a rectangular component of the electric field. These four distributions are different but relatable. There will be no attempt to cover reverberation chambers statistics in detail in this annex although some specific properties of some of the distributions will be discussed below. The function of a reverberation chamber is to generate a statistically uniform (i.e., statistically isotropic) test environment within acceptable uncertainty and confidence limits. This is accomplished by introducing a mechanical tuner into a shielded room, which is used to redistribute the field energy. The tuner changes the boundary conditions within the chamber when it is moved or rotated. Once the tuner has been moved to a sufficient number of independent positions, the field variations resulting from rotating the tuner provide a set of fields covering almost all directions and polarizations. This implies that the magnitude and directionality of the fields was the same, within bounded uncertainty limits, for all points within the chamber. The term "isotropic" is often used to refer to the environment generated by a reverberation chamber. This term is somewhat misleading since the environment did not arrive with equal magnitude from all directions and polarizations simultaneously. For this reason, the term should be used with caution when referring to reverberation chambers.

For the following discussion, it is assumed that the chamber dimensions are large compared to the excitation wavelength (the chamber is overmoded [5]) and that the chamber has a complex configuration. The introduction of antennas and tuners assure the required complexity in an otherwise regular cavity. In addition, we will restrict our discussion to the fields within the working volume of the chamber. The working volume is defined as being a distance of $\lambda/4$ from the chamber walls and from any antenna, tuner, or other object at the lowest frequency of operation. For a chamber operating above 100 MHz, this would be 0,75 m. A typical reverberation chamber facility is shown in Figure A.5.

A.4.1 Nombre d'échantillons requis

Compte tenu de la distribution des champs à l'intérieur d'une cavité, le nombre d'échantillons qui devrait être pris pour déterminer le niveau de champ dans les limites d'une incertitude donnée peut être déterminé. La Figure A.6 représente une prévision théorique pour le nombre d'échantillons indépendants (modifications des conditions aux limites ou pas des dispositifs mécaniques de brassage), nécessaires pour obtenir une incertitude de champ de 6 dB avec un niveau de confiance de 95 % pour une cavité donnée. Comme la Figure A.6 le montre, à des densités de mode inférieures, comme cela est défini par l'Equation (A.3), le nombre d'échantillons exigés augmente rapidement. Si le niveau de confiance est abaissé, le nombre d'échantillons nécessaires pour obtenir la même incertitude est réduit. Comme cela est représenté à la Figure A.7, le nombre d'échantillons peut être réduit si l'incertitude de champ est abaissée de manière modérée. Comme cela est noté ci-dessus, le nombre d'échantillons indiqué aux Figures A.6 et A.7 est fondé sur la théorie statistique [2], [10]. En pratique, le dispositif mécanique de brassage peut ne pas être capable de fournir le nombre d'échantillons indépendants nécessaires pour assurer la performance désirée. Pour cette raison, il convient que les performances du brasseur soient évaluées comme cela est détaillé à l'Article A.3 pour déterminer le nombre d'échantillons, qui peuvent être délivrés par un brasseur donné à une fréquence donnée.

A.4.2 Effet du brasseur sur le champ de chambre moyen

Pour une chambre réverbérante idéale, la valeur moyenne en volume (spatiale) du champ pour une condition aux limites fixe et une moyenne d'ensemble, sont équivalentes (voir [2], [10]). Une moyenne d'ensemble est la moyenne du champ à un emplacement fixe pour des conditions aux limites multiples. Dans les chambres réverbérantes, les changements de conditions aux limites sont normalement obtenus en appliquant une rotation au brasseur mécanique. Cependant, les changements des conditions aux limites interviennent également pour tout changement dans la configuration des objets tels que les antennes, les dispositifs d'essai, et les instruments et équipements de support.

La Figure A.8 est la fonction de densité de probabilité du champ à un emplacement à l'intérieur d'une chambre réverbérante idéale normalisée par le «vrai» volume ou la «vraie» moyenne d'ensemble. Comme cela est représenté à la Figure A.8, le champ dans la chambre en un emplacement arbitraire et avec une condition aux limites unique, ou à un emplacement unique et à une condition aux limites arbitraire, peut varier de plus de 30 dB. La Figure A.8 montre également qu'environ 98 % des données d'un échantillon unique ($N = 1$) seraient entre +10 dB et -20 dB. La Figure A.9 montre que, lorsque le nombre d'échantillons de conditions aux limites (pas du brasseur) est augmenté, la moyenne mesurée du champ «de chambre» à tout emplacement dans la chambre, converge vers la valeur moyenne «vraie». La valeur moyenne mesurée est la «valeur attendue» d'échantillons multiples. La largeur de chaque courbe est une mesure de l'incertitude, qui serait attendue à un emplacement arbitraire dans le volume de travail pour N échantillons. Noter que l'amélioration de l'incertitude du champ moyen est très rapide dans la mesure où le nombre de pas des brasseurs est tout d'abord augmenté et ralentit ensuite lorsque N devient plus important. La Figure A.9 montre également que pour 12 pas du brasseur, l'incertitude du champ moyen est d'environ 5 dB avec l'intervalle de confiance de 95 %, et d'environ 2,4 dB pour 100 pas du brasseur. Ceci correspondrait à une augmentation octuple du temps d'essai pour une réduction de 2,6 dB de l'incertitude de mesure du niveau de champ moyen.

A.4.3 Effet du brasseur sur le champ maximal de chambre

Pour $N = 1$ la distribution représentée à la Figure A.8 est valable à la fois pour les champs moyen et maximal, car les valeurs maximale, minimale et moyenne mesurées à un emplacement ont toutes la même valeur, pour une position fixe du brasseur. La fonction de densité de probabilité pour le champ maximal à un emplacement arbitraire à l'intérieur de la chambre est représentée à la Figure A.10. Lorsque N augmente, la distribution se déplace vers la droite et devient plus étroite (incertitude améliorée). De même comme le niveau de champ moyen, l'amélioration de l'incertitude pour le niveau de champ maximal est très rapide lorsque le nombre de pas du brasseur est d'abord augmenté, puis diminue lorsque N devient plus important.

A.4.1 Number of samples required

Given the distribution of the fields within a cavity, the number of samples that would have to be taken in order to determine the field level to within a given uncertainty can be determined. Figure A.6 shows a theoretical prediction for the number of independent samples (boundary condition changes or steps of the mechanical tuners) required to obtain a 6 dB field uncertainty at a 95 % level of confidence for a given cavity. As Figure A.6 shows, at lower mode densities, as defined by Equation (A.3), the number of samples required increases rapidly. If the confidence level is lowered, then the number of samples required to obtain the same uncertainty is reduced. As shown in Figure A.7, the number of samples can be reduced if the field uncertainty is lowered moderately. As noted above, the number of samples depicted in Figures A.6 and A.7 are based on statistical theory [2], [10]. In practice, the mechanical tuner may not be capable of providing the number of independent samples required to give the desired performance. For this reason, tuner performance should be evaluated as detailed in Clause A.3 to determine the number of samples, which can be provided by a given tuner at a given frequency.

A.4.2 Tuner effect on the mean chamber field

For an ideal reverberation chamber, the volume (spatial) mean value of the field for a fixed boundary condition and an “ensemble” average are equivalent [2], [10]. An ensemble average is the average of the field at a fixed location for multiple boundary conditions. In reverberation chambers, boundary condition changes are typically achieved by rotating a mechanical tuner. However, boundary condition changes also occur for any change in the configuration of objects such as antennas, test devices, and supporting instrumentation and equipment.

Figure A.8 is the probability density function (PDF) of the field at a location within an ideal reverberation chamber normalized by the “true” volume or ensemble average. As shown in Figure A.8, the field in the chamber at an arbitrary location and a single boundary condition or at a single location and an arbitrary boundary condition can vary more than 30 dB. Figure A.8 also shows that about 98 % of the data for a single sample ($N = 1$) would be between +10 dB and –20 dB. Figure A.9 shows that, as the number of boundary condition samples (tuner steps) is increased, the measured mean of the chamber field at any given location in the chamber converges toward the “true” mean value. The measured mean value is the “expected value” of multiple samples. The width of each curve is a measure of the uncertainty that would be expected at an arbitrary location in the working volume for N samples. Note that the improvement in the uncertainty of the mean field is very rapid as the number of tuner steps is first increased and then slows as N gets larger. Figure A.9 also shows that for 12 tuner steps the uncertainty of the mean field is about 5 dB at the 95 % confidence interval and about 2,4 dB for 100 tuner steps. This would correspond to an eight-fold increase in test time for a 2,6 dB reduction in measurement uncertainty in the mean field level.

A.4.3 Tuner effect on the maximum chamber field

The distribution for $N = 1$ shown in Figure A.8 is valid for both mean and maximum fields, because the maximum, minimum, and mean measured at a location are all the same value, for a fixed position of the tuner. The PDF for the maximum field at an arbitrary location within a chamber is shown in Figure A.10. As N increases, the distribution moves to the right and gets narrower (improved uncertainty). Also, like the mean field level, the improvement in uncertainty for the maximum field level is very rapid as the number of tuner steps is first increased and then slows as N gets larger.

La Figure A.10 montre que pour 12 pas du brasseur, l'incertitude du champ maximal est d'environ 7,2 dB avec l'intervalle de confiance de 95 % et d'environ 4,8 dB pour 100 pas du brasseur. Ceci correspondrait à une augmentation octuple du temps d'essai pour une réduction de 2,4 dB de l'incertitude de mesure dans le niveau de champ maximal. De même, noter qu'augmenter le nombre de pas du brasseur de 12 pas à 100 pas augmente la valeur attendue du champ maximal d'environ 3 dB.

Dans la mesure où la fonction de densité de probabilité pour le champ maximal s'applique à tout emplacement arbitraire, comme elle le fait avec le champ moyen, la fonction de densité de probabilité est également une mesure de l'uniformité spatiale pour N échantillons du champ maximal sur le volume de travail de la chambre.

A.5 Etalonnage de la chambre

Pour la présente norme, l'étalonnage est destiné à vérifier que les champs générés ont la même amplitude, dans des limites d'incertitude définies, pour toutes les polarisations (c'est-à-dire pour toutes les directions d'arrivée à tous les emplacements à l'intérieur du volume de travail) pour un nombre donné de pas du brasseur. Pour satisfaire à cette prescription, l'utilisation des sondes isotropes, qui permettent l'accès à chacun de leurs axes, est exigée pour réaliser l'étalonnage. Il convient que la procédure d'étalonnage soit réalisée une fois dans la vie de la chambre et après toutes modifications importantes.

La procédure d'étalonnage de la chambre vide est fondée sur une comparaison des champs de crête mesurés par des sondes de champ E , avec la puissance moyenne reçue d'une antenne de référence. Pour accroître la précision, les données moyennes de l'antenne de référence sont obtenues pour huit emplacements à l'intérieur du volume de travail.

Le nombre d'échantillons recommandés pour l'étalonnage est fondé sur une chambre «théorique» d'une taille d'environ 3 m × 7 m × 15 m, et ayant une valeur Q type pour une chambre construite en acier soudé. Le nombre d'échantillons nécessaires a été arrondi pour tenir compte des variations de cette chambre «théorique» pour assurer un essai prudent. Il est possible qu'une chambre plus grande ou une chambre avec une valeur de Q plus faible que la chambre «théorique», puisse satisfaire à cette prescription d'étalonnage en utilisant moins de pas que le nombre recommandé.

A.5.1 Procédure d'étalonnage

La procédure d'étalonnage rassemble les données de la sonde de champ E (données maximales uniquement), ainsi que la puissance d'entrée de la chambre et les puissances maximale et moyenne reçues, provenant d'une antenne de référence placée à l'intérieur du volume de travail. Les données de la sonde sont utilisées pour déterminer l'uniformité de champ. Les données de la sonde et la puissance d'entrée de chambre sont utilisées pour déterminer le facteur d'étalonnage de la chambre. La puissance moyenne reçue de l'antenne de référence et la puissance d'entrée de la chambre sont utilisées pour calculer un facteur d'étalonnage d'antenne. Ce facteur est utilisé comme une valeur de référence lorsqu'on détermine si la chambre a été «chargée» par le matériel en essai. La puissance maximale reçue de l'antenne de référence est utilisée pour vérifier les lectures de la sonde. Les données de la sonde sont collectées à partir de huit emplacements qui forment les coins du «volume de champ uniforme» ou le «volume de travail», comme cela est représenté à la Figure A.11. Chaque fois que la sonde est déplacée vers un nouvel emplacement, l'antenne de référence est déplacée vers un nouvel emplacement à l'intérieur du volume de travail. L'orientation de l'antenne de référence par rapport aux axes de la chambre est également modifiée d'au moins 20° par rapport à chaque axe à chaque emplacement. Ceci assure que toute polarisation dans le champ est détectée (par exemple, il n'existe pas de polarisation dominante à l'intérieur de la chambre). Un nombre minimal de huit emplacements est nécessaire pour la sonde et l'antenne de référence.

Figure A.10 shows that for 12 tuner steps the uncertainty of the maximum field is about 7,2 dB at the 95 % confidence interval and about 4,8 dB for 100 tuner steps. This would correspond to an eight-fold increase in test time for a 2,4 dB reduction in measurement uncertainty in the maximum field level. Also, note that increasing the number of tuner steps from 12 to 100 steps increases the expected value of the maximum field by about 3 dB.

Since the PDF for the maximum field applies at any arbitrary location, as it does with the mean field, the PDF is also a measure of the spatial uniformity for N samples of the maximum field over the working volume of the chamber.

A.5 Chamber calibration

For this standard, the purpose of the calibration is to verify that the fields generated have the same magnitude, within defined uncertainty limits, for all polarizations (i.e., for all directions of arrival at all locations within the working volume) for a given number of tuner steps. In order to meet this requirement the use of isotropic probes, which allow access to each axis of the probe, is required in order to perform the calibration. The calibration procedure should be performed once in the life of the chamber and after major modifications.

The empty chamber calibration procedure is based on a comparison of the peak fields measured by E -field probes to the mean received power of a reference antenna. To enhance accuracy the reference antenna mean data is obtained for eight locations within the working volume.

The number of samples recommended for calibration is based on a “theoretical” chamber of approximately $3\text{ m} \times 7\text{ m} \times 15\text{ m}$ size and typical Q for a chamber constructed of welded steel. The number of samples required was rounded up to account for variations from this “theoretical” chamber in order to ensure a conservative test. It is possible that a larger chamber or one with a lower Q than the “theoretical” chamber could meet this calibration requirement using less than the recommended number of steps.

A.5.1 Calibration Procedure

The calibration procedure collects E -field probe data (maximum data only) as well as chamber input power and the maximum and mean received power from a reference antenna placed within the working volume. The probe data are used to determine field uniformity. The probe data and chamber input power is used to determine the chamber calibration factor. The mean received power from the reference antenna and chamber input power is used to calculate an antenna calibration factor (ACF). The ACF is used as a reference value when determining if the chamber has been “loaded” by equipment under test (EUT). The maximum received power from the reference antenna is used to verify the probe readings. Probe data are collected from the eight locations that form the corners of the “volume of uniform field” or “working volume” as shown in Figure A.11. Each time the probe is moved to a new location, the reference antenna is moved to a new location within the working volume. The orientation of the reference antenna relative to the chamber axes is also changed at least 20° relative to each axis at each position. This ensures that any bias in the field is detected (e.g., no dominate polarisation exists within the chamber). A minimum of eight locations for both the probe and reference antenna is required.

NOTE Lorsqu'il a été montré qu'une chambre fonctionne correctement sur une plage de fréquences entre 300 MHz et 400 MHz avec le nombre minimal de pas du brasseur (c'est-à-dire, 12 pas), le nombre d'emplacements peut être réduit à 3. Pour la chambre utilisée pour collecter les données présentées dans cette annexe, la réduction du nombre d'emplacements est intervenue à 1 000 MHz.

Comme indiqué précédemment, l'uniformité du champ dépend du nombre (N) de positions du brasseur utilisées pour collecter les données. Se rappeler que pour un nombre relativement modeste de pas du brasseur (à savoir, 12 pas), un champ raisonnablement uniforme peut être obtenu. Comme indiqué précédemment, ceci est vrai pour les cavités en sur-mode. Chaque chambre aura une fréquence à laquelle elle n'est plus en sur-mode [6], et ainsi, elle ne peut plus être utilisée comme chambre réverbérante. Cette fréquence dépendra principalement de la taille de la chambre, et la coupure sera graduelle plutôt qu'abrupte lorsque la fréquence diminue.

Dans certains cas, il est possible de compenser la densité modale réduite qui en résulte, lorsque la fréquence de fonctionnement approche la condition «en sous-mode». En général et en prenant certaines précautions, la compensation peut être obtenue en augmentant le nombre de pas du brasseur, mais les effets peuvent être limités. Le tableau A.1 donne la liste du nombre de pas du brasseur «recommandé» pour réaliser l'étalonnage. Le nombre de pas peut avoir besoin d'être réduit ou augmenté pour optimiser les performances. Il convient que le nombre minimal de pas du brasseur ne soit pas inférieur à 12.

Tableau A.1 – Prescriptions d'échantillonnage

Gamme de fréquences	Nombre d'échantillons ^a recommandé pour étalonnage et essai	Nombre de fréquences ^b nécessaires pour l'étalonnage
f_s à $3 f_s$ ^c	50	20
$3 f_s$ à $6 f_s$	18	15
$6 f_s$ à $10 f_s$	12	10
Supérieure à $10 f_s$	12	20 par décade
^a C'est-à-dire positions ou intervalles de brasseurs indépendants; 12 positions minimum). ^b A espacement logarithmique. ^c f_s = fréquence de départ (voir A.1 pour la fréquence utilisable la plus faible).		

A.5.2 Uniformité de champ

Une chambre réverbérante est destinée à générer un environnement statistiquement uniforme, dans les limites d'une incertitude imposée, pour tous les emplacements dans le volume de travail défini. La procédure qui vient d'être décrite est conçue pour mesurer l'amplitude et l'uniformité attendues, pour une chambre donnée, en utilisant un nombre donné de pas du brasseur. Un ensemble type de données de sonde obtenu en utilisant la procédure d'étalonnage (axe x uniquement dans un souci de clarté) est représenté à la Figure A.12. La Figure A.13 représente les données de la Figure A.12 normalisées sur la moyenne des 8 lectures de sonde maximales selon l'axe x à chaque fréquence [B.1.1 (10) (a)]. Les données montrent que l'uniformité de champ mesurée est d'environ ± 10 dB à 100 MHz et qu'elle décroît lorsque la fréquence augmente. De même, noter comment les données à des fréquences plus élevées montrent une bonne uniformité même si le nombre de pas du brasseur est réduit.

NOTE 1 En raison de l'optimisation du nombre de pas du brasseur pour correspondre aux caractéristiques de la chambre utilisée, le nombre de pas utilisés pour collecter les données représentées à la Figure A.13 ne correspond pas au Tableau A.1.

NOTE Once a chamber has been shown to operate properly over a frequency span of 300 MHz to 400 MHz at the minimum number of tuner steps (i.e., 12), the number of locations may be reduced to three. For the chamber used to collect the data presented in this annex, the reduction in the number of locations occurred at 1 000 MHz.

As previously shown, the uniformity of the field depends on the number of tuner positions (N) used to collect the data. Recall that for a relatively modest number of tuner steps (i.e., 12), a reasonably uniform field can be obtained. As previously stated, this is true for overmoded cavities. Every chamber will have a frequency at which it is no longer overmoded [6] and hence can no longer be used as reverberation chamber. This frequency will mostly be dependent on chamber size, and the cutoff will be gradual rather than abrupt as frequency decreases.

In some cases, it is possible to compensate for decreased modal density that results as the operational frequency approaches the “undermoded” condition. In general and with care, compensation can be achieved by increasing the number of tuner steps, but effects may be limited. Table A.1 lists the number of tuner steps “recommended” for performing the calibration. The number of steps may need to be decreased or increased to optimise performance. The minimum number of tuner steps should not be less than 12.

Table A.1 – Sampling requirements

Frequency Range	Number of samples ^a recommended for calibration and test	Number of frequencies ^b required for calibration
f_s to $3 f_s$ ^c	50	20
$3 f_s$ to $6 f_s$	18	15
$6 f_s$ to $10 f_s$	12	10
Above $10 f_s$	12	20/decade
^a (i.e. independent tuner positions or intervals, 12 positions minimum.) ^b Logarithmically spaced. ^c f_s = start frequency (see A.1 for lowest useable frequency).		

A.5.2 Field uniformity

The goal of a reverberation chamber is to generate a statistically uniform environment, within some bounded uncertainty, for all locations within the defined working volume. The procedure just described is designed to measure the expected magnitude and uniformity for a given chamber using a given number of tuner steps. A typical set of probe data obtained using the calibration procedure (x-axis only for clarity) is shown in Figure A.12. Figure A.13 shows the data of Figure A.12 normalized to the mean of the eight maximum x-axis probe readings at each frequency [B.1.1 (10) (a)]. The data show that the measured field uniformity is about ± 10 dB at 100 MHz and decreases as frequency increases. Also, note how the data at the higher frequencies show good uniformity even though the number of tuner steps is decreased.

NOTE 1 Due to the optimization of the number of tuner steps to fit the characteristics of the chamber used, the number of steps used to collect the data shown in Figure A.13 does not match Table A.1.

Actuellement, il existe deux écoles de pensée concernant la meilleure méthode de détermination de l'uniformité acceptable. Pour la première méthode (voir [12]), l'uniformité acceptable est décidée en éliminant 25 % des données qui ont le plus de variation puis en exigeant que les données restantes soient dans la limite indiquée. Dans la seconde méthode (voir [13], [14]), l'uniformité acceptable est déterminée en calculant l'écart type des données et en exigeant qu'il se situe dans des limites données. L'inconvénient principal de la première méthode est qu'aucun « poids » n'est accordé aux données éliminées. Ceci pourrait avoir comme résultat que les incertitudes restent essentiellement inconnues. Pour les besoins de la présente norme, il a été décidé d'utiliser la méthode de l'écart type. La raison qui a conduit à l'adoption de la méthode de l'écart type est que toutes les données sont prises en compte, et qu'on leur accorde un poids approprié.

L'écart type des données représentées à la Figure A.13 est montré à la Figure A.14. Les données montrent que l'écart type a dépassé 3 dB en dessous d'environ 200 MHz. A titre de référence, la tolérance pour la norme des avions commerciaux est représentée par une ligne épaisse en pointillés (voir [13]).

NOTE 2 La limite pour la présente norme est la même que la limite proposée en [13] à des fréquences communes aux deux normes. La chambre est considérée comme satisfaisant aux prescriptions d'uniformité de champ sous réserve que l'écart type pour à la fois les 3 composantes individuelles de champs (E_x , E_y , et E_z), et l'ensemble total des données (E_{Total}) soit dans les tolérances spécifiées. L'ensemble total des données se compose de 24 mesures réalisées en combinant les 3 composantes individuelles de champ (E_x , E_y , et E_z) provenant des 8 emplacements de la sonde.

NOTE 3 L'ensemble total des données n'est PAS la racine de la somme des carrés la plus communément utilisée de E_x , E_y et E_z . La chambre utilisée pour collecter ces données ne pouvait pas être utilisée en-dessous de 130 MHz, selon la limite proposée, à moins que l'uniformité de champ ne soit améliorée [15]. La limite proposée a été développée par un comité composé de représentants à la fois de l'industrie et du gouvernement.

A.5.3 Champ E de chambre

L'amplitude « attendue » du champ E de chambre au cours de l'étalonnage est simplement la moyenne des 24 valeurs maximales lues de la sonde (la moyenne des maximums). La « valeur attendue » est la valeur à laquelle la chambre est étalonnée (voir Figure A.10).

Il est également possible d'estimer le champ E de la chambre (E_{Est}) fondé sur les mesures de l'antenne de référence. L'Equation (A.5), qui a été obtenue en utilisant des méthodes similaires à celles utilisées pour obtenir les expressions pour le champ moyen en [16], donne une estimation du champ E de chambre fondée sur les valeurs maximales lues provenant de l'antenne de référence, en faisant la moyenne sur le nombre d'emplacements de l'antenne (n).

$$E_{Est} = \left\langle \frac{8\pi}{\lambda} \sqrt{5 \frac{P_{MaxRec}}{\eta_{rx}}} \right\rangle_{n \text{ emplacements d'antenne}} \quad (A.5)$$

où

P_{MaxRec} est la puissance maximale reçue sur le nombre donné de pas du brasseur à un emplacement d'antenne,

η_{rx} est le facteur d'efficacité de l'antenne, que l'on peut estimer à 0,75 pour une antenne log périodique et à 0,9 pour une antenne cornet [4]. Cet élément peut être déterminé à partir des informations contenues à l'Annexe I.

Pour toutes les mesures, on part de l'hypothèse selon laquelle la puissance incidente d'entrée est la même pour toutes les données collectées. Si tel est le cas, les données peuvent être normalisées après avoir pris la moyenne des valeurs lues de la sonde. Si tel n'est pas le cas, il est nécessaire que les valeurs lues de la sonde soient normalisées selon la puissance d'entrée, qui correspond à cette valeur lue de la sonde. La normalisation du champ E sur la puissance d'entrée de la chambre est réalisée en divisant les valeurs lues de la sonde par la racine carrée de la puissance d'entrée. Ceci peut également être fait pour le champ E estimé basé sur l'antenne de référence.

At present, there are two schools of thought as to which is the best method to determine acceptable uniformity. For the first method [12], acceptable uniformity is decided by throwing away 25 % of the data that have the most variation and then requiring the remaining data to be within a given limit. In the second method [13] [14], acceptable uniformity is determined by calculating the standard deviation of the data and requiring that the standard deviation be within a given limit. The first method's major drawback is that there is no "weight" given to the data that are thrown away. This could result in the uncertainties being essentially unknown. For the purposes of this standard, it has been agreed to use the standard deviation method. The reason for adopting the standard deviation method is that all data are considered and given appropriate weight.

The standard deviation of the data shown in Figure A.13 is shown in Figure A.14. The data show the standard deviation exceeded 3 dB below about 200 MHz. For reference, the tolerance for the commercial aircraft avionics standard is also shown [13].

NOTE 2 The limit for this standard is the same as the proposed limit in [13] at frequencies common to both standards. The chamber is considered to pass the field uniformity requirements provided that the standard deviation for both the three individual field components (E_x , E_y , and E_z) and the total data set (E_{Total}) are within the specified tolerance. The total data set consists of the 24 measurements made by combining the three individual field components (E_x , E_y , and E_z) from the 8 probe locations.

NOTE 3 The total data set is NOT the more commonly used root sum of the squares (RSS) of E_x , E_y , and E_z . The chamber used to collect this data could not be used below 130 MHz, according to the proposed limit, unless the field uniformity is improved [15]. The proposed limit was developed by a committee made up of representatives from both industry and government.

A.5.3 Chamber E-field

The "expected" amplitude of the chamber E-field during the calibration is simply the average of the 24 maximum probe readings (the mean of the maximums). The "expected value" is the value to which the chamber is calibrated (see Figure A.10).

It is also possible to estimate the chamber E-field (E_{Est}) based on the reference antenna measurements. Equation (A.5), which was derived using methods similar to those used to derive expressions for the mean field in [16], gives an estimate of the chamber E-field based on the maximum readings from the reference antenna averaged over the number of antenna locations (n).

$$E_{Est} = \left\langle \frac{8\pi}{\lambda} \sqrt{5 \frac{P_{MaxRec}}{\eta_{rx}}} \right\rangle_{n \text{ antenna locations}} \quad (A.5)$$

where

P_{MaxRec} is the maximum received power over the given number of tuner steps at an antenna location, and

η_{rx} is the antenna efficiency factor for the receive antenna which can be assumed (if not known) to be 0,75 for a log periodic antenna and 0,9 for a horn antenna [4]. This element can be determined from the information contained in Annex I.

For all measurements, it is assumed that the forward input power is the same for all data collected. If so, then the data can be normalized after taking the average of the probe readings. If not, then the probe readings need to be normalized to the input power, which corresponds to that probe reading. Normalizing the E-field to the chamber input power is done by dividing the probe reading by the square root of the input power. This can also be done for the estimated E-field based on the reference antenna.

Il est recommandé de réaliser une vérification croisée en comparant le champ E attendu mesuré par les sondes et le champ E estimé sur la base des huit mesures d'antenne. Il convient que toute divergence supérieure à ± 3 dB entre les mesures avec la sonde et les mesures avec l'antenne soit résolue. A noter que des désaccords importants sont attendus à des fréquences peu élevées. Ceci est essentiellement dû à la charge causée par les antennes émettrices et réceptrices. Pour cette raison, l'accord entre les deux méthodes n'est pas attendu à des fréquences où la différence entre la puissance d'entrée de chambre et la puissance maximale reçue mesurée de l'antenne de référence est inférieure ou égale à 10 dB.

A.5.4 Effets de charge

Lorsque le matériel en essai est placé dans une chambre réverbérante, il est possible que le matériel en essai «charge» la chambre. Si le matériel en essai charge la chambre, l'énergie absorbée par le matériel en essai n'est plus disponible pour générer l'environnement désiré. Pour cette raison, la puissance d'entrée de chambre doit être augmentée pour compenser cette charge.

NOTE 1 Il s'agit de l'un des aspects les plus abstraits des essais en chambre réverbérante. La source des champs est en fait la réflexion de l'énergie radioélectrique par les parois. Bien qu'une antenne soit utilisée pour injecter l'énergie radioélectrique dans la chambre, cette énergie n'est pas dirigée vers le matériel en essai. Si le matériel en essai absorbe l'énergie, alors l'énergie n'est plus disponible pour participer à la génération de l'environnement d'essai. Les données suivantes démontreront le concept.

Avant de réaliser un essai quelconque, il faut effectuer une vérification des effets de charge. Ceci est fait en mesurant la puissance moyenne reçue par l'antenne de référence, pour le même nombre de pas du brasseur utilisés pour l'étalonnage avec le matériel en essai en place. Les données provenant de cette mesure unique sont ensuite comparées avec les 8 mesures provenant de l'étalonnage. Si la puissance reçue moyenne mesurée avec le matériel en essai en place NE DÉPASSE PAS l'uniformité du champ moyen mesuré au cours de l'étalonnage (c'est-à-dire elle n'est pas supérieure ou inférieure aux données d'étalonnage), alors la chambre est considérée comme n'ayant pas été chargée par le matériel en essai. Si la mesure dépasse l'uniformité du champ moyen mesuré au cours de l'étalonnage, un facteur de correction sera nécessaire pour le calcul de la puissance d'entrée nécessaire pour générer le champ d'essai désiré. Ce facteur est désigné comme le facteur de charge de chambre. Ce facteur est obtenu en prenant le rapport entre la mesure prise avec le matériel en essai en place et la valeur moyenne ou «attendue» provenant des 8 mesures prises au cours de l'étalonnage [13].

Pour déterminer la limite à laquelle une chambre peut être chargée, il faut réaliser une évaluation de l'uniformité de champ dans des conditions de charge sévères (B.1.5). Un exemple d'une telle évaluation est donné à la Figure A.15. Le volume de travail de cette chambre réverbérante a été chargé avec 27 absorbants de forme pyramidale de 122 cm. La Figure A.16 montre la quantité de charge induite dans la chambre par les absorbants. La charge de la chambre ou la quantité de charge a varié d'un maximum d'environ 23 dB à un minimum de 10 dB avec une charge moyenne d'environ 14 dB sur la gamme de fréquences de 100 MHz à 18 GHz. La Figure A.17 représente l'écart type des champs dans la chambre chargée. L'écart type de la chambre chargée, tout en variant légèrement de l'étalonnage de la chambre vide représenté aux Figures A.13 et A.14, n'a pas montré de dégradation significative.

NOTE 2 L'écart type a augmenté (au lieu de baisser) d'environ 0,5 dB selon toute probabilité en raison de la proximité de la sonde avec l'absorbant.

A.5.5 Génération d'un environnement d'essai – immunité

L'environnement d'essai désiré est généré en injectant la quantité convenable de puissance dans la chambre. La puissance nécessaire pour générer le champ désiré peut être calculée en utilisant l'Equation (A.6).

It is recommended that a cross check be performed by comparing the expected *E*-field measured by the probes and the expected *E*-field estimate based on the eight antenna measurements. Any discrepancies greater than ± 3 dB between the probe and antenna based measurements should be resolved. Note that significant disagreement at the lower frequencies is expected. This is primarily due to loading caused by the transmit and receive antennas. For this reason, the agreement between the two methods is not expected at frequencies where the difference between the chamber input power and the measured maximum received power from the reference antenna is 10 dB or less.

A.5.4 Loading effects

When an EUT is placed into a reverberation chamber there is the possibility that the EUT will “load” the chamber. If the EUT loads the chamber, the energy absorbed by the EUT is no longer available to generate the desired environment. For this reason, the chamber input power needs to be increased to compensate for this loading.

NOTE 1 This is one of the more abstract aspects of reverberation chamber testing. The source of the fields is actually the reflection of RF energy from the walls. Although an antenna is used to inject RF energy into the chamber, that energy is not directed at the EUT. If the EUT absorbs energy then that energy is no longer available to contribute to the generation of the test environment. The following data will demonstrate the concept.

Prior to performing any test, a check for loading effects must be made. This is done by measuring the mean power received by the reference antenna for the same number of tuner steps used to perform the calibration with the EUT in place. The data from this single measurement are then compared to the eight measurements from the calibration. If the mean received power measured with the EUT in place does not exceed the uniformity of the mean field measured during the calibration (i.e., it is not greater or less than the calibration data), then the chamber is considered to not have been loaded by the EUT. If the measurement exceeds the uniformity of the mean field measured during calibration, a correction factor will be required when calculating the input power necessary to generate the desired test field. This factor is referred to as the chamber loading factor (CLF). The CLF is obtained by taking the ratio between the measurement taken with the EUT in place and the mean or “expected value” from the eight measurements taken during the calibration [13].

To determine the limit to which a chamber may be loaded, an evaluation must be performed to evaluate the field uniformity under severe loading conditions (B.1.5). An example of such an evaluation is shown in Figure A.15. The working volume of this reverberation chamber was loaded with 27 pieces of 122 cm pyramidal absorber. Figure A.16 shows the amount of loading induced into the chamber by the absorbers. The chamber loading, or the amount of loading, over the frequency range of 100 MHz to 18 GHz varied from a maximum of about 23 dB to a minimum of 10 dB with a mean loading of about 14 dB. Figure A.17 shows the standard deviation of the fields in the loaded chamber. The standard deviation of the loaded chamber, while varying slightly from the empty chamber calibration shown in Figures A.13 and A.14, did not show significant degradation.

NOTE 2 Standard deviation increased (instead of decreasing) by approximately 0,5 dB, most probably due to probe proximity to absorber.

A.5.5 Generating a test environment – immunity

The desired test environment is generated by injecting the proper amount of power into the chamber. The power necessary to generate the desired field strength can be calculated using Equation (A.6).

$$P_{\text{Entrée}} = \left[\frac{E_{\text{Test}}}{\bar{E} \sqrt{CLF}} \right]^2 \quad (\text{A.6})$$

où

E_{Test} est le champ nécessaire (V/m),

CLF est le facteur de charge de chambre [B.2 (7)],

$\bar{E}$ est la moyenne du champ E maximal mesuré par les sondes divisé par la racine carrée de la puissance d'entrée utilisée au cours de l'étalonnage ((V/m)/W^{0,5}) [B.1.1 (9)].

Noter que les mesures de la sonde utilisées pour déterminer le champ E de la chambre sont les composantes rectangulaires de la sonde, PAS la racine de la somme des carrés.

A.5.6 Détermination de la puissance rayonnée – émissions

La quantité de puissance radioélectrique rayonnée par un dispositif placé dans la chambre, peut être déterminée en mesurant la quantité de puissance reçue par l'antenne de référence, et en corrigeant la perte d'insertion de la chambre. La puissance rayonnée par un dispositif peut être calculée en utilisant, soit la puissance moyenne ou de crête reçue d'un nombre donné de pas et/ou de rotations du brasseur. L'Equation (A.7) est utilisée pour les mesures fondées sur la puissance moyenne reçue et l'Equation (A.8) est utilisée pour les mesures fondées sur la puissance de crête reçue. L'avantage à utiliser des mesures fondées sur la puissance moyenne est que l'incertitude est plus faible. L'inconvénient est la nécessité pour le système de mesure d'avoir une sensibilité inférieure de 20 dB à la moyenne réelle pour obtenir une mesure précise de la moyenne et des signaux intermittents peuvent être artificiellement abaissés en raison d'un échantillonnage insuffisant.

$$P_{\text{Rayonnée}} = \frac{P_{\text{MoyRec}} \times \eta_{\text{Tx}}}{CCF} \quad (\text{A.7})$$

$$P_{\text{Rayonnée}} = \frac{P_{\text{MaxRec}} \times \eta_{\text{Tx}}}{CLF \times IL} \quad (\text{A.8})$$

où

$P_{\text{Rayonnée}}$ est la puissance rayonnée provenant du dispositif dans la largeur de bande de mesure,

CCF est le facteur d'étalonnage de chambre [B.2(6)],

CLF est le facteur de charge de chambre [B.2(7)],

IL est la perte d'insertion de la chambre (B.1.3),

P_{MoyRec} est la puissance reçue telle qu'elle est mesurée par l'antenne de référence moyennée sur le nombre de pas du brasseur, [B.1.1(5)]

P_{MaxRec} est la puissance maximale reçue sur le nombre de pas du brasseur [B.1.1(5)],

η_{Tx} est le facteur d'efficacité de l'antenne émettrice utilisée pour l'étalonnage de la chambre, et on peut estimer qu'il est de 0,75 pour une antenne log périodique et de 0,9 pour une antenne cornet.

NOTE Il est recommandé de se référer à la CISPR 16-1 pour la sélection des détecteurs des récepteurs de mesure.

$$P_{\text{input}} = \left[\frac{E_{\text{Test}}}{\bar{E} \cdot \sqrt{CLF}} \right]^2 \quad (\text{A.6})$$

where

E_{Test} is the required field strength (V/m),

CLF is the chamber loading factor [B.2(7)], and

$\bar{E}$ is the average of the maximum E-field measured by the probes divided by the square root of the input power used during calibration ((V/m)/W^{0,5}) [B.1.1(9)].

Note that the probe measurements used to determine the chamber E-field are the rectangular components of the probe, not the RSS.

A.5.6 Determining radiated power – emissions

The amount of RF power radiated by a device placed in the chamber can be determined by measuring the amount of power received by the reference antenna and correcting for the insertion loss of the chamber. The power radiated from a device can be calculated using either average or peak received power from a given number of tuner steps and/or tuner rotations. Equation (A.7) is used for mean-received-power-based measurements and Equation (A.8) is used for peak-received-power-based measurements. The advantage to using measurements based on mean power is a lower uncertainty. The disadvantage is that the measurement system must have sensitivity of 20 dB lower than the actual mean to get an accurate average measurement and intermittent signals may be artificially lowered due to insufficient sampling.

$$P_{\text{Radiated}} = \frac{P_{\text{AveRec}} \times \eta_{\text{Tx}}}{CCF} \quad (\text{A.7})$$

$$P_{\text{Radiated}} = \frac{P_{\text{MaxRec}} \times \eta_{\text{Tx}}}{CLF \times IL} \quad (\text{A.8})$$

where

P_{Radiated} is the radiated power from the device within the measurement band width,

CCF is the chamber calibration factor [B.2(6)],

CLF is the chamber loading factor [B.2(7)],

IL is the chamber insertion loss (B.1.3),

P_{AveRec} is the received power as measured by the reference antenna averaged over the number of tuner steps, [B.1.1(5)]

P_{MaxRec} is the maximum power received over the number of tuner steps [B.1.1(5)], and

η_{Tx} is the antenna efficiency factor for the Tx antenna used in calibrating the chamber and can be assumed to be 0,75 for a log periodic antenna and 0,9 for a horn antenna.

NOTE CISPR 16-1 should be consulted when selecting detectors of measuring receivers.

A.5.7 Autres questions

L'étalonnage est fondé sur l'utilisation d'une onde continue. Lorsqu'on utilise des formes d'onde modulées, il faut tenir compte de la distorsion causée par le facteur de qualité de la chambre «Q» (Article B.3). Le facteur Q peut être calculé en utilisant l'Equation (A.9).

$$Q = \left(\frac{16\pi^2 V}{\eta_{Tx} \eta_{Rx} \lambda^3} \right) \left(\frac{P_{MoyRec}}{P_{Entrée}} \right) \quad n \text{ emplacements d'antenne} \quad (A.9)$$

où

η_{Tx} et η_{Rx} sont les facteurs d'efficacité de l'antenne pour les antennes émettrice et réceptrice respectivement, et on peut estimer qu'il est de 0,75 pour une antenne log périodique et de 0,9 pour une antenne cornet,

V est le volume de la chambre (m^3),

λ est la longueur d'onde dans l'espace libre (m) à la fréquence spécifique,

P_{MoyRec} est la puissance reçue moyennée provenant de l'antenne de référence,

$P_{Entrée}$ est la puissance d'entrée de chambre (voir [13]), et

$n \text{ emplacements d'antenne}$ est le nombre d'emplacements d'antenne utilisés pour collecter les données d'étalonnage à la fréquence évaluée.

Pour les essais en impulsion, la constante de temps de la chambre, τ , est donnée par l'Equation (A.10).

$$\tau = \frac{Q}{2\pi f} \quad (A.10)$$

où

Q est la valeur calculée en utilisant l'Equation (A.9) ci-dessus, et

f est la fréquence d'essai (Hz) (voir [13]).

Il convient que la constante de temps de la chambre ne soit pas supérieure à 40 % de toute largeur d'impulsion de forme d'onde d'essai. Si tel est le cas, il faut ajouter un absorbant dans la chambre ou augmenter la largeur d'impulsion. Si on utilise un absorbant, ajouter des absorbants jusqu'à satisfaire la prescription de constante de temps avec le moins d'absorbants possibles. Il faut définir un nouveau facteur de charge de chambre si des absorbants sont nécessaires. Si la charge due à l'absorbant est supérieure à celle obtenue lors de la vérification de charge de la chambre (B.1.5), alors il faut répéter l'étalonnage de la chambre.

A.6 Documents de référence

- [1] CRAWFORD, ML. and KOEPKE GH. *Design, evaluation, and use of a reverberation chamber for performing electromagnetic susceptibility/vulnerability measurements*. National Bureau of Standards (US) Technical Note 1092, April 1986.
- [2] HILL, DA. *Electromagnetic theory of reverberation chambers*. National Institute of Standards and Technology (US) Technical Note 1506, December 1998.
- [3] BÄCKSTRÖM, M., LUNDÉN O. and KILDAL, P-S. *Reverberation Chambers for EMC Susceptibility and Emission Analyses. Review of Radio Science 1999-2002*, Chapter 18, Wiley-Interscience, John Wiley & Sons, Inc., New York, 2002.

A.5.7 Other concerns

The calibration is based on using CW excitation. When using modulated waveforms, consideration must be given to distortion caused by the chamber quality factor or “Q” (B.3). The chamber Q can be calculated using Equation (A.9).

$$Q = \left(\frac{16\pi^2 V}{\eta_{Tx} \eta_{Rx} \lambda^3} \right) \left(\frac{P_{AveRec}}{P_{Input}} \right)_{n \text{ Antenna Locations}} \quad (\text{A.9})$$

where

η_{Tx} and η_{Rx} are the antenna efficiency factors for the Tx and Rx antenna, respectively and can conservatively be assumed to be 0,75 for a log periodic antenna and 0,9 for a horn antenna,

V is the chamber volume (m^3),

λ is the free space wavelength (m) at the specific frequency,

P_{AveRec} is the averaged received power from the reference antenna,

P_{Input} is the chamber input power [13], and

the n Antenna Locations is the number of antenna locations used to collect the calibration data at the frequency being evaluated.

For pulse testing the chamber time constant τ , is given by Equation (A.10)

$$\tau = \frac{Q}{2\pi f} \quad (\text{A.10})$$

where

Q is the value calculated using Equation (A.9) above, and

f is the test frequency (Hz) [13].

The chamber time constant should not be greater than 0,4 of any test waveform pulse width. If it is, absorber must be added to the chamber or the pulse width increased. If absorber is used, add absorber until the time constant requirement is satisfied with the least possible absorber. A new CLF must be defined if absorber material is required. If the loading due to the absorber is greater than that obtained in the chamber loading verification (B.1.5), then the chamber calibration must be repeated.

A.6 Reference documents

- [1] CRAWFORD, ML. and KOEPKE GH. *Design, evaluation, and use of a reverberation chamber for performing electromagnetic susceptibility/vulnerability measurements*. National Bureau of Standards (US) Technical Note 1092, April 1986.
- [2] HILL, DA. *Electromagnetic theory of reverberation chambers*. National Institute of Standards and Technology (US) Technical Note 1506, December 1998.
- [3] BÄCKSTRÖM, M., LUNDÉN O. and KILDAL, P-S. *Reverberation Chambers for EMC Susceptibility and Emission Analyses. Review of Radio Science 1999-2002*, Chapter 18, Wiley-Interscience, John Wiley & Sons, Inc., New York, 2002.

- [4] LADBURY, JM, KOEPKE GH. and Camell, DG. *Evaluation of the NASA Langley research center mode-stirred chamber facility*. National Institute of Standards and Technology (US) Technical Note 1508, January 1999.
- [5] LEHMAN, TH., FREYER, GJ., CRAWFORD, ML. and HATFIELD, MO. Statistical theory of reverberation chambers—part i: overmoded case. *Proceedings of the 1997 Mode-Stirred Chamber, Anechoic Chamber, and OATS Users Meeting*, Vail, Colorado April 28-May 2, 1997.
- [6] LEHMAN, TH., FREYER, GJ., CRAWFORD, ML. and HATFIELD, MO. Statistical theory of reverberation chambers—part ii: undermoded case. *Proceedings of the 1997 Mode-Stirred Chamber, Anechoic Chamber, and OATS Users Meeting*, Vail, Colorado April 28-May 2, 1997.
- [7] ARNAUT, LR. Operation of electromagnetic reverberation chambers with wave diffractors at relatively low frequencies. *IEEE Trans. EMC*, Nov. 2001, vol. 43 nr. 4, p. 637-653.
- [8] ARNAUT, LR. Compound exponential distributions for undermoded reverberation chambers. Accepted for publication in *IEEE Trans. EMC* (2002).
- [9] LUNDEN, O. and BACKSTROM, M. Stirrer efficiency in FOA reverberation chambers, evaluation of correlation coefficients and chi-squared tests. Presented at the *IEEE International Symposium on EMC*, Washington, DC, August 2000, p. 11-16.
- [10] LEHMAN, TH. A statistical theory of electromagnetic fields in complex cavities. *Note 494, USAF Phillips Laboratory Interaction Note Series*, May 1993.
- [11] FREYER, GJ., HATFIELD, MO., JOHNSON, DM. and SLOCUM, MB. Comparison of measured and theoretical statistical properties of complex cavities. Presented at the *IEEE International Symposium on EMC*, Santa Clara, CA, August 1996, p. 250-253.
- [12] CEI 61000-4-3, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test*
- [13] RTCA/DO-160D, *Environmental conditions and test procedures for airborne equipment*. (Change Notice to Section 20), November 2000.
- [14] MIL-STD-461E, *Requirements for the control of electromagnetic interference emissions and susceptibility*, 20 August 1999.
- [15] LADBURY, JM. and GOLDSMITH, K. Reverberation chamber verification procedures, or how to check if your chamber ain't broke and suggestions on how to fix it if it is. Presented at the *IEEE International Symposium on EMC*, Washington DC, Aug 2000, p.17-22.
- [16] LADBURY, JM. Reverberation chamber relationships: corrections and improvements, or three wrongs can (almost) make a right. Presented at the *IEEE International Symposium on EMC*, Seattle, WA, August 1999, p.1-6.
- [17] MIL-STD-1377, *Effectiveness of cable, connector, and weapon enclosure shielding and filters in precluding hazards of electromagnetic radiation to ordnance, measurement of*.

- [4] LADBURY, JM, KOEPKE GH. and Camell, DG. *Evaluation of the NASA Langley research center mode-stirred chamber facility*. National Institute of Standards and Technology (US) Technical Note 1508, January 1999.
- [5] LEHMAN, TH., FREYER, GJ., CRAWFORD, ML. and HATFIELD, MO. Statistical theory of reverberation chambers—part i: overmoded case. *Proceedings of the 1997 Mode-Stirred Chamber, Anechoic Chamber, and OATS Users Meeting*, Vail, Colorado April 28-May 2, 1997.
- [6] LEHMAN, TH., FREYER, GJ., CRAWFORD, ML. and HATFIELD, MO. Statistical theory of reverberation chambers—part ii: undermoded case. *Proceedings of the 1997 Mode-Stirred Chamber, Anechoic Chamber, and OATS Users Meeting*, Vail, Colorado April 28-May 2, 1997.
- [7] ARNAUT, LR. Operation of electromagnetic reverberation chambers with wave diffractors at relatively low frequencies. *IEEE Trans. EMC*, Nov. 2001, vol. 43 nr. 4, p. 637-653.
- [8] ARNAUT, LR. Compound exponential distributions for undermoded reverberation chambers. Accepted for publication in *IEEE Trans. EMC* (2002).
- [9] LUNDEN, O. and BACKSTROM, M. Stirrer efficiency in FOA reverberation chambers, evaluation of correlation coefficients and chi-squared tests. Presented at the *IEEE International Symposium on EMC*, Washington, DC, August 2000, p. 11-16.
- [10] LEHMAN, TH. A statistical theory of electromagnetic fields in complex cavities. *Note 494, USAF Phillips Laboratory Interaction Note Series*, May 1993.
- [11] FREYER, GJ., HATFIELD, MO., JOHNSON, DM. and SLOCUM, MB. Comparison of measured and theoretical statistical properties of complex cavities. Presented at the *IEEE International Symposium on EMC*, Santa Clara, CA, August 1996, p. 250-253.
- [12] IEC 61000-4-3, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test*
- [13] RTCA/DO-160D, *Environmental conditions and test procedures for airborne equipment*. (Change Notice to Section 20), November 2000.
- [14] MIL-STD-461E, *Requirements for the control of electromagnetic interference emissions and susceptibility*, 20 August 1999.
- [15] LADBURY, JM. and GOLDSMITH, K. Reverberation chamber verification procedures, or how to check if your chamber ain't broke and suggestions on how to fix it if it is. Presented at the *IEEE International Symposium on EMC*, Washington DC, Aug 2000, p.17-22.
- [16] LADBURY, JM. Reverberation chamber relationships: corrections and improvements, or three wrongs can (almost) make a right. Presented at the *IEEE International Symposium on EMC*, Seattle, WA, August 1999, p.1-6.
- [17] MIL-STD-1377, *Effectiveness of cable, connector, and weapon enclosure shielding and filters in precluding hazards of electromagnetic radiation to ordnance, measurement of*.

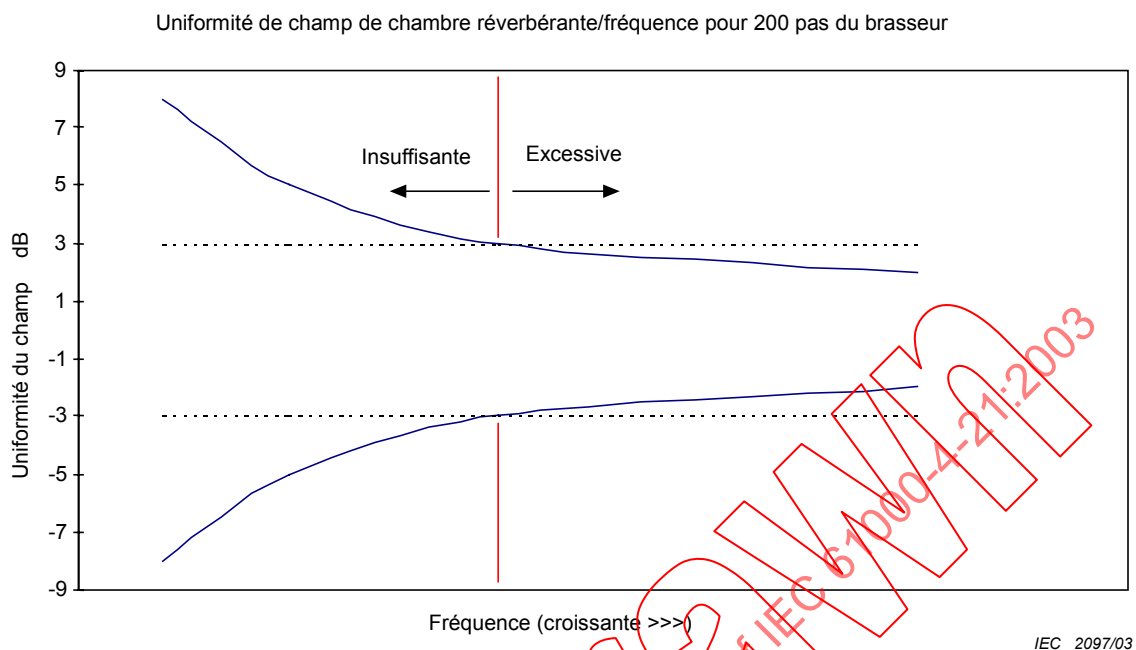
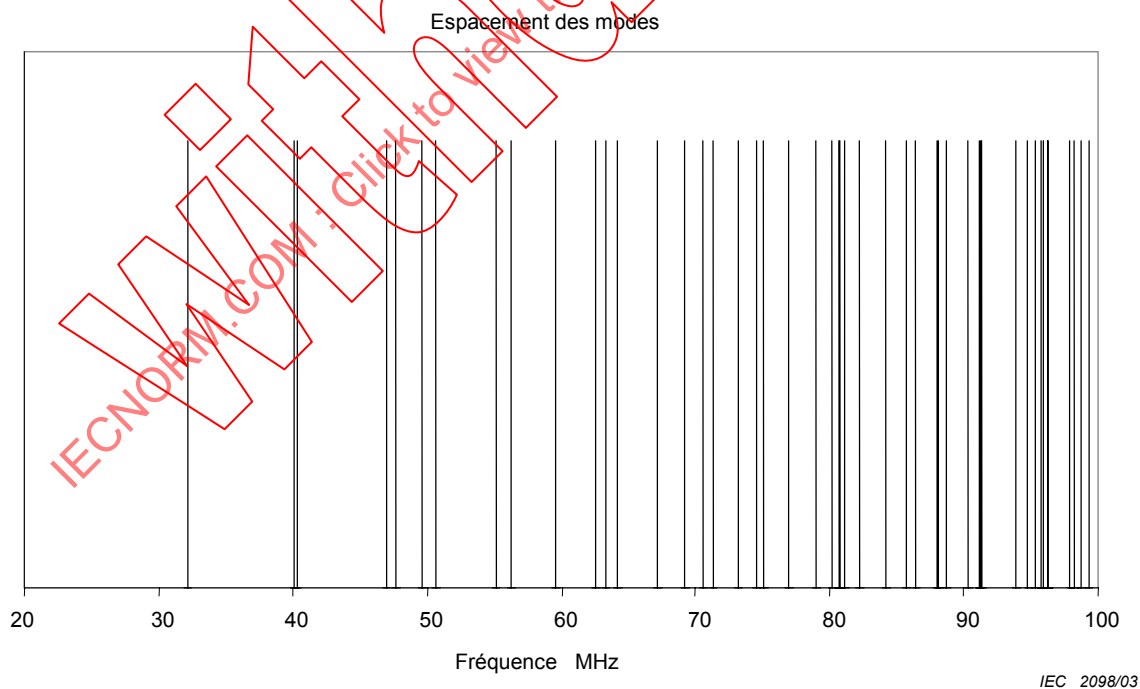


Figure A.1 – Uniformité de champ type pour 200 pas du brasseur



NOTE L'axe vertical n'a d'autre signification que de montrer qu'un mode est présent.

Figure A.2 – Structure modale théorique pour une chambre de 10,8 m × 5,2 m × 3,9 m

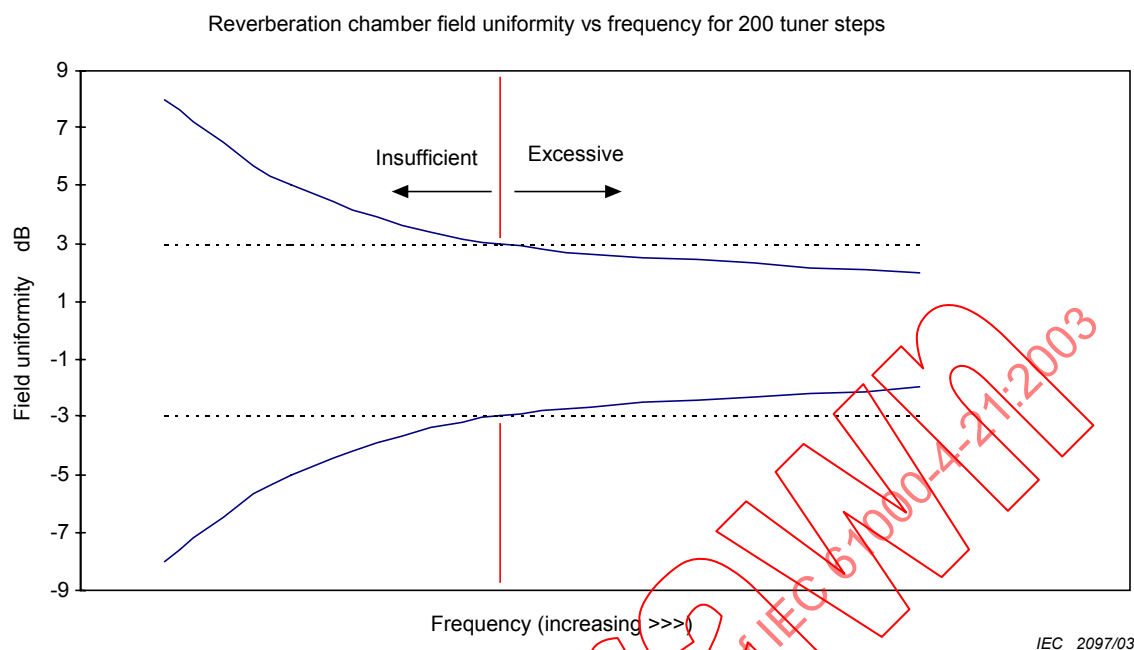
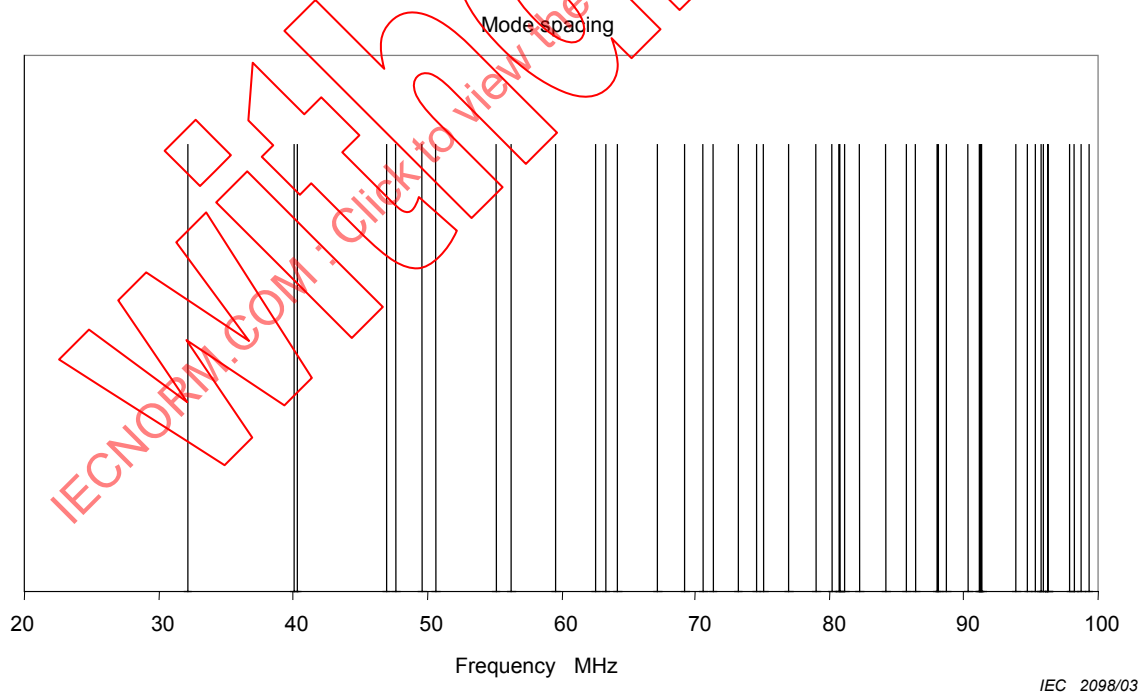


Figure A.1 – Typical field uniformity for 200 tuner steps



NOTE Vertical axis has no meaning other than to represent a mode is present.

Figure A.2 – Theoretical modal structure for a 10,8 m × 5,2 m × 3,9 m chamber

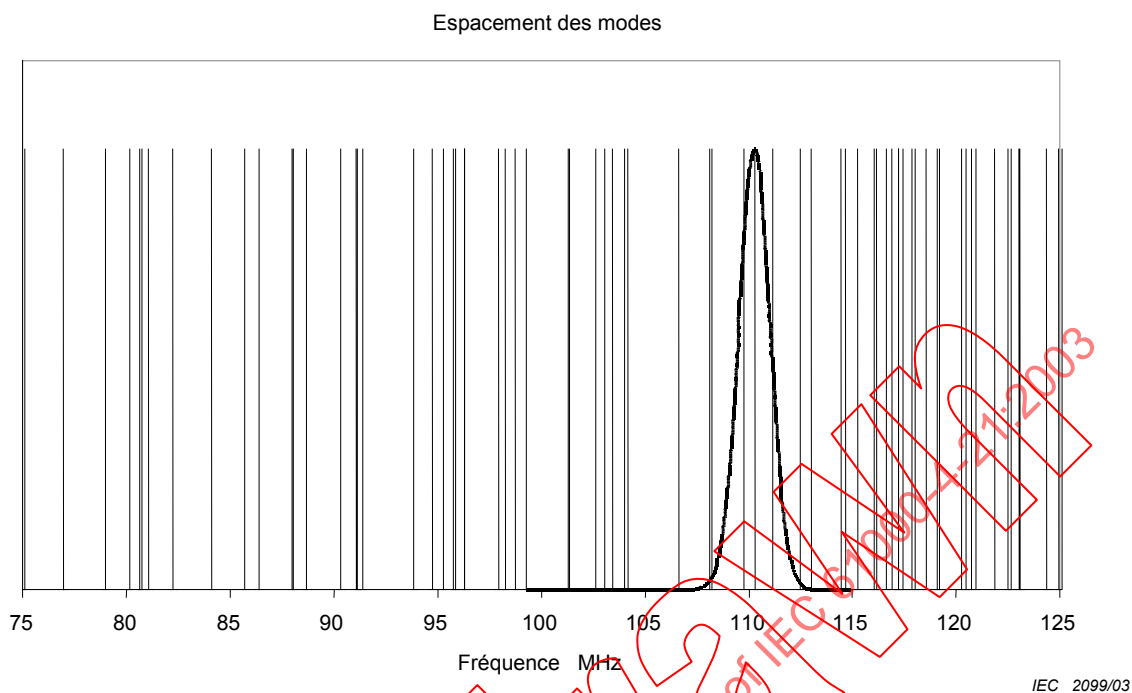


Figure A.3 – Structure modale théorique avec largeur de bande du facteur de qualité superposée sur le 60^{ème} mode

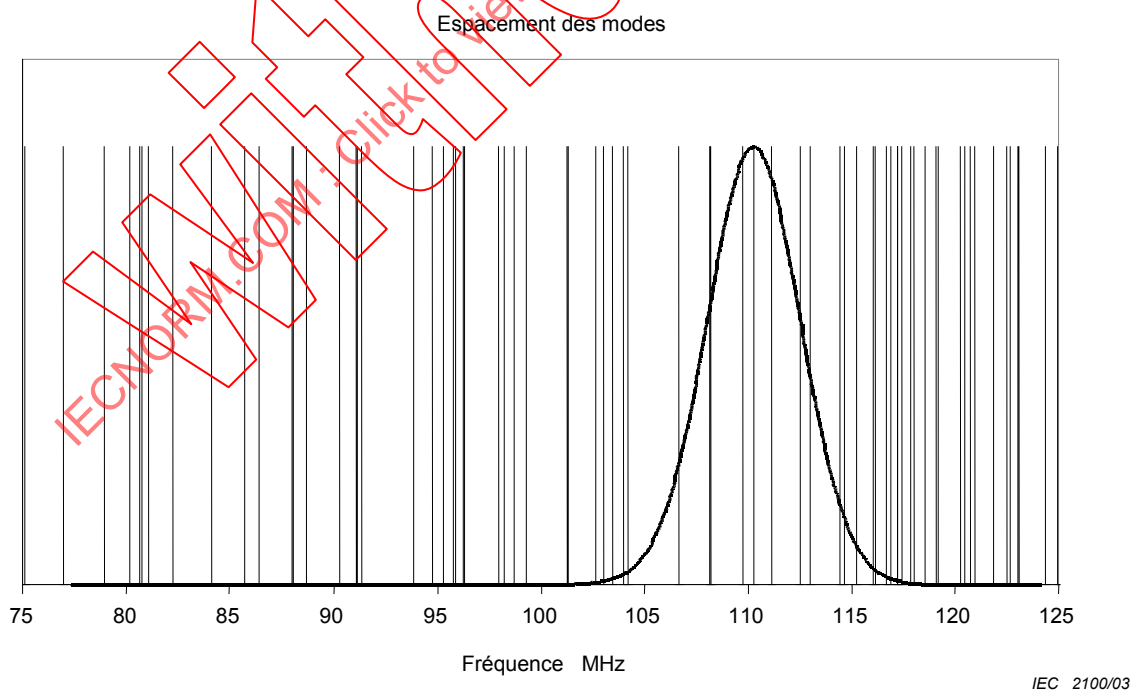


Figure A.4 – Structure modale théorique avec largeur de bande du facteur de qualité plus élevée (Q plus faible) superposée sur le 60^{ème} mode

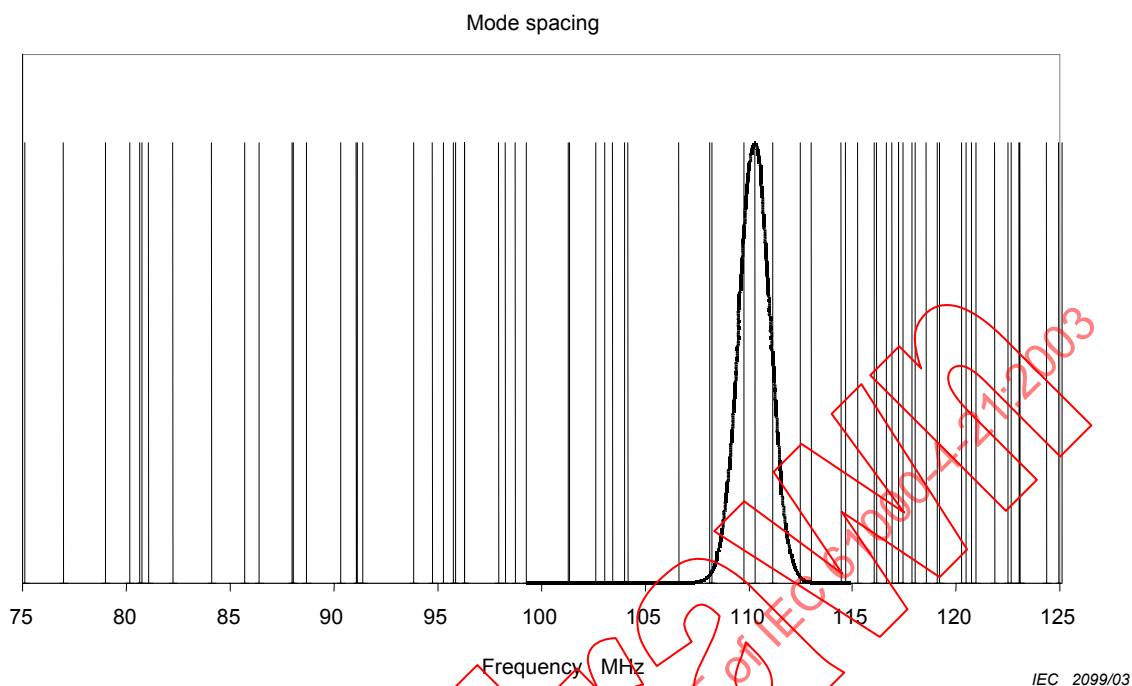


Figure A.3 – Theoretical modal structure with quality factor bandwidth superimposed on 60th mode

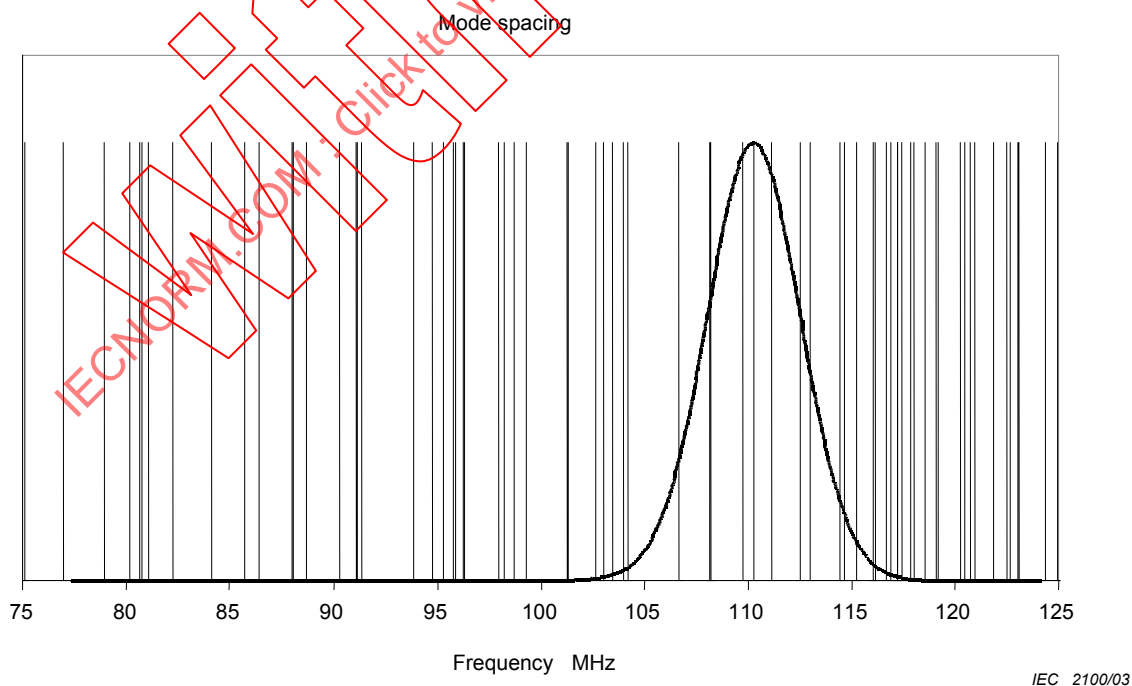
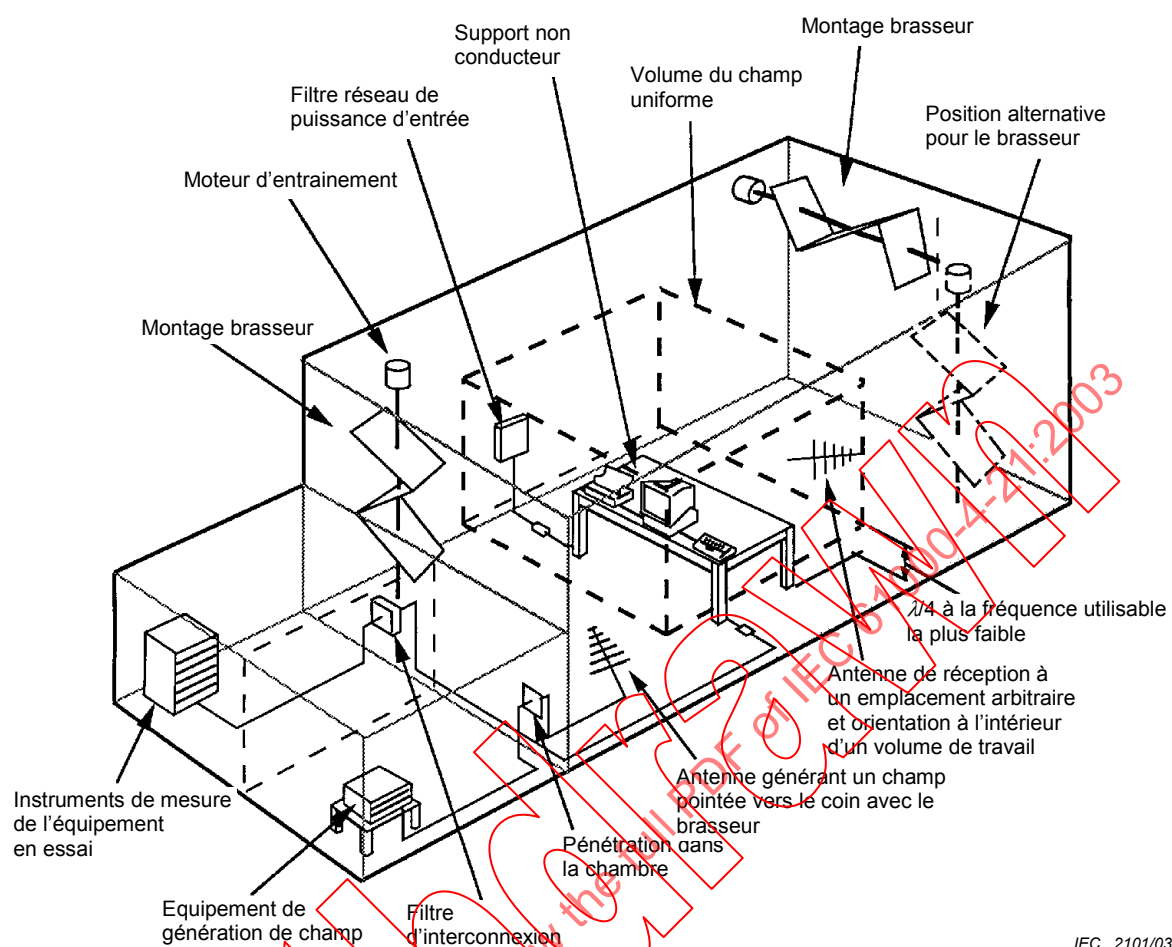
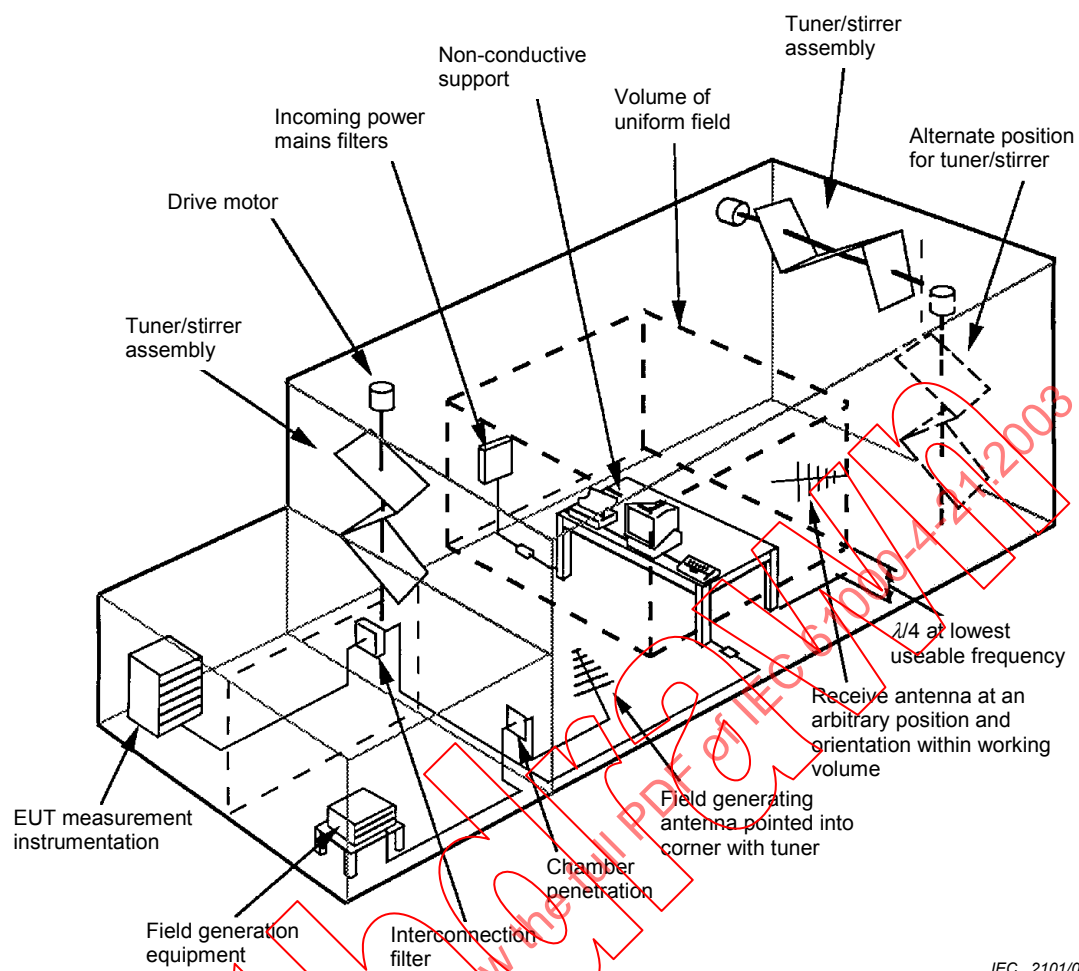


Figure A.4 – Theoretical modal structure with greater quality factor bandwidth (lower Q) superimposed on 60th mode



IEC 2101/03

Figure A.5 – Installation de chambre réverbérante type



IEC 2101/03

Figure A.5 – Typical reverberation chamber facility

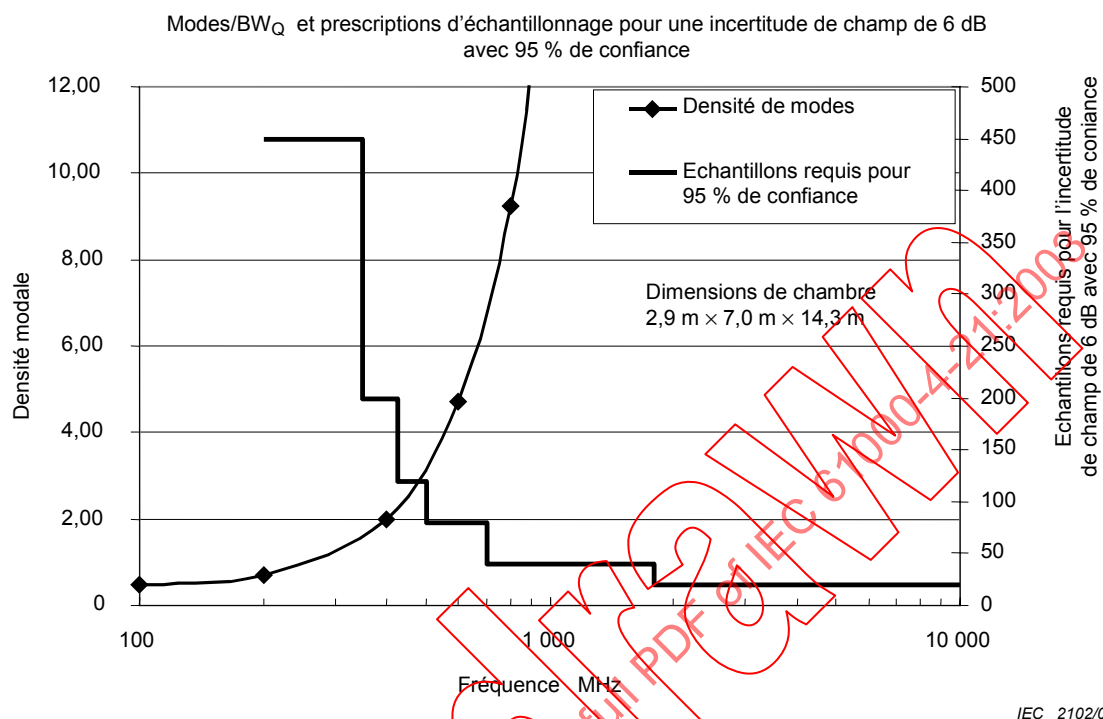


Figure A.6 – Prescriptions d'échantillonnage théorique pour une confiance de 95 %
[voir Equation (A.3) sur le calcul de la densité de modes]

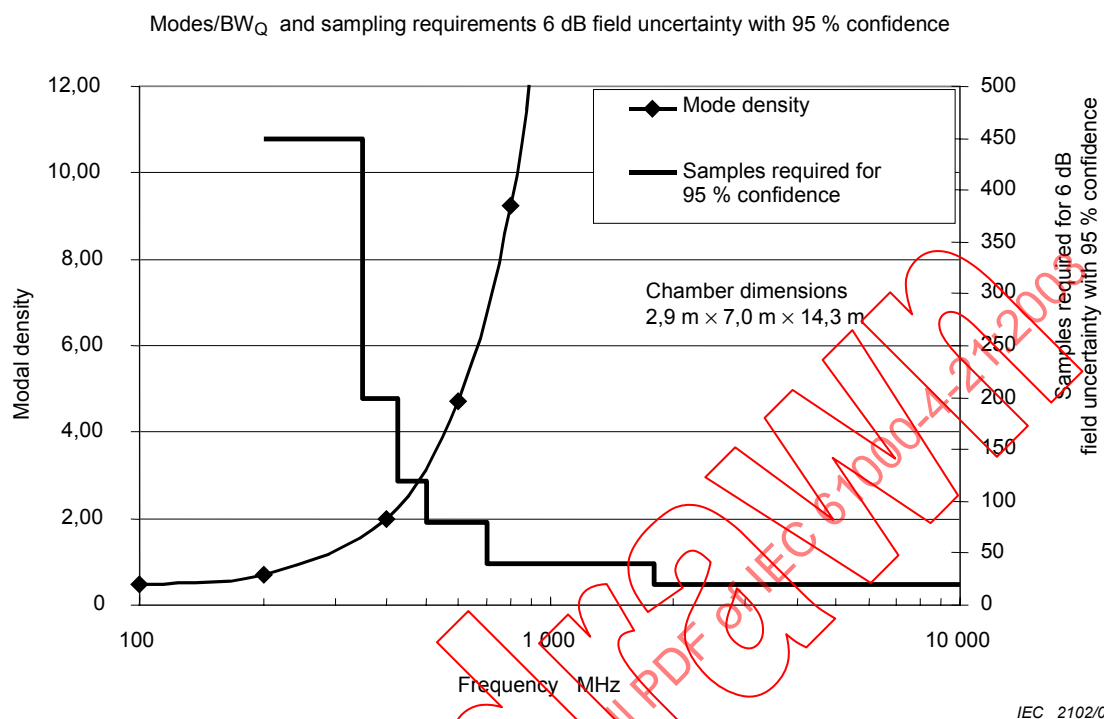
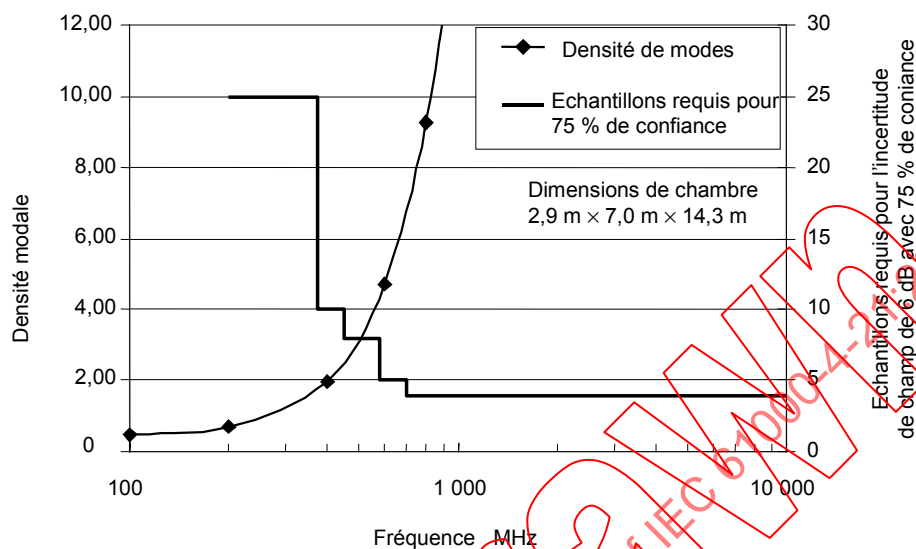


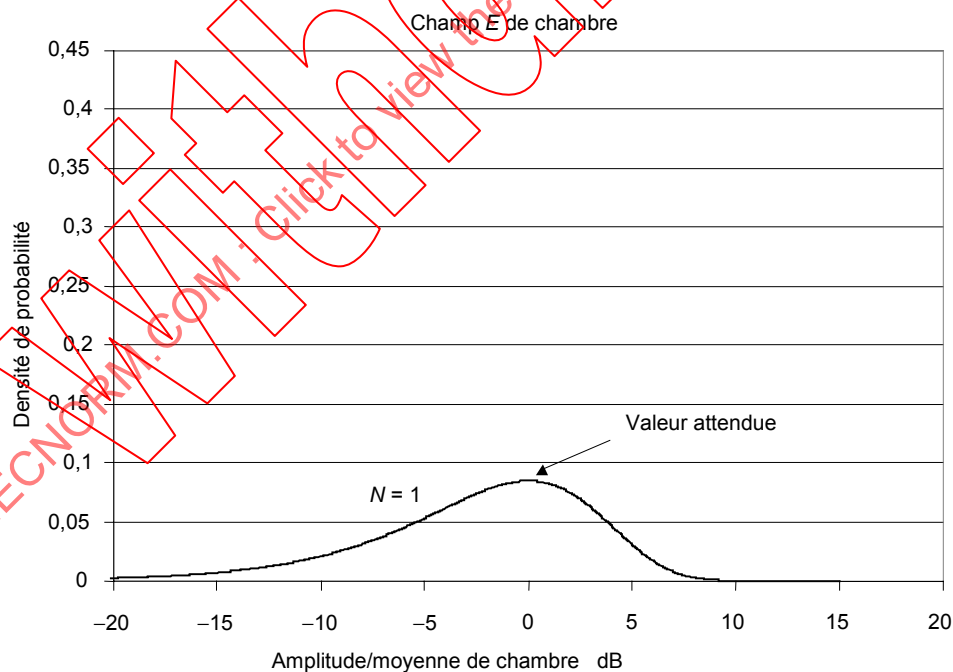
Figure A.6 – Theoretical sampling requirements for 95 % confidence
 [see equation (A.3) on calculating mode density]

Modes/ BW_Q et prescriptions d'échantillonnage pour une incertitude de champ de 6 dB avec 95 % de confiance



IEC 2103/03

Figure A.7 – Prescriptions d'échantillonnage théorique pour confiance réduite



IEC 2104/03

Figure A.8 – Fonction de densité de probabilité normalisée d'une composante de champ électrique à un emplacement fixe pour une mesure avec un seul échantillon

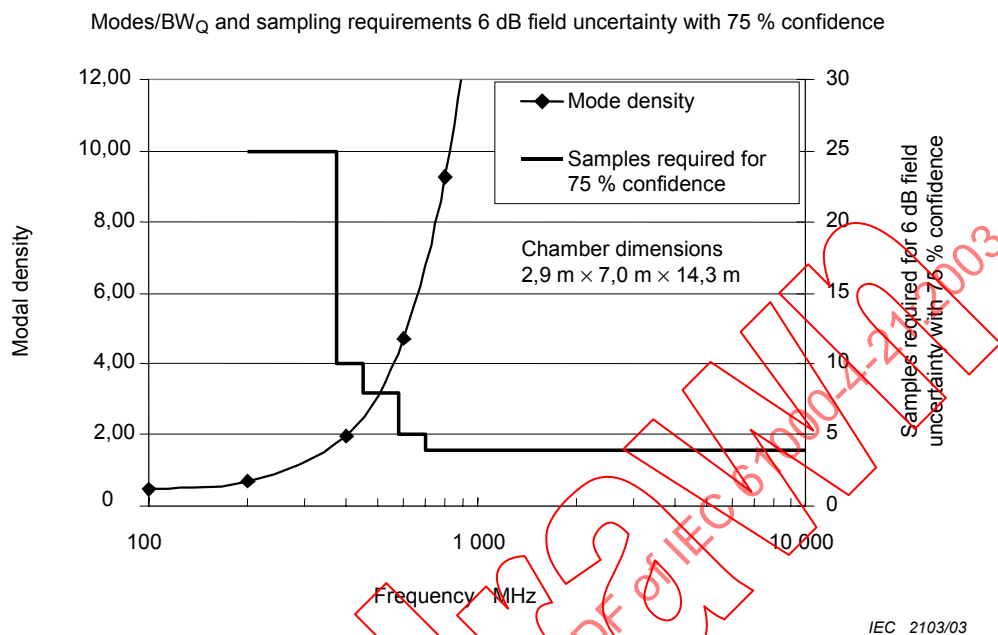


Figure A.7 – Theoretical sampling requirements for reduced confidence

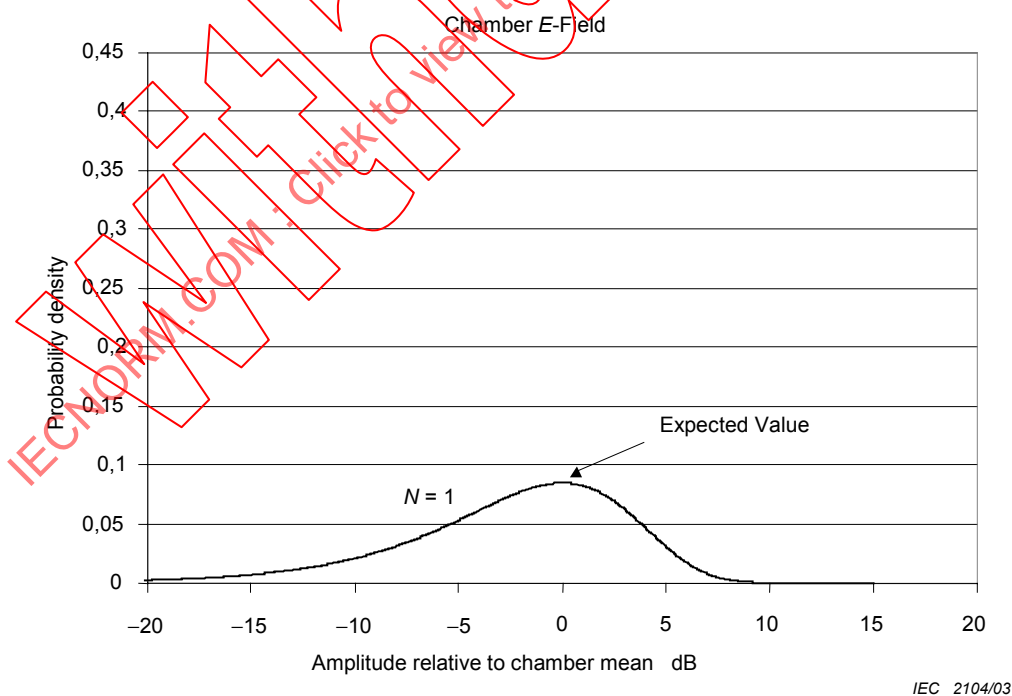


Figure A.8 – Normalized PDF of an electric field component at a fixed location for a measurement with a single sample

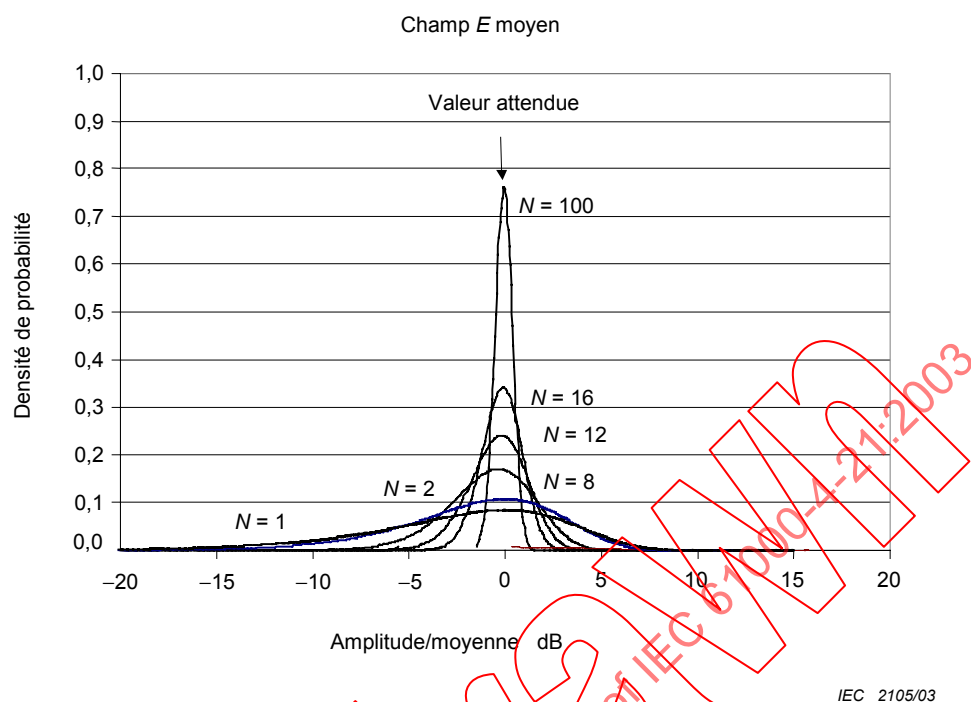


Figure A.9 – Fonction de densité de probabilité de la moyenne d'une composante de champ électrique à un emplacement fixe pour une mesure avec N échantillons

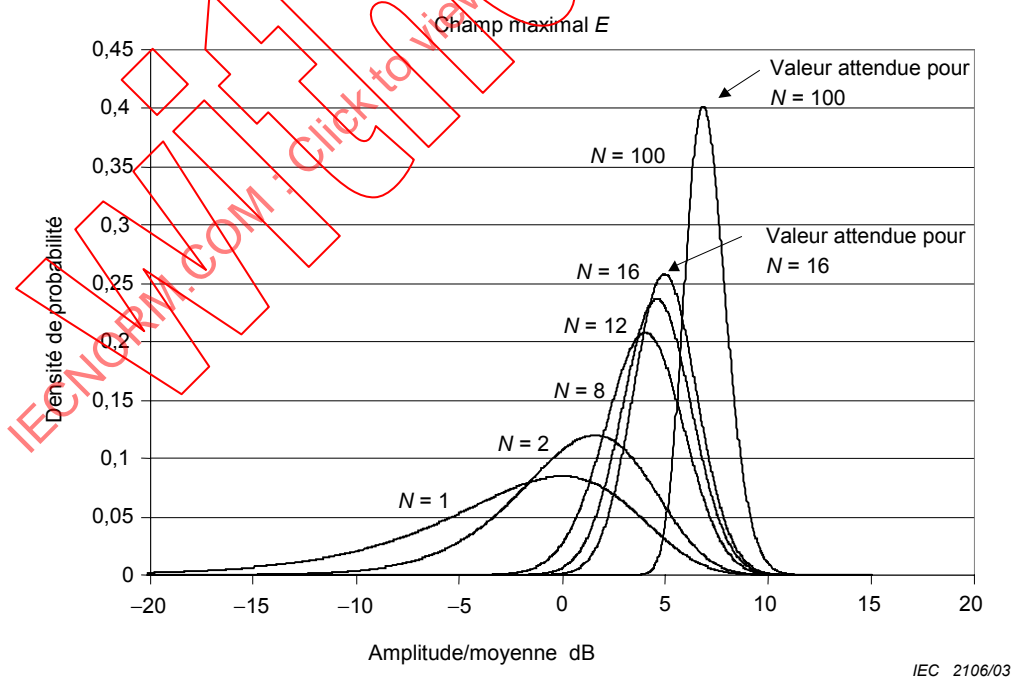


Figure A.10 – Fonction de densité de probabilité du maximum d'une composante de champ électrique à un emplacement pour une mesure avec N échantillons

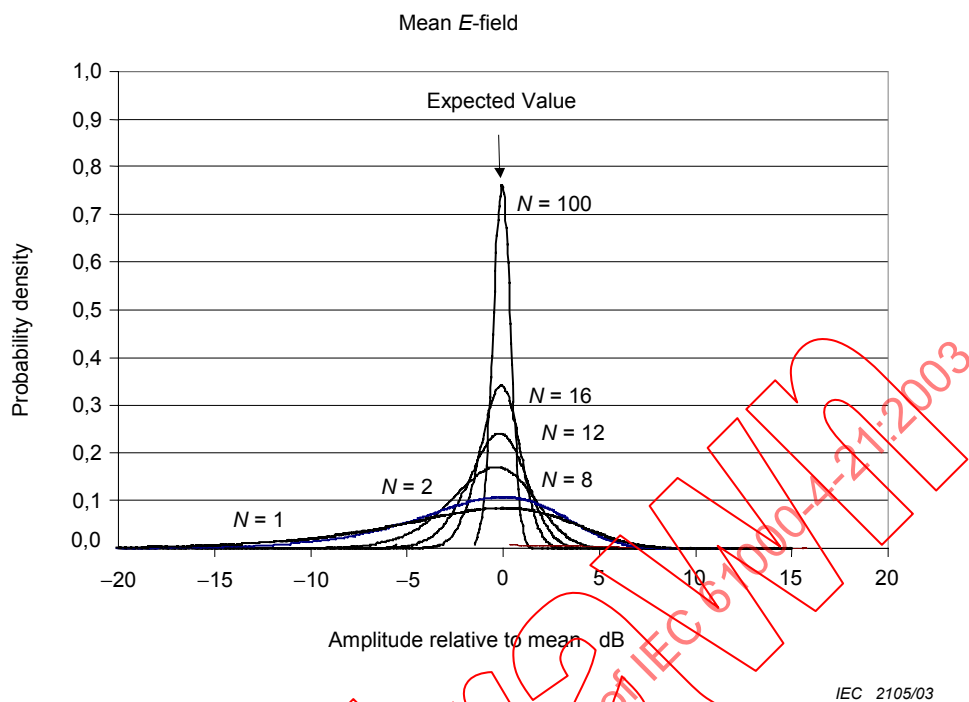


Figure A.9 – Normalized PDF of the mean of an electric field component at a fixed location for a measurement with N samples

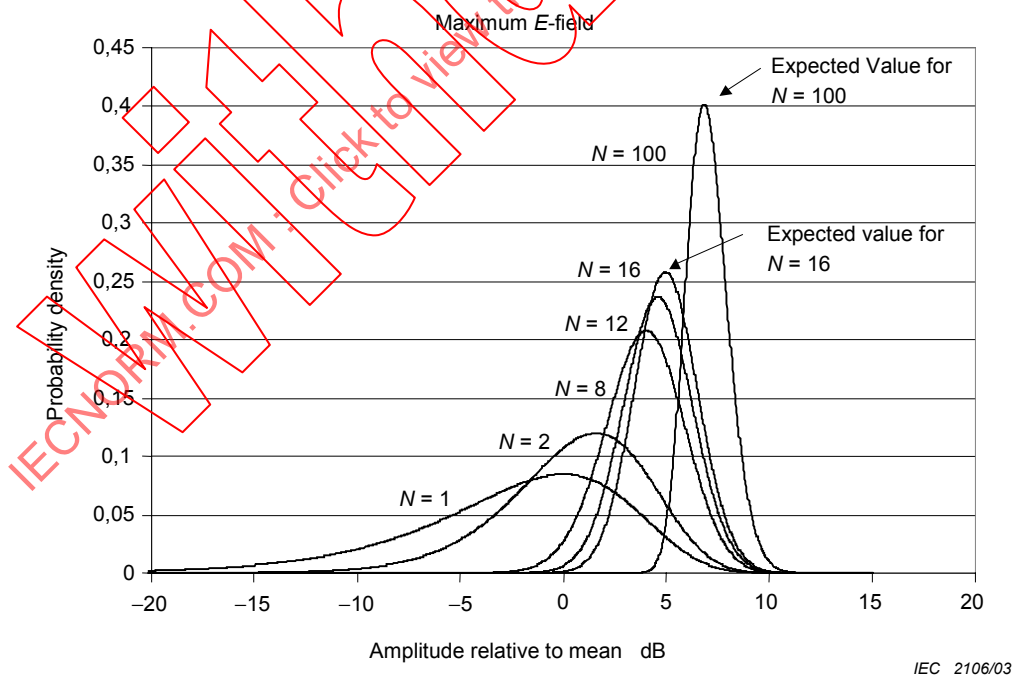
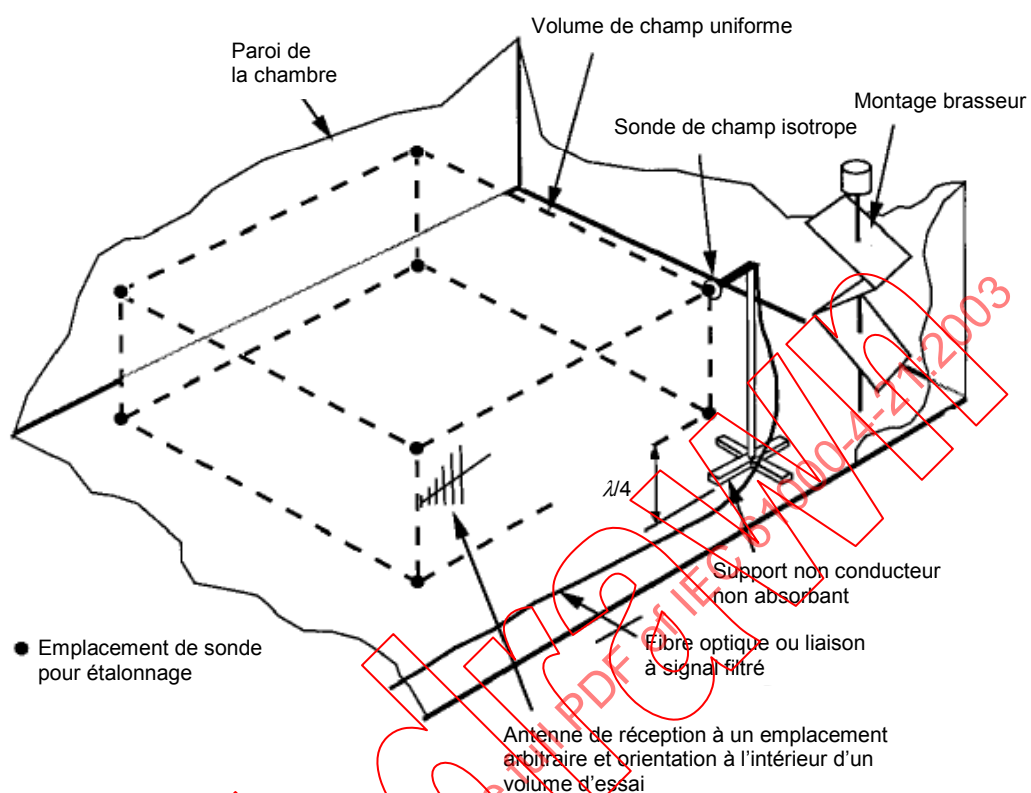
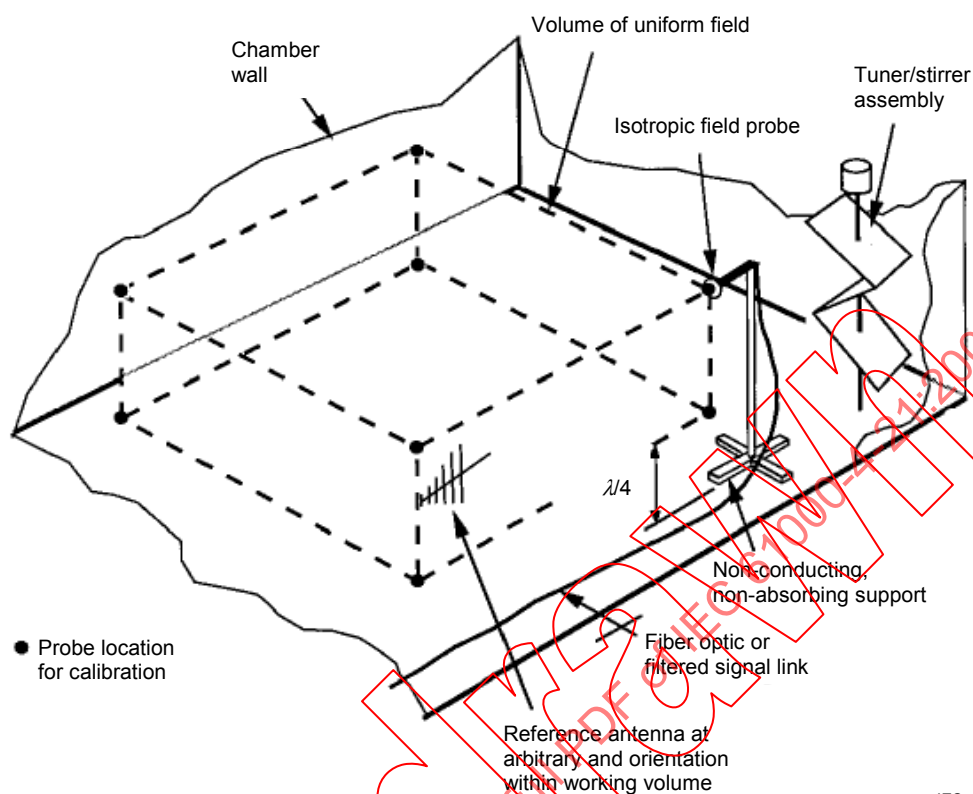


Figure A.10 – Normalized PDF of the maximum of an electric field component at a fixed location for a measurement with N samples



IEC 2107/03

Figure A.11 – Volume de travail de la chambre



IEC 2107/03

Figure A.11 – Chamber working volume

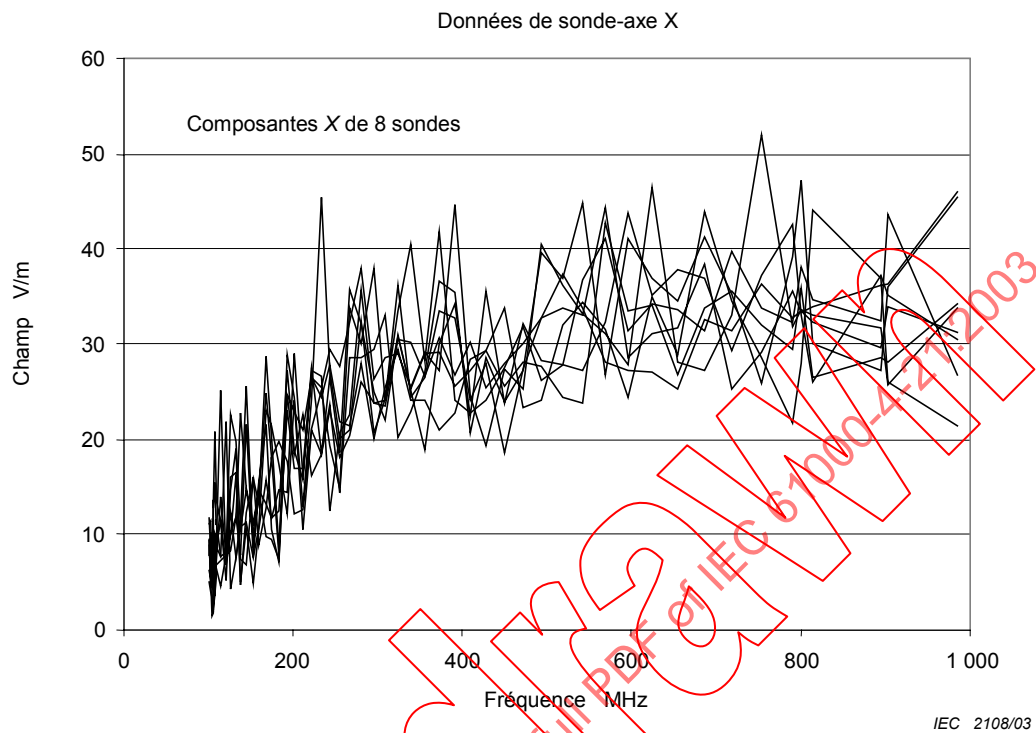


Figure A.12 – Données types de sonde

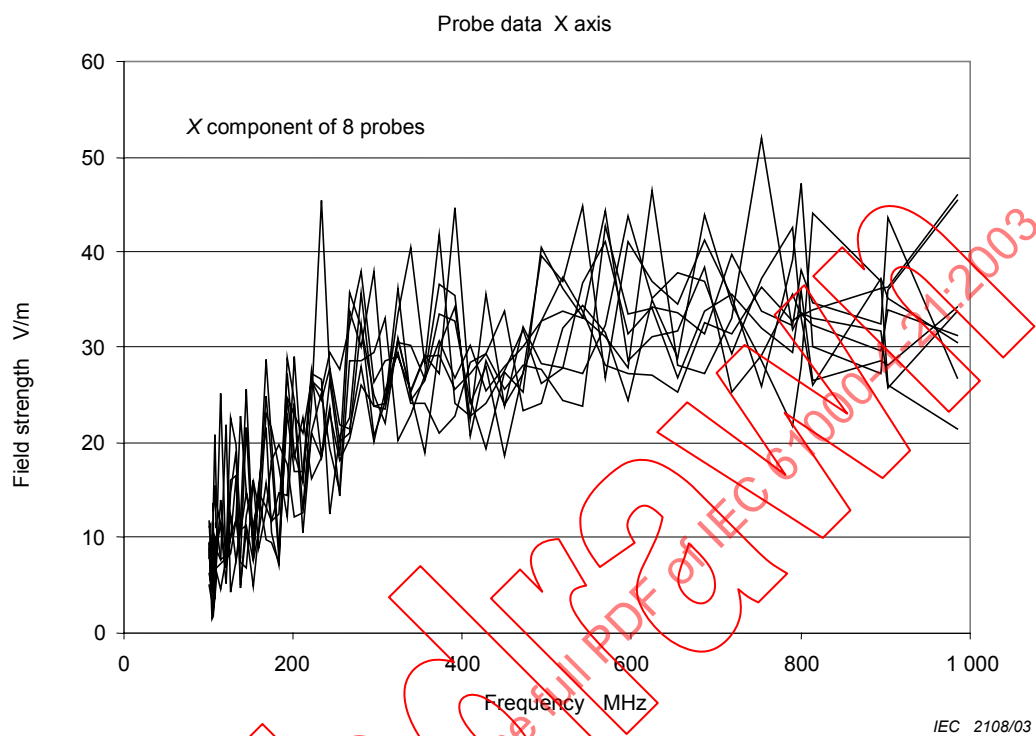


Figure A.12 – Typical probe data

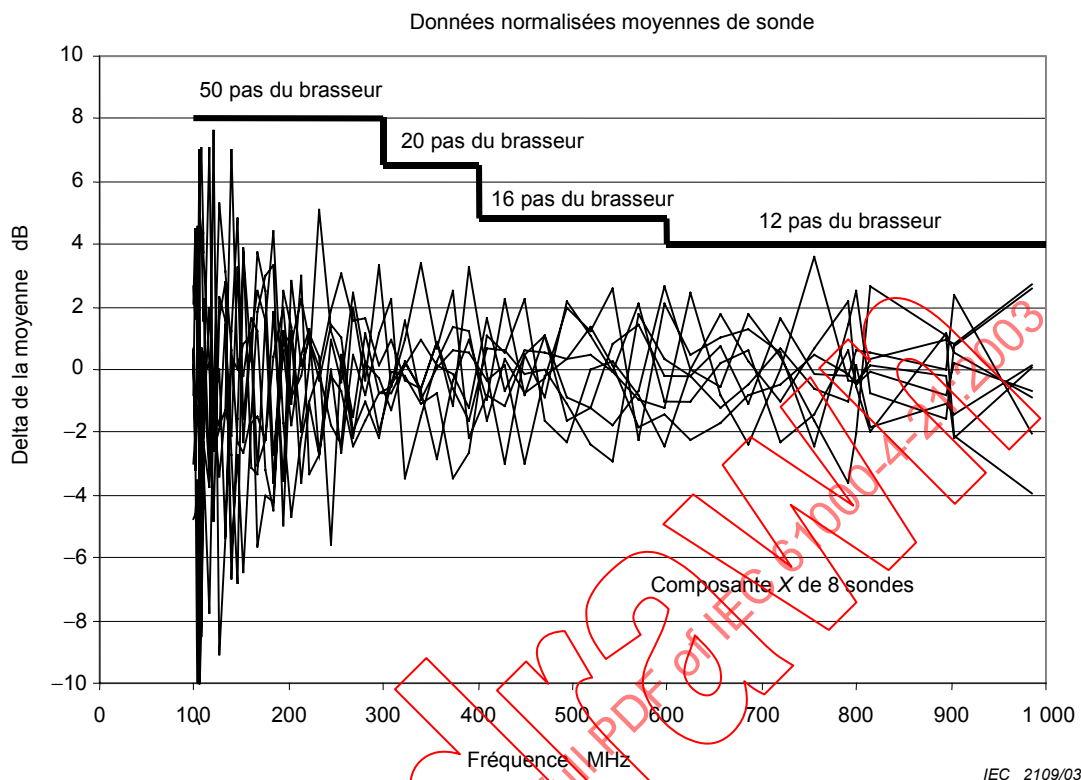


Figure A.13 – Données normalisées moyennes pour la composante x du champ E de 8 sondes

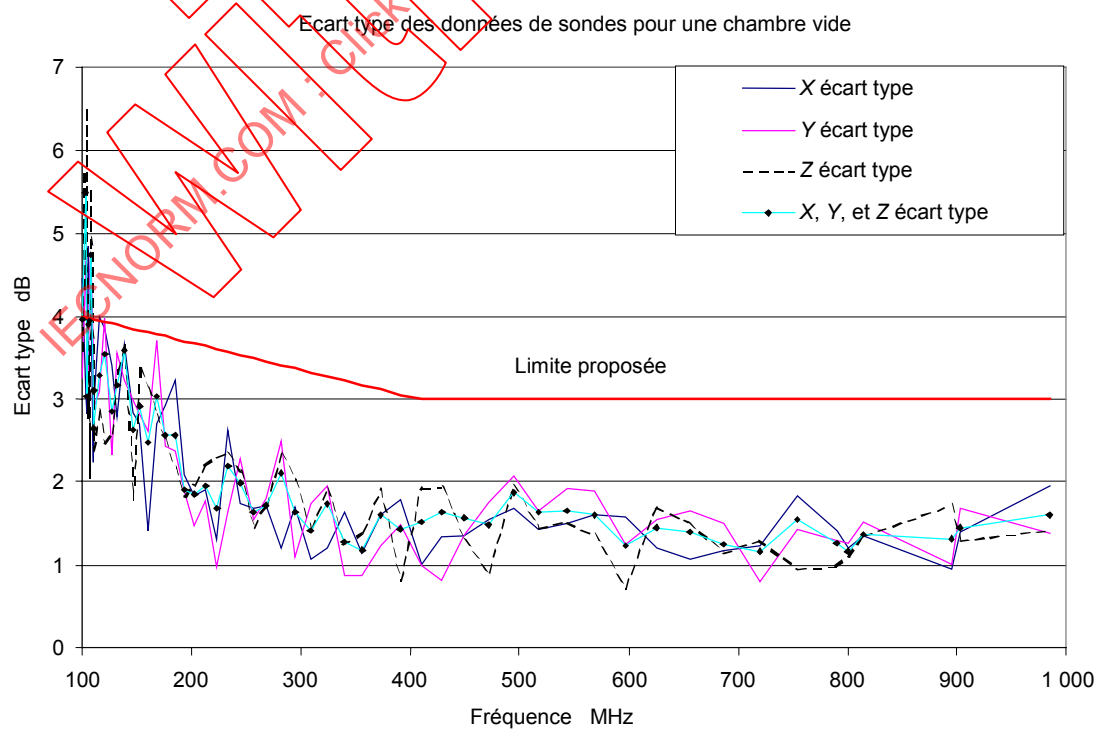


Figure A.14 – Ecart type des données pour les composantes du champ E de 8 sondes

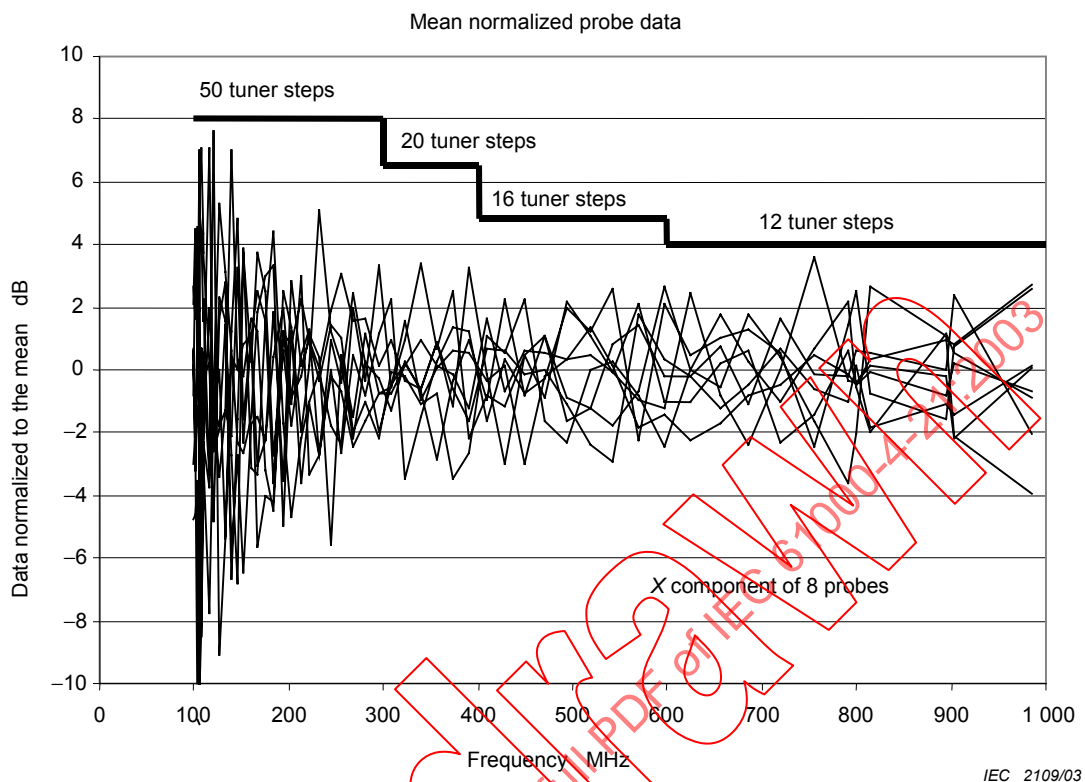


Figure A.13 – Mean-normalized data for x component of 8 probes

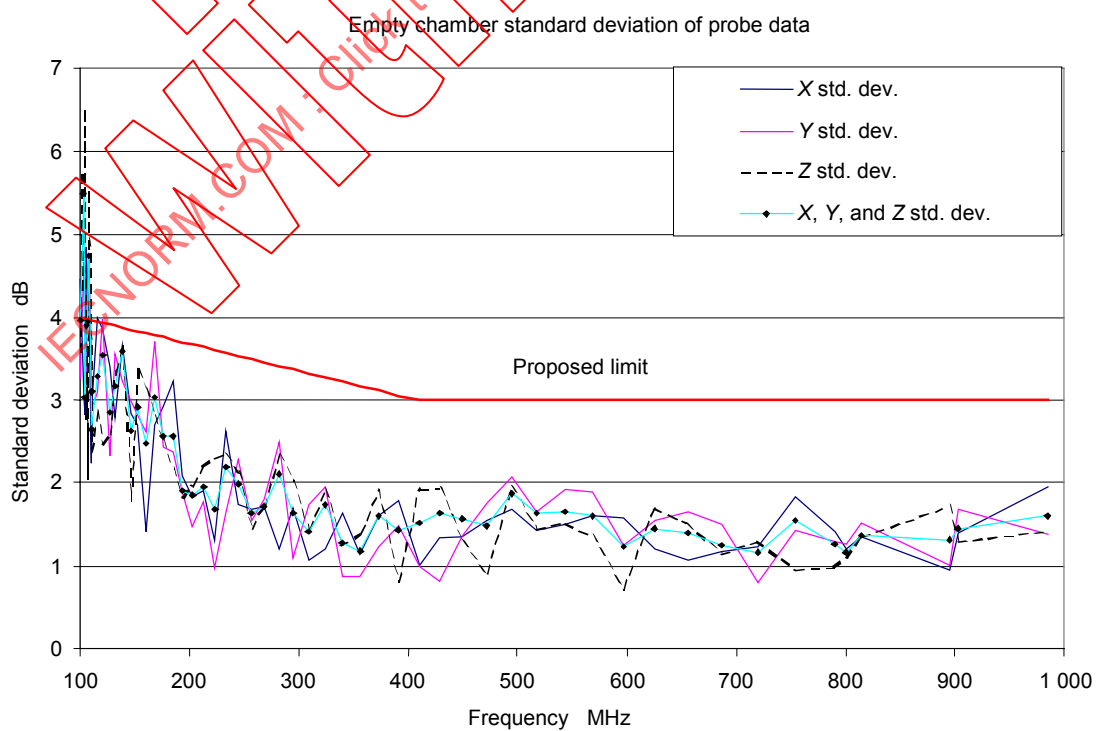
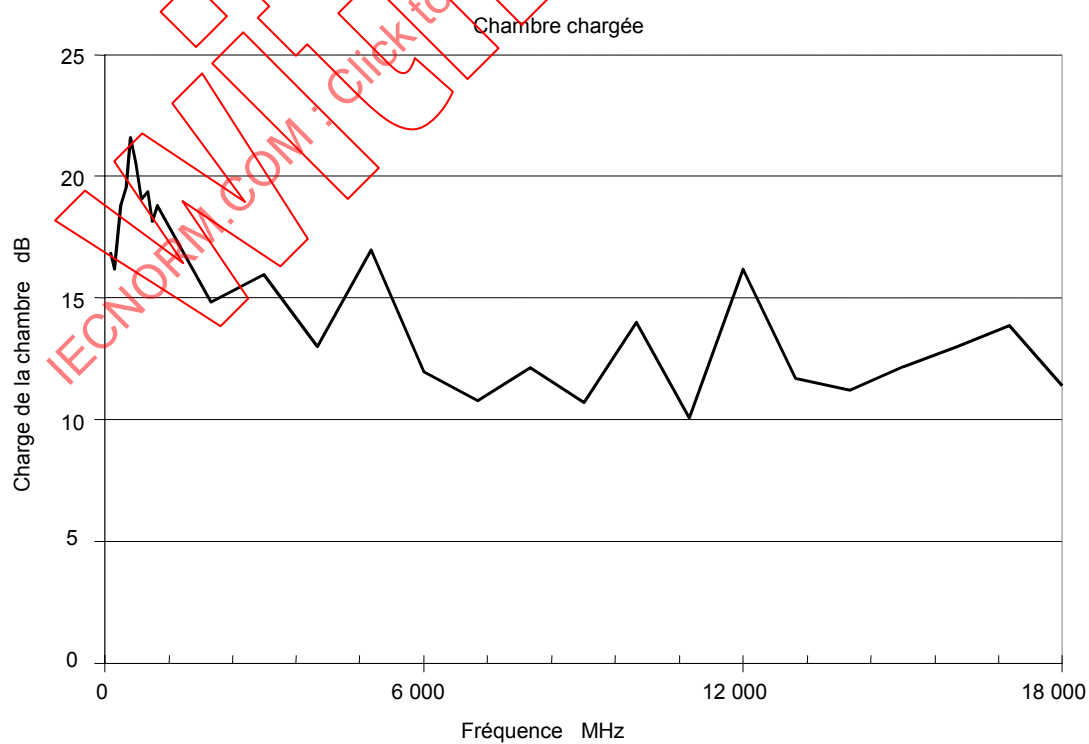


Figure A.14 – Standard deviation of data for E-field components of 8 probes



Figure A.15 – Distribution des absorbants pour l'essai relatif aux effets de charge

IEC 2111/03



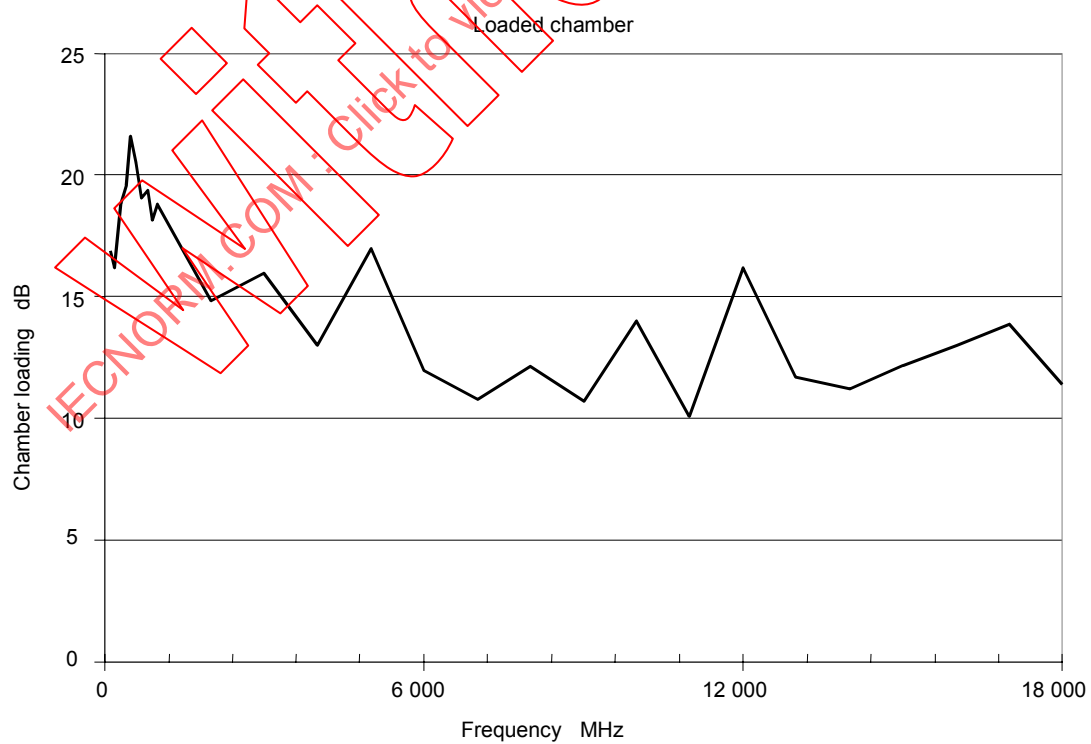
IEC 2112/03

Figure A.16 – Amplitude de charge pour l'essai relatif aux effets de charge



Figure A.15 – Distribution of absorbers for loading effects test

IEC 2111/03



IEC 2112/03

Figure A.16 – Magnitude of loading from loading effects test

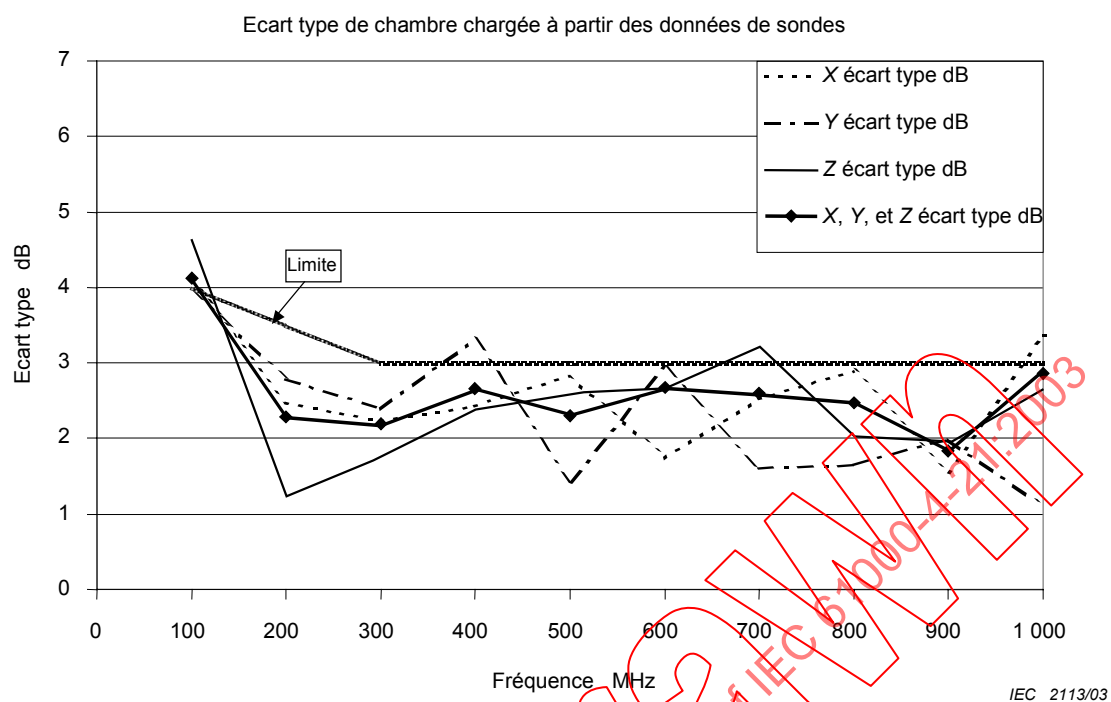


Figure A.17 – Données d'écart type pour composantes de champ E de 8 sondes dans la chambre chargée

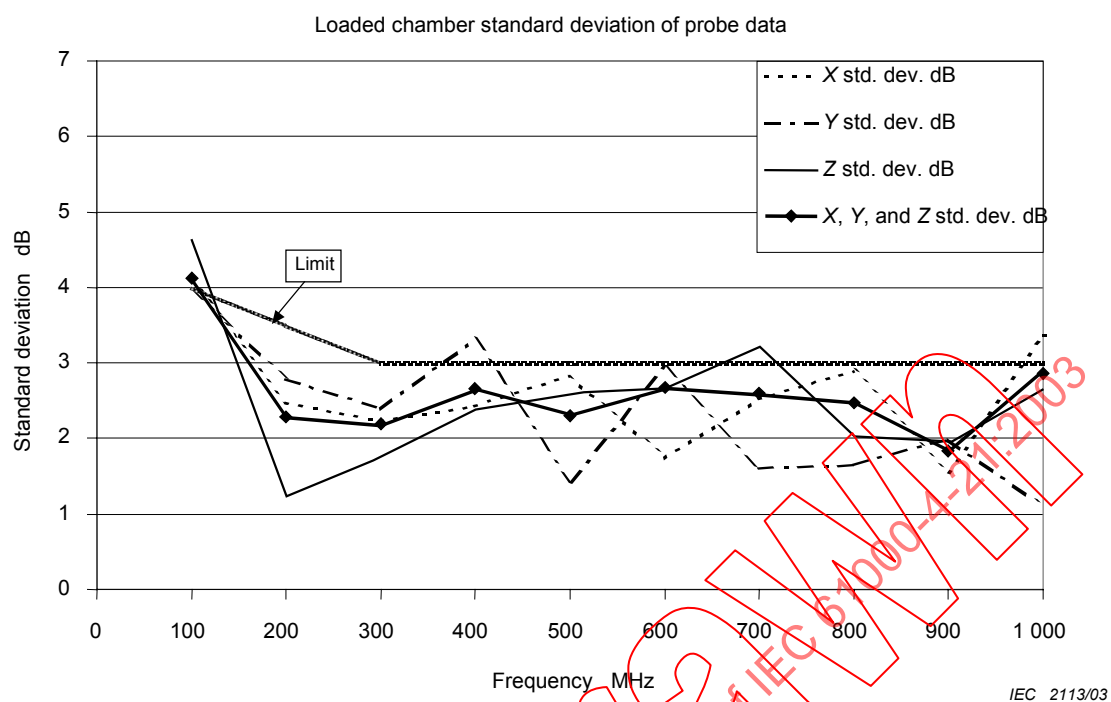


Figure A.17 – Standard deviation data for electric field components of eight probes in the loaded chamber

Annexe B (normative)

Étalonnage de chambre par brassage de modes pas à pas

B.1 Etalonnage: validation de l'uniformité de champ et de la charge de la chambre

Comme guide initial sur les prescriptions de performances de chambre et de puissance d'entrée, réaliser un «seul» étalonnage de chambre vide (sans matériel en essai) en utilisant les procédures de B.1.1. Avant chaque essai, un étalonnage doit être réalisé en utilisant les procédures de l'Article B.2.

On doit vérifier l'uniformité de champ de chambre sur la première décade de la gamme de fréquences de fonctionnement. Une chambre peut être utilisée pour réaliser les essais à, et au-dessus de la fréquence à laquelle la chambre satisfait aux prescriptions d'uniformité de champ au Tableau B.2.

B.1.1 Validation d'uniformité de champ

- (1) Vider le volume d'essai (à savoir, enlever le banc d'essai) et placer l'antenne de réception à un emplacement à l'intérieur du volume de travail de la chambre comme indiqué dans les notes de la Figure B.1. Régler l'instrument de mesure de l'amplitude pour contrôler l'antenne de réception sur la fréquence correcte.
- (2) Placer la sonde de champ E à un emplacement sur le périmètre du volume de travail de chambre comme indiqué à la Figure B.1.
- (3) En commençant à la fréquence d'essai la plus faible (f_s), régler la source radioélectrique pour injecter une puissance d'entrée appropriée dans l'antenne d'émission pour obtenir une valeur lue fiable de la sonde. L'antenne d'émission ne doit pas éclairer directement le volume de travail ou les antennes de réception et les sondes. La configuration optimale est obtenue en dirigeant l'antenne d'émission vers un coin de la chambre. La fréquence doit être dans la bande pour les antennes d'émission et de réception qui doivent être des antennes polarisées linéairement. On doit prendre soin de s'assurer que les harmoniques des entrées radioélectriques dans la chambre sont au moins inférieures de 15 dB à la valeur du fondamental.

NOTE 1 Pour un fonctionnement normal, la fréquence d'essai la plus faible (f_s) est de 80 MHz et l'uniformité de champ est démontrée sur la première décade de fonctionnement. Si une fréquence de départ autre que 80 MHz est choisie, par exemple pour une petite chambre utilisée pour produire des champs de valeur élevée, il faut toujours que l'uniformité de champ de la chambre soit vérifiée sur la première décade de fonctionnement. La fréquence à laquelle une chambre peut être utilisée pour effectuer des mesures est la fréquence à laquelle la chambre satisfait aux prescriptions d'uniformité de champ données au Tableau B.2.

- (4) Mouvoir le brasseur sur 360° en pas discrets (fonctionnement en mode pas à pas) de manière à ce que l'instrument de mesure de l'amplitude et la sonde de champ E capturent le nombre minimal d'échantillons comme indiqué au Tableau B.1 sur une rotation complète du brasseur. On doit veiller à ce que le temps de palier soit suffisamment long pour que les instruments de mesure de l'amplitude et les sondes de champ E aient le temps de répondre correctement.
- (5) Enregistrer les puissances maximale et moyenne (moyenne linéaire: c'est-à-dire en W, pas en dBm) du signal de réception (P_{MaxRec} , P_{MoyRec}), le champ maximal ($E_{\text{Max } x,y,z}$) pour chaque axe de sonde de champ E , et la valeur moyenne de la puissance d'entrée ($P_{\text{Entrée}}$) sur la rotation du brasseur.

NOTE 2 La valeur de la puissance d'entrée, $P_{\text{Entrée}}$, est la puissance incidente moyennée sur la rotation du brasseur. Il convient que le nombre d'échantillons utilisés pour déterminer la moyenne soit au moins le même que le nombre d'échantillons utilisés pour l'étalonnage de la chambre. De grandes variations de la puissance d'entrée (à savoir, 3 dB ou plus) sont une indication de faibles performances de la source/amplificateur. Tous les étalonnages sont spécifiques à l'antenne. Changer les antennes peut rendre nuls les étalonnages. Toutes les mesures de puissance sont liées aux accès de l'antenne. On estime que les antennes sont des antennes à rendement élevé (à savoir, supérieures à 75 % de rendement).

Annex B (normative)

Chamber calibration for mode-tuning

B.1 Calibration: chamber field uniformity and loading validation

As an initial guide to chamber performance and input power requirements, perform a “one-time” empty chamber calibration (no EUT) using the procedures of B.1.1. Prior to each test a calibration shall be performed using the procedures of B.2.

The chamber field uniformity shall be verified over the first decade of the operational frequency range. A chamber can be used to perform tests at and above the frequency at which the chamber meets the field uniformity requirements in Table B.2.

B.1.1 Field uniformity validation

- (1) Clear the working volume (i.e., remove test bench) and place the receive antenna at a location within the working volume of the chamber as outlined in the notes of Figure B.1. Set the amplitude measurement instrument to monitor the receive antenna on the correct frequency.
- (2) Place the *E*-field probe at a location on the perimeter of the chamber working volume as shown in Figure B.1.
- (3) Beginning at the lowest test frequency (f_s), adjust the RF source to inject an appropriate input power into the transmit antenna to get a reliable probe reading. The transmit antenna shall not directly illuminate the working volume or the receive antenna and probes. Directing the transmit antenna into one corner of the chamber is an optimum configuration. The frequency shall be in band for both transmit and receive antennas which shall be linearly polarized antennas. Care shall be taken to ensure that the harmonics of the RF input to the chamber are at least 15 dB below the fundamental.

NOTE 1 For normal operation the lowest test frequency (f_s) is 80 MHz, and field uniformity is demonstrated over the first decade of operation. If a start frequency other than 80 MHz is chosen, for example a small chamber used to generate high field strengths, the chamber field uniformity must still be verified over the first decade of operation. The frequency at which a chamber can be used to conduct measurements is the frequency at which the chamber meets the field uniformity requirements in Table B.2.

- (4) Step the tuner through 360° in discrete steps (mode-tuned operation) so that the amplitude measurement instrument and *E*-field probe captures the minimum number of samples as outlined in Table B.1 over one complete tuner rotation. Care shall be taken to ensure that the dwell time is sufficiently long enough that the amplitude measurement instrumentation and *E*-field probes have time to respond properly.
- (5) Record the maximum and average power (linear average: i.e., watts, not dBm) of the receive signal (P_{MaxRec} , P_{AveRec}), the maximum field strength ($E_{\text{Max } x,y,z}$) for each axis of the *E*-field probe, and the average value of the input power (P_{Input}) over the tuner rotation.

NOTE 2 The value for input power, P_{Input} , is the forward power averaged over the tuner rotation. The number of samples used to determine the average should be at least the same as the number of samples used for chamber calibration. Large variations in input power (i.e., 3 dB or more) are an indication of poor source/amplifier performance. All calibrations are antenna specific. Changing antennas may void calibrations. All power measurements are relative to the antenna terminals. The antennas are assumed to be high efficiency antennas (i.e., greater than 75 % efficient).

- (6) Répéter la procédure ci-dessus selon des pas de fréquence à espacement logarithmique comme indiqué au Tableau B.1 jusqu'à ce que la fréquence soit d'au moins $10 f_s$.
- (7) Répéter pour chacun des 8 emplacements de sonde représentés à la Figure B.1 et pour 8 emplacements d'antennes de réception (dont l'un doit être au centre du volume de travail) jusqu'à $10 f_s$.

NOTE 3 Les étapes (4) et (6) peuvent être interchangées si on le désire, à savoir avancer en fréquences à chaque pas du brasseur.

- (8) Au-delà de $10 f_s$, seuls 3 emplacements de sonde et d'antenne de réception doivent être évalués. Il convient que la sonde et l'antenne maintiennent l'espace nécessaire entre elles et par rapport aux aménagements de la chambre. Un emplacement pour la sonde et l'antenne doit être le centre du volume de travail. Répéter les étapes (4) et (5) pour le reste des fréquences d'étalonnage, comme indiqué au Tableau B.1.

NOTE 4 Il convient que l'antenne de réception soit déplacée vers un nouvel emplacement dans le volume de travail de la chambre pour chaque changement d'emplacement de sonde. Il convient que l'antenne soit également placée dans une nouvelle orientation par rapport à l'axe de la chambre à chaque emplacement (au moins 20° dans chaque axe). A titre de référence, x = longueur de la chambre (dimension la plus importante), y = largeur de la chambre et z = hauteur de la chambre. La sonde n'est pas nécessairement orientée le long des axes de la chambre au cours de l'étalonnage.

Il convient de s'assurer que la distance de séparation correcte entre l'antenne et la sonde soit maintenue. Il convient que chaque emplacement soit d'au moins 1 m (ou $\lambda/4$ à la fréquence d'essai la plus faible) par rapport à tout emplacement antérieur. Si l'antenne de réception est prévue pour être montée dans une position fixe au cours des essais de routine, il est suggéré que l'un des emplacements soit l'emplacement permanent prévu de l'antenne de réception.

- (9) En utilisant les données provenant de l'étape (5), normaliser chacune des mesures de sonde de champ E maximal (à savoir, chacune des 24 composantes rectangulaires inférieures à $10 f_s$ et des 9 composantes rectangulaires supérieures à $10 f_s$) à la racine carrée de la puissance moyenne d'entrée:

$$\vec{E}_{x,y,z} = \frac{E_{\text{Maxx},y,z}}{\sqrt{P_{\text{Entrée}}}} \quad (\text{B.1})$$

où

$E_{\text{Maxx},y,z}$ est la mesure maximale à partir de chaque axe de sonde (à savoir 24 mesures ou 9 mesures),

$\vec{E}_{x,y,z}$ est la mesure maximale à partir de chaque axe de sonde divisée par la racine carrée de la puissance d'entrée, et

$P_{\text{Entrée}}$ est la puissance moyenne d'entrée dans la chambre au cours de la rotation du brasseur à laquelle $E_{\text{Maxx},y,z}$ a été enregistrée.

- (10) Pour chaque fréquence d'étalonnage, calculer la moyenne du maximum normalisé pour chaque axe de sonde, des mesures du champ E , $\langle \vec{E}_{x,y,z} \rangle$.

- (6) Repeat the above procedure in log-spaced frequency steps as outlined in Table B.1 until frequency is at least $10 f_s$.
- (7) Repeat for each of the eight probe locations shown in Figure B.1 and for eight Rx antenna locations (one of which shall be at the center of the working volume) until $10 f_s$.

NOTE 3 Steps 4 and 6 may be interchanged if desired, i.e., step through the frequencies at each step of the tuner.

- (8) Above $10 f_s$ only three probe and Rx antenna locations need to be evaluated. The probe and antenna should maintain the required clearance from each other and from chamber fixtures. One location for the probe and antenna shall be the center of the working volume. Repeat Steps (4) and (5) for the remainder of the calibration frequencies, as outlined in Table B.1.

NOTE 4 The Rx antenna should be moved to a new location within the working volume of the chamber for each change in probe location. The antenna should also be placed in a new orientation relative to the chamber axis at each location (at least 20° in each axis). For reference purposes, x = chamber length (longest dimension), y = chamber width, and z = chamber height. The probe does not necessarily need to be oriented along the chamber axes during calibration.

Care should be taken to ensure that the proper separation distance between the antenna and probe are maintained. Each location should be at least 1 m (or $\lambda/4$ at the lowest test frequency) from any previous location. If the Rx antenna is to be mounted in a fixed position during routine testing, it is suggested that one of the locations should be the intended permanent location of the receive antenna.

- (9) Using the data from Step (5), normalize each of the maximum E -field probe measurements (i.e., each of the 24 rectangular components below $10 f_s$ and 9 rectangular components above $10 f_s$) to the square-root of the average input power:

$$\vec{E}_{x,y,z} = \frac{E_{\text{Maxx},y,z}}{\sqrt{P_{\text{Input}}}} \quad (\text{B.1})$$

where

$E_{\text{Maxx},y,z}$ is the maximum measurement from each probe axis (i.e., 24 or 9 measurements),

$\vec{E}_{x,y,z}$ is the maximum measurement from each probe axis divided by the square root of the input power, and

P_{Input} is the average input power to the chamber during the tuner rotation at which $E_{\text{Maxx},y,z}$ was recorded.

- (10) For each calibration frequency, calculate the average of the normalized maximum of each probe axis of the E -field probe measurements, $\langle \vec{E}_{x,y,z} \rangle$.

- (a) Pour chaque fréquence inférieure à $10 f_s$:

$$\begin{aligned}\langle \vec{E}_x \rangle_8 &= \frac{(\sum \vec{E}_x)}{8} \\ \langle \vec{E}_y \rangle_8 &= \frac{(\sum \vec{E}_y)}{8} \\ \langle \vec{E}_z \rangle_8 &= \frac{(\sum \vec{E}_z)}{8}\end{aligned}\quad (\text{B.2})$$

- (b) Pour chaque fréquence inférieure à $10 f_s$ calculer la moyenne du maximum normalisé pour toutes les mesures de champ E , en accordant un poids égal à chaque axe (à savoir, chaque composante rectangulaire), $\langle \vec{E} \rangle_{24}$.

$$\langle \vec{E} \rangle_{24} = (\sum \vec{E}_{x,y,z})/24 \quad (\text{B.3})$$

NOTE 5 $\langle \rangle$ indique la moyenne arithmétique, à savoir, $\langle E \rangle_{24}$ représente la somme des 24 maximums rectangulaires de champ E (normalisés) divisée par le nombre de mesures.

- (c) Répéter (b) pour chaque fréquence supérieure à $10 f_s$ en remplaçant 24 par 9.
- (11) Pour chaque fréquence inférieure à $10 f_s$ déterminer si la chambre satisfait aux prescriptions d'uniformité de champ comme suit:

- (a) L'uniformité de champ est spécifiée comme un écart type par rapport à la valeur moyenne normalisée des valeurs maximales normalisées, obtenues à chacun des 8 emplacements au cours d'une rotation du brasseur. L'écart type est calculé en utilisant les données provenant de chaque axe de sonde indépendamment, et celles de l'ensemble total.

L'écart type est donné comme suit:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (\vec{E}_i - \langle \vec{E} \rangle)^2}{n-1}} \quad (\text{B.4})$$

où

n est le nombre de mesures,

$\vec{E}_i$ est la mesure individuelle normalisée de champ E (à la racine carrée de la puissance d'entrée),

$\langle \vec{E} \rangle$ est la moyenne arithmétique des mesures normalisées de champ E .

(a) For each frequency below $10 f_s$:

$$\begin{aligned}\langle \vec{E}_x \rangle_8 &= \frac{(\sum \vec{E}_x)}{8} \\ \langle \vec{E}_y \rangle_8 &= \frac{(\sum \vec{E}_y)}{8} \\ \langle \vec{E}_z \rangle_8 &= \frac{(\sum \vec{E}_z)}{8}\end{aligned}\tag{B.2}$$

(b) For each frequency below $10 f_s$ calculate the average of the normalized maximum of all the E -field probe measurements giving equal weight to each axis (i.e., each rectangular component), $\langle \vec{E} \rangle_{24}$:

$$\langle \vec{E} \rangle_{24} = (\sum \vec{E}_{x,y,z})/24\tag{B.3}$$

NOTE 5 $\langle \rangle$ denotes arithmetic mean, i.e., $\langle \vec{E} \rangle_{24}$ represents the sum of the 24 rectangular E -field maximums (normalized) divided by the number of measurements.

(c) Repeat (b) for each frequency above $10 f_s$ replacing 24 with 9.

(11) For each frequency below $10 f_s$ determine if the chamber meets the field uniformity requirements as follows:

(a) The field uniformity is specified as a standard deviation from the normalized mean value of the normalized maximum values obtained at each of the eight locations during one rotation of the tuner. The standard deviation is calculated using data from each probe axis independently and the total data set.

The standard deviation is given by:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (\vec{E}_i - \langle \vec{E} \rangle)^2}{n-1}}\tag{B.4}$$

where

n = number of measurements,

$\vec{E}_i$ = individual normalized (to the square root of the input power) E -field measurement,

$\langle \vec{E} \rangle$ = arithmetic mean of the normalized E -field measurements.

Par exemple, pour le vecteur x :

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (\vec{E}_{ix} - \langle \vec{E}_x \rangle_8)^2}{8 - 1}} \quad (\text{B.5})$$

où

$\vec{E}_{ix}$ est la mesure individuelle de vecteur x ,

$\langle \vec{E}_x \rangle$ est la moyenne arithmétique des vecteurs normalisés $E_{\text{Max } x}$ des 8 emplacements de mesure.

et pour tous les vecteurs:

$$\sigma_{24} = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^8 \sum_{n=1}^3 \left(\vec{E}_{m,n} - \langle \vec{E} \rangle_{24} \right)^2}{24 - 1}} \quad (\text{B.6})$$

où

$\vec{E}_{m,n}$ = mesures individuelles de tous les vecteurs (m = emplacements de sonde 1 à 8, et n = axes de sonde isotrope 1 à 3 (à savoir, x , y et z),

$\langle \vec{E} \rangle_{24}$ = moyenne arithmétique des vecteurs normalisés $E_{\text{Max } x, y, \text{ \& } z}$ des 24 mesures,

σ_{24} = écart type de tous les vecteurs (x , y et z).

L'écart type est exprimé en dB/moyenne:

$$\sigma(\text{dB}) = 20 \log \left(\frac{\sigma + \langle \vec{E}_{x,y,z} \rangle}{\langle \vec{E}_{x,y,z} \rangle} \right) \quad (\text{B.7})$$

- (b) La chambre satisfait aux prescriptions d'uniformité de champ, sous réserve que l'écart type pour les composantes individuelles de champ et l'ensemble total de données soit dans les limites de tolérance indiquées au Tableau B.2. Si la chambre ne satisfait pas à la prescription d'uniformité, il peut s'avérer impossible que la chambre fonctionne à la fréquence inférieure désirée. Si la marge selon laquelle la chambre ne satisfait pas aux prescriptions d'uniformité est faible, il peut être possible d'obtenir l'uniformité désirée comme suit:

- 1) en augmentant le nombre d'échantillons (à savoir pas du brasseur) de 10 % à 50 %,
- 2) en normalisant les données sur la puissance d'entrée résultante moyenne de chambre ($P_{\text{Résultante}} = P_{\text{Entrée}} - P_{\text{Réfléchie}}$), ou
- 3) en réduisant la taille du volume de travail.

Si la chambre dépasse l'uniformité de champ exigée, le nombre d'échantillons exigés peut être réduit, mais pas en dessous d'un minimum de 12 pas du brasseur. Ceci offre la possibilité d'optimiser chaque chambre pour le nombre minimal d'échantillons et donc pour la durée d'essai minimale.

NOTE 6 Si le brasseur n'arrive pas à fournir l'uniformité nécessaire, l'uniformité peut être améliorée en augmentant le nombre de brasseurs, en agrandissant le ou les brasseurs, ou en réduisant la valeur Q en ajoutant un absorbant. Il convient d'évaluer également les caractéristiques de la chambre (taille, méthode de construction, matériaux des parois) pour déterminer si la chambre est susceptible de satisfaire à cette prescription. Les chambres n'ayant pas plus de 60 à 100 modes à la fréquence d'essai la plus faible, ou à valeur de Q très élevée (telle que celles rencontrées dans les chambres en aluminium soudées) sont susceptibles de rencontrer des difficultés pour satisfaire à l'uniformité exigée.

For example, for the x vector:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (\vec{E}_{ix} - \langle \vec{E}_x \rangle_8)^2}{8-1}} \quad (\text{B.5})$$

where

$\vec{E}_{ix}$ = individual measurement of x vector, and

$\langle \vec{E}_x \rangle$ = arithmetic mean of normalized $E_{\text{Max } x}$ vectors from all eight measurement locations.

and for all vectors:

$$\sigma_{24} = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^8 \sum_{n=1}^3 \left(E_{m,n} - \langle \vec{E} \rangle_{24} \right)^2}{24-1}} \quad (\text{B.6})$$

where

$\vec{E}_{m,n}$ is the individual measurements of all vectors (m = probe locations 1 through 8 and n = isotropic probe axis 1 through 3 (i.e., x, y, and z),

$\langle \vec{E} \rangle_{24}$ is the arithmetic mean of normalized $E_{\text{Max } x,y,\& z}$ vectors from all 24 measurements, and

σ_{24} is the standard deviation of all vectors (x, y, and z).

The standard deviation is expressed in terms of dB relative to the mean:

$$\sigma(\text{dB}) = 20 \log \left(\frac{\sigma + \langle \vec{E}_{x,y,z} \rangle}{\langle \vec{E}_{x,y,z} \rangle} \right) \quad (\text{B.7})$$

- (b) The chamber passes the field uniformity requirements, provided that the standard deviation for both the individual field components and the total data set is within tolerance as outlined in Table B.2. If the chamber fails to meet the uniformity requirement, it may not be possible for the chamber to operate at the desired lower frequency. If the margin by which the chamber fails to meet the uniformity requirement is small, it may be possible to obtain the desired uniformity by:

- 1) increasing the number of samples (i.e., tuner steps) by 10 % to 50 %,
- 2) normalizing the data to the average net chamber input power ($P_{\text{Net}} = P_{\text{Input}} - P_{\text{Reflected}}$), or
- 3) reducing the size of the working volume.

If the chamber exceeds the required field uniformity, the number of samples required may be reduced, but not below a minimum of 12 tuner steps. This offers the ability to optimize each chamber for the minimum number of samples and therefore minimum test time.

NOTE 6 If the tuner fails to provide the required uniformity then the uniformity may be improved by increasing the number of tuners, making the tuner(s) larger, or lowering the Q by adding absorber. The chamber characteristics (size, construction method, wall materials) should also be evaluated to determine if the chamber is likely to pass the requirement. Chambers with no more than 60 to 100 modes at the lowest test frequency or very high Q (such as those encountered in welded aluminum chambers) are likely to encounter difficulty in meeting the required uniformity.

IMPORTANT: Une fois qu'une chambre est modifiée (par exemple par ajout d'un absorbant, etc.) ou que la procédure d'étalonnage est modifiée (par exemple, nombre de pas du brasseur modifié, etc.), pour obtenir une caractéristique désirée, cette configuration et/ou cette procédure doit rester la même pour la durée de l'essai afin que cet étalonnage reste valable.

B.1.2 Etalonnage de l'antenne de réception

Le facteur d'étalonnage de l'antenne de réception pour une chambre vide est déterminé dans le but de fournir une base de comparaison avec une chambre chargée (voir Article B.2).

Calculer le facteur d'étalonnage d'antenne de réception pour chaque fréquence en utilisant l'équation suivante:

$$ACF = \left\langle \frac{P_{MoyRec}}{P_{Entrée}} \right\rangle \begin{matrix} 8 \text{ pour } \leq 10f_0 & \text{ou} & 3 \text{ pour } \geq 10f_0 \end{matrix} \quad (B.8)$$

où $P_{Entrée}$ est la puissance d'entrée moyenne de [B.1.1(5)] pour l'emplacement correspondant auquel la puissance moyenne reçue (P_{MoyRec}) provenant de [B.1.1(5)] a été mesurée. Le facteur d'étalonnage est nécessaire pour corriger les mesures d'antenne pour plusieurs effets y compris le rendement d'antenne.

NOTE $\langle \rangle$ indique la moyenne arithmétique, à savoir, $\langle P_{MoyRec} \rangle_8 = (\Sigma P_{MoyRec})/8$ pour 8 emplacements de sonde $< 10 f_0$ et 3 emplacements de sonde $> 10 f_0$.

B.1.3 Perte d'insertion de la chambre

La perte d'insertion de la chambre dans le cas de la chambre vide, est déterminée pour fournir des informations nécessaires aux calculs exigés par les autres annexes.

Calculer la perte d'insertion de la chambre pour chaque fréquence en utilisant l'équation suivante:

$$IL = \left\langle \frac{P_{MaxRec}}{P_{Entrée}} \right\rangle \begin{matrix} 8 \text{ pour } \leq 10f_0 & \text{ou} & 3 \text{ pour } \geq 10f_0 \end{matrix} \quad (B.9)$$

où $P_{Entrée}$ est la puissance d'entrée moyenne de [B.1.1 (5)] pour l'emplacement correspondant, auquel la puissance maximale reçue (P_{MaxRec}) provenant de [B.1.1 (5)] a été mesurée.

NOTE $\langle \rangle$ indique la moyenne arithmétique, à savoir, $\langle P_{MaxRec} \rangle_8 = (\Sigma P_{MaxRec})/8$ pour huit emplacements de sonde $< 10 f_0$ et 3 emplacements de sonde $> 10 f_0$.

B.1.4 Estimation du champ E de chambre en utilisant les antennes

L'étalonnage de la chambre vide indiqué en B.1.1 est fondé sur les valeurs lues des sondes de champ E . Le champ E de chambre peut être estimé à partir des mesures utilisant les antennes. Cette procédure alternative est contenue dans l'Annexe A.

NOTE Des désaccords importants sont attendus à des fréquences peu élevées. Ceci est essentiellement dû à la charge causée par les antennes émettrices et réceptrices. Pour cette raison, l'accord entre les deux méthodes n'est pas attendu à des fréquences où, la différence entre la puissance d'entrée de chambre et la puissance maximale reçue mesurée de l'antenne de référence, est inférieure ou égale à 10 dB.

IMPORTANT: Once a chamber has been modified (e.g., absorber added, etc.) or the calibration procedure modified (e.g., changed number of tuner steps, etc.) to obtain a desired characteristic, that configuration and/or procedure shall remain the same for the duration of the test for that calibration to remain valid.

B.1.2 Receive antenna calibration

The receive antenna calibration factor (ACF) for an empty chamber is determined to provide a baseline for comparison with a loaded chamber (B.2).

Calculate the receive antenna calibration factor (ACF) for each frequency using the following equation:

$$ACF = \left\langle \frac{P_{AveRec}}{P_{Input}} \right\rangle_{8@ \leq 10f_0 \text{ or } 3@ \geq 10f_0} \quad (B.8)$$

where P_{Input} is the average input power from B.1.1(5) for the corresponding location at which the average received power (P_{AveRec}) from B.1.1(5) was measured. The calibration factor is necessary to correct the antenna measurements for several effects including antenna efficiency.

NOTE $\langle \rangle$ denotes arithmetic mean, i.e., $\langle P_{AveRec} \rangle_8 = (\sum P_{AveRec})/8$ for 8 probe loc $< 10f_0$ and 3 loc $> 10f_0$

B.1.3 Chamber insertion loss

The chamber insertion loss (IL) for the empty chamber is determined to provide information necessary for calculations required by other annexes.

Calculate the chamber insertion loss for each frequency using the following equation:

$$IL = \left\langle \frac{P_{MaxRec}}{P_{Input}} \right\rangle_{8@ \leq 10f_0 \text{ or } 3@ \geq 10f_0} \quad (B.9)$$

where P_{Input} is the average input power from B.1.1(5) for the corresponding location at which the maximum received power (P_{MaxRec}) from B.1.1(5) was measured.

NOTE $\langle \rangle$ denotes arithmetic mean, i.e., $\langle P_{MaxRec} \rangle_8 = (\sum P_{MaxRec})/8$ for 8 probe loc $< 10f_0$ and 3 loc $> 10f_0$

B.1.4 Chamber E-field estimation using antennas

The empty chamber calibration outlined in B.1.1 is based on readings from E-field probes. The chamber E-field can be estimated based on measurements using antennas. This alternate procedure is contained in Annex A.

NOTE Significant disagreement at the lower frequencies is expected. This is due to loading caused by the Tx and Rx antennas. For this reason, the agreement between the two methods is not expected at frequencies where the difference between the chamber input power and the measured maximum receive power from the reference antenna is 10 dB or less.

B.1.5 Vérification de la charge maximale de la chambre

Pour déterminer si la chambre est affectée par un matériel en essai qui «charge» la chambre, réaliser une vérification unique de l'uniformité de champ de la chambre dans des conditions de charge simulées. Il est suggéré de réaliser l'étalonnage de la chambre «chargée» une seule fois au cours de la vie de la chambre ou après une modification importante de la chambre. Avant chaque essai, un étalonnage doit être réalisé en utilisant les procédures décrites dans l'Article B.2.

- (1) Installer, à des emplacements aléatoires dans le volume de travail de la chambre, une quantité suffisante d'absorbants pour charger la chambre au moins au niveau attendu au cours des essais normaux (il convient qu'un facteur de changement d'ACF égal à 16 (12 dB) soit considéré comme une quantité nominale de charge).

NOTE Chaque chambre est unique. La manière la plus facile pour déterminer la quantité d'absorbants nécessaire est celle de l'essai et de l'erreur.

- (2) Répéter l'étalonnage indiqué en B.1.1 en utilisant 8 emplacements de sonde de champ E . Il convient de s'assurer que la sonde de champ E et l'antenne de réception maintiennent une distance supérieure à $\lambda/4$ par rapport à tout absorbant. Déterminer la charge de chambre en comparant le facteur d'étalonnage d'antenne de la chambre vide et celui de la chambre «chargée» (B.1.2)

$$Charge = \frac{ACF_{\text{Chambre vide}}}{ACF_{\text{Chambre chargée}}} \quad (B.10)$$

- (3) Répéter le calcul de l'uniformité de champ en utilisant les données provenant des emplacements de la sonde de champ E .

Si la charge de la chambre entraîne le dépassement par la composante rectangulaire des champs de l'écart type autorisé, ou si l'écart type pour tous les vecteurs (à savoir, σ_{24}) dépasse l'écart type autorisé (voir Tableau B.2), alors la chambre a été chargée à un point tel que l'uniformité de champ est inacceptable. Dans ce cas, la quantité de charge de la chambre doit être réduite et l'évaluation des effets de charge doit être répétée.

B.2 Etalonnage: vérification des performances de la chambre avec le matériel en essai en place

Avant chaque essai, le matériel en essai et l'équipement de support étant dans la chambre, réaliser un étalonnage de la chambre conformément à la procédure suivante.

- (1) Placer l'antenne de réception à un emplacement à l'intérieur du volume de travail de la chambre et maintenir 1 m (ou $\lambda/4$ à la fréquence d'essai la plus faible) de séparation entre le matériel en essai, l'équipement de support, etc., comme indiqué dans l'annexe applicable au type d'essai réalisé. Régler les instruments de mesure de l'amplitude pour contrôler l'antenne de réception à la bonne fréquence.
- (2) En commençant à la fréquence d'essai la plus faible (f_s), régler le niveau de la source radioélectrique pour injecter une puissance d'entrée appropriée ($P_{\text{Entrée}}$) dans l'antenne d'émission. On doit prendre soin de s'assurer que les harmoniques à l'entrée RF dans la chambre sont au moins inférieurs de 15 dB à la valeur fondamentale.
- (3) Faire fonctionner la chambre et le brasseur, en tenant compte des caractéristiques additionnelles possibles définies en B.1.1 qui ont été requises pour satisfaire au critère d'homogénéité. On doit veiller à ce que le temps de palier soit suffisamment long pour être sûr que l'équipement de mesure de l'amplitude ait le temps de répondre correctement.

B.1.5 Maximum chamber loading verification

In order to determine if the chamber is adversely affected by an EUT which “loads” the chamber, perform a one-time check of the chamber field uniformity under simulated loading conditions. It is suggested the “loaded” chamber calibration be carried out only once in the life of the chamber or after major modification to the chamber. Prior to each test a calibration shall be performed using the procedures of B.2.

- (1) At random locations within the working volume of the chamber, install a sufficient amount of absorber to load the chamber to at least the level expected during normal testing (a factor of 16 change in ACF (12 dB) should be considered as a nominal amount of loading).

NOTE Each chamber is unique. The easiest way to determine the amount of absorber necessary is by trial and error.

- (2) Repeat the calibration outlined in B.1.1 using the eight locations of the *E*-field probe. Care should be taken to ensure that the *E*-field probe and receiving antenna maintain a distance of greater than $\lambda/4$ from any absorber. Determine the chamber loading by comparing the antenna calibration factor (ACF) from the empty chamber to that obtained from the “loaded” chamber (B.1.2)

$$\text{Loading} = \frac{ACF_{\text{Empty Chamber}}}{ACF_{\text{Loaded Chamber}}} \quad (\text{B.10})$$

- (3) Repeat the calculation of the field uniformity using the data from the eight locations of the *E*-field probe.

If the chamber loading results in the rectangular component of the fields exceeding the allowed standard deviation, or if the standard deviation for all vectors (i.e., σ_{24}) exceeds the allowed standard deviation (see Table B.2) then the chamber has been loaded to the point where field uniformity is unacceptable. In this case the amount of chamber loading shall be reduced and the loading effects evaluation shall be repeated.

B.2 Calibration: chamber performance verification with EUT in place

Prior to each test, with the EUT and supporting equipment in the chamber, perform a chamber calibration according to the following procedure.

- (1) Place the receive antenna at a location within the working volume of the chamber and maintain 1 m (or $\lambda/4$ at the lowest test frequency) separation from the EUT, supporting equipment, etc., as outlined in the Annex for the type of test being performed. Set the amplitude measurement instrumentation to monitor the receive antenna on the correct frequency.
- (2) Beginning at the lowest test frequency (f_s), adjust the RF source level to inject an appropriate input power, (P_{Input}), into the transmit antenna. Care shall be taken to ensure that the harmonics of the RF input to the chamber are at least 15 dB below the fundamental.
- (3) Operate the chamber and the tuner taking into account the possible additional features defined in B.1.1 that have been required to meet the homogeneity criterion. Care shall be taken to ensure that the dwell time is sufficiently long to ensure that the amplitude measurement equipment has time to respond properly.

- (4) Enregistrer l'amplitude maximale et l'amplitude moyenne du signal de réception (P_{MaxRec} , P_{MoyRec}), et la valeur moyenne de la puissance d'entrée, $P_{\text{Entrée}}$. Il convient que les instruments de mesure aient un niveau plancher de bruit d'au moins 20 dB inférieur à la puissance maximale reçue (P_{MaxRec}) pour collecter des données moyennes précises.
- (5) Répéter la procédure ci-dessus pour chaque fréquence d'essai comme cela est défini dans le plan d'essai.
- (6) Calculer le facteur d'étalonnage de la chambre pour chaque fréquence en utilisant l'équation suivante:

$$CCF = \left\langle \frac{P_{\text{MoyRec}}}{P_{\text{Entrée}}} \right\rangle_n \quad (\text{B.11})$$

où

CCF est la puissance moyenne reçue normalisée sur une rotation du brasseur avec le matériel en essai et l'équipement de support présents,

P_{MoyRec} est la puissance moyenne reçue sur une rotation du brasseur de l'étape (4),

$P_{\text{Entrée}}$ est la puissance incidente moyennée sur une rotation du brasseur de l'étape (4),

n est le nombre d'emplacements d'antenne pour lesquels le CCF est évalué. Seul un emplacement est exigé; cependant, des emplacements multiples peuvent être évalués et les données peuvent être moyennées sur le nombre d'emplacements, n .

- (7) Calculer le facteur de charge de la chambre pour chaque fréquence en utilisant l'équation suivante:

$$CLF = \frac{CCF}{ACF} \quad (\text{B.12})$$

où

CCF est le rapport de la puissance reçue moyenne sur la puissance d'entrée obtenue à l'étape 6 ci-dessus,

ACF est le rapport de la puissance reçue moyenne sur la puissance d'entrée obtenue dans l'étalonnage en B.1.2. L'interpolation sera nécessaire pour obtenir l' ACF .

Si la valeur réciproque de l'amplitude du facteur de charge de chambre dépasse la charge mesurée à l'étape [B.1.5 (2)], dans une proportion supérieure à celle attendue compte tenu de l'incertitude de l'appareil de mesure, il est possible que la chambre soit chargée à un point tel que l'uniformité de champ est affectée. Dans un tel cas, les mesures d'uniformité de la chambre indiquées en B.1.1 doivent être répétées avec le matériel en essai en place, ou avec une charge simulée équivalente au matériel en essai.

NOTE Si la valeur de P_{MoyRec} mesurée à l'étape [B.2 (5)] se situe dans les valeurs (c'est-à-dire qu'elle n'est ni supérieure ni inférieure) enregistrées pour les 8 emplacements à l'étape [B.1.1 (5)], le calcul du facteur de charge de chambre n'est pas nécessaire et sa valeur peut être estimée à 1. De même, si la dynamique du système de mesure a été insuffisante pour obtenir des mesures précises de la puissance reçue moyenne, le facteur d'étalonnage d'antenne et le facteur d'étalonnage de chambre peuvent être recalculés en utilisant la puissance maximale reçue, et ensuite utilisés pour calculer le facteur de charge de chambre. Si la puissance maximale reçue est utilisée, il faut qu'elle soit utilisée pour recalculer à la fois le facteur d'étalonnage d'antenne et le facteur de charge de chambre.

ATTENTION: Ceci s'applique UNIQUEMENT au calcul du facteur de charge de chambre. NE PAS utiliser l'un de ces facteurs fondés sur le maximum pour déterminer tout autre paramètre !

- (4) Record the maximum amplitude and average amplitude of the receive signal (P_{MaxRec} , P_{AveRec}), and the average value of the input power, P_{Input} . The measurement instruments should have a noise floor at least 20 dB below the maximum received power (P_{MaxRec}) in order to collect accurate average data.
- (5) Repeat the above procedure for each test frequency as defined in the test plan.
- (6) Calculate the chamber calibration factor (CCF) for each frequency using the following equation:

$$CCF = \left\langle \frac{P_{\text{AveRec}}}{P_{\text{Input}}} \right\rangle_n \quad (\text{B.11})$$

where

CCF is the normalized average received power over one tuner rotation with the EUT and supporting equipment present,

P_{aveRec} is the average received power over one tuner rotation from Step 4,

P_{Input} is the forward power averaged over one tuner rotation from Step 4, and

n is the number of antenna locations the CCF is evaluated for. Only one location is required; however, multiple locations may be evaluated and the data averaged over the number of locations, n .

- (7) Calculate the chamber loading factor (CLF) for each frequency using the following equation:

$$CLF = \frac{CCF}{ACF} \quad (\text{B.12})$$

where

CCF is the ratio of the average received power to input power obtained in Step (6) above, and

ACF is the ratio of the average received power to input power obtained in the antenna calibration in B.1.2. Interpolation will be required to obtain the ACF .

If the reciprocal value of the magnitude of the chamber loading factor is in excess of the loading that is measured in B.1.5(2) by more than is expected due to instrument uncertainty, there is a possibility that the chamber may be loaded to the point where field uniformity is affected. In such case, the chamber uniformity measurements outlined in B.1.1 shall be repeated with the EUT in place or with a simulated loading equivalent to the EUT.

NOTE If the value of P_{AveRec} measured in B.2(5) is within (i.e., neither greater nor less than) the values recorded for all eight locations in B.1.1(5), calculation of the CLF is not necessary and the value of the CLF can be assumed to be 1. Also, if the dynamic range of the measurement system was insufficient to get accurate average received power measurements, the ACF and CCF may be recalculated using maximum received power and then used to calculate the CLF . If maximum received power is used, it must be used to recalculate both the ACF and CCF .

CAUTION: This applies ONLY to the calculation of the CLF . DO NOT use the ACF or CCF based on maximum to determine any other parameters!

B.3 Etalonnage de la valeur Q et de la constante de temps

Pour s'assurer que la réponse dans le temps de la chambre est suffisamment rapide pour répondre aux essais de forme d'onde pulsée, la détermination de la constante de temps de la chambre doit être accomplie en utilisant la procédure suivante:

- (1) En utilisant le facteur d'étalonnage de chambre de l'Equation (B.11), correspondant à l'étalonnage de chambre, calculer le facteur de qualité, Q , pour chaque fréquence en utilisant:

$$Q = \left(\frac{16\pi^2 V}{\eta_{Tx} \eta_{Rx} \lambda^3} \right) (CCF) \quad (B.13)$$

où

η_{Tx} , η_{Rx} sont respectivement les facteurs de rendement d'antenne pour les antennes d'émission et de réception, et on peut estimer qu'il est de 0,75 pour une antenne log périodique et de 0,9 pour une antenne cornet.

V est le volume de la chambre (m^3),

λ est la longueur d'onde en espace libre (m) à la fréquence spécifique,

CCF est le facteur d'étalonnage de chambre.

NOTE Si la valeur de P_{MoyRec} mesurée en [B.2 (4)] était dans les limites des valeurs (c'est-à-dire ni supérieure, ni inférieure) enregistrées pour les 8 emplacements en [B.1.5 (2)], le calcul du facteur de charge de chambre n'était pas nécessaire et sa valeur estimée à 1. Dans un tel cas, il est nécessaire d'utiliser le facteur d'étalonnage d'antenne de B.1.2 à la place du facteur de d'étalonnage de chambre pour le calcul de la valeur Q de la chambre.

- (2) Calculer la constante de temps de la chambre, τ , pour chaque fréquence en utilisant:

$$\tau = \frac{Q}{2\pi f} \quad (B.14)$$

où

Q est la valeur calculée à l'étape (1) ci-dessus,

f est la fréquence d'essai (Hz).

- (3) Si la constante de temps de la chambre est supérieure à 40 % de toute largeur d'impulsion de la forme d'onde d'essai pour plus de 10 % des fréquences d'essai, on doit ajouter des absorbants à la chambre ou augmenter la largeur d'impulsion. Si un absorbant est ajouté, répéter la mesure de la valeur Q et le calcul jusqu'à satisfaire à la prescription de constante de temps avec le moins d'absorbants possibles. On doit définir un nouveau facteur de charge de chambre si des absorbants sont nécessaires.

B.3 Q and time constant calibration

In order to assure that the time response of the chamber is fast enough to accommodate pulsed waveform testing, determination of the chamber time constant shall be accomplished using the following procedure:

- (1) Using the *CCF* from the chamber calibration Equation (B.11), calculate the quality factor, *Q*, for every frequency using:

$$Q = \left(\frac{16\pi^2 V}{\eta_{Tx} \eta_{Rx} \lambda^3} \right) (CCF) \quad (B.13)$$

where

η_{Tx} , η_{Rx} are the antenna efficiency factors for the transmit and receive antenna respectively and can conservatively be assumed (if not known) to be 0,75 for a log periodic antenna and 0,9 for a horn antenna,

V is the chamber volume (m³),

λ is the free space wavelength (m) at the specific frequency, and

CCF is the chamber calibration factor.

NOTE If the value of P_{AveRec} measured in B.2(4) was within (i.e., not greater than or less than) the values recorded for all eight locations in B.1.5 (2), calculation of the *CLF* was not necessary and the value of the *CLF* was assumed to be 1. In such case, the *ACF* from section B.1.2 must be used in place of the *CCF* when calculating the chamber *Q*.

- (2) Calculate the chamber time constant, τ , for every frequency using:

$$\tau = \frac{Q}{2\pi f} \quad (B.14)$$

where

Q is the value calculated in Step (1) above, and

f is the test frequency (Hz)

- (3) If the chamber time constant is greater than 0,4 of any modulation test waveform pulse width for more than 10 % of the test frequencies, absorber shall be added to the chamber or the pulse width increased. If absorber is added, repeat the *Q* measurement and the calculation until the time constant requirement is satisfied with the least possible absorber. A new *CLF* shall be defined if absorber material is required.

Tableau B.1 – Prescriptions d'échantillonnage

Gamme de fréquence	Nombre d'échantillons ^a recommandés pour l'étalonnage et l'essai	Nombre de fréquences ^b exigées pour l'étalonnage
f_s à $3 f_s$ ^c	50	20
$3 f_s$ à $6 f_s$	18	15
$6 f_s$ à $10 f_s$	12	10
Supérieure à $10 f_s$	12	20 par décade
NOTE Le nombre minimal d'échantillons est 12.		
^a (i.e., positions indépendantes du brasseur ou intervalles)		
^b logarithmiquement espacées.		
^c f_s = fréquence de départ (voir A.3 pour la fréquence utilisable la plus faible).		

Tableau B.2 – Prescriptions de tolérance pour l'uniformité du champ

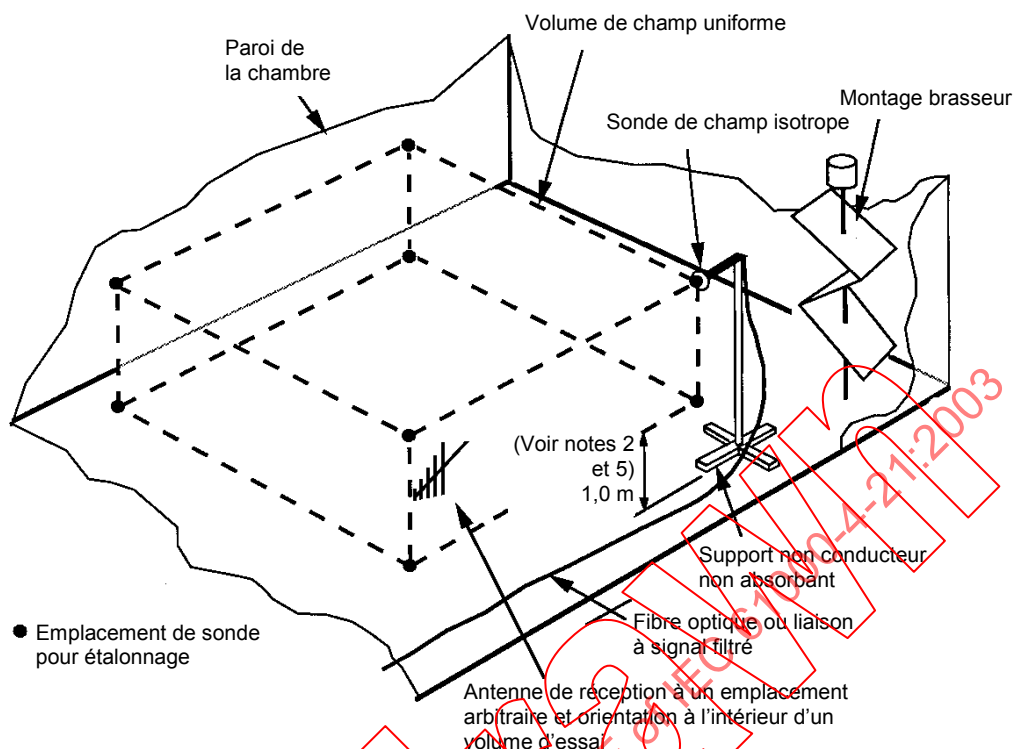
Gamme de fréquence	Prescriptions de tolérance pour l'écart type
80 MHz à 100 MHz	4 dB ^a
100 MHz à 400 MHz	4 dB à 100 MHz décroissant linéairement à 3 dB à 400 MHz ^a
Supérieure à 400 MHz	3 dB ^a
^a Un maximum de 3 fréquences par octave peuvent dépasser l'écart type autorisé dans une proportion ne dépassant pas 1 dB de la tolérance exigée.	

Table B.1 – Sampling requirements

Frequency range	Number of samples ^a recommended for calibration and test	Number of frequencies ^b required for calibration
f_y to $3 f_s$ ^c	50	20
$3 f_s$ to $6 f_s$	18	15
$6 f_s$ to $10 f_s$	12	10
Above $10 f_s$	12	20/decade
NOTE The minimum number of samples is 12.		
^a I.e., independent tuner positions or intervals.		
^b Log spaced.		
^c f_s = Start frequency (see A.3 for LUF)		

Table B.2 – Field uniformity tolerance requirements

Frequency range	Tolerance requirements for standard deviation
80 MHz to 100 MHz	4 dB ^a
100 MHz to 400 MHz	4 dB at 100 MHz decreasing linearly to 3 dB at 400 MHz ^a
Above 400 MHz	3 dB ^a
^a A maximum of three frequencies per octave may exceed the allowed standard deviation by an amount not to exceed 1 dB of the required tolerance	



IEC 2114/03

NOTE 1 L'étalonnage des champs à l'intérieur de la chambre réverbérante est composé de 8 emplacements de sonde.

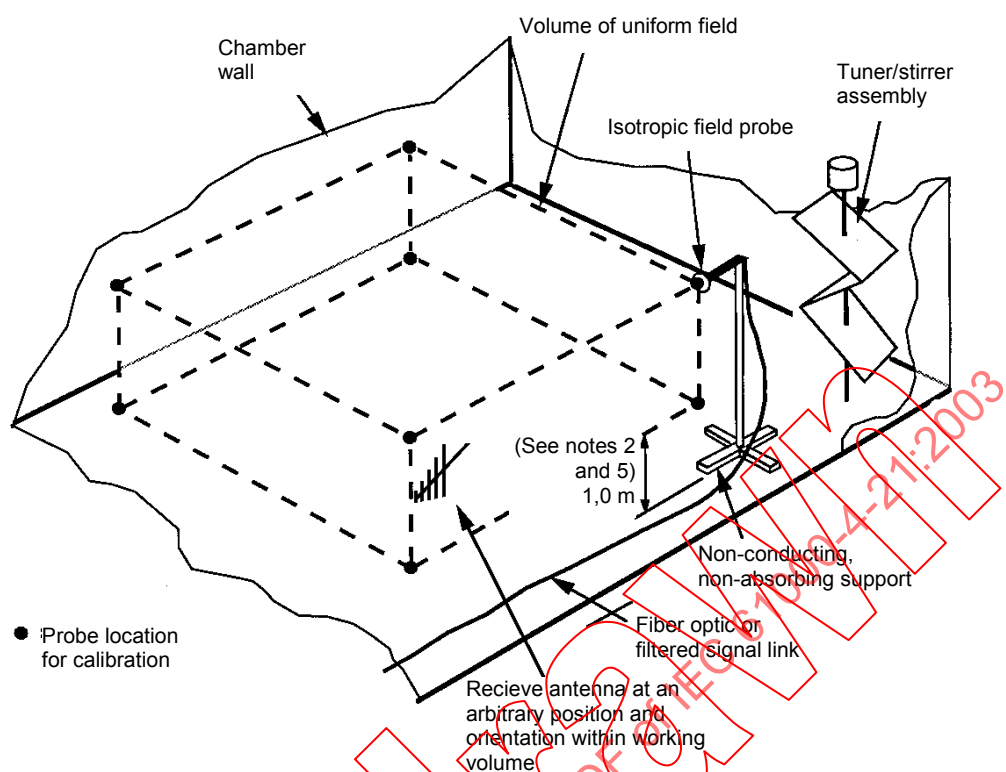
NOTE 2 Les emplacements englobent un volume comme indiqué ci-dessus. Ce volume est le «volume de travail» de la chambre. Il est recommandé que les surfaces bordant le volume de travail ne soient pas à moins de 1 m (voir la Note 5) de toute surface de la chambre, de toute antenne de génération de champ, ou du montage du brasseur. Pour les besoins d'étalonnage et de contrôle, l'antenne de réception peut être située à tout emplacement à l'intérieur du volume de travail. Il convient que l'antenne d'émission soit dans la mesure du possible dirigée vers un coin de la chambre. Diriger l'antenne vers le brasseur est aussi acceptable. Il est nécessaire que l'emplacement de l'antenne d'émission reste fixe au cours de l'étalonnage et des essais. Il faut que l'emplacement de l'antenne d'émission soit le même pour l'étalonnage et les essais.

NOTE 3 La taille du volume de travail peut être adaptée pour correspondre au volume maximal de travail de la chambre ou aux éléments à soumettre aux essais. Il est recommandé que la taille du volume de travail soit adaptée pour correspondre au volume maximal de travail, dans la mesure où un deuxième étalonnage sera nécessaire si des éléments de plus grande taille doivent être soumis aux essais. Le volume de travail n'a pas besoin d'être de forme rectangulaire. Pour certaines formes arbitraires, il peut être nécessaire d'ajouter des points d'étalonnage de manière à définir correctement le volume de travail.

NOTE 4 Une sonde isotrope, qui fournit l'accès à chacun des 3 axes, est utilisée pour réaliser les étalonnages. Une antenne dipolaire électriquement courte (c'est-à-dire inférieure à $\lambda/3$) étalonnée peut être utilisée comme alternative, sous réserve que l'antenne dipolaire soit positionnée selon 3 orientations mutuellement perpendiculaires pour chaque emplacement de mesure. Il convient de veiller à ce que le dipôle ne soit pas influencé par son câble de connexion. Un système de mesure isolé optiquement (sonde ou dipôle isotrope) est recommandé.

NOTE 5 La distance de séparation minimale peut être réduite sous réserve que la séparation soit supérieure à $\lambda/4$ pour la fréquence d'essai la plus basse. Les distances de séparation de moins de $\lambda/4$ ne sont pas recommandées quel que soit le cas.

Figure B1 – Emplacements de sonde pour l'étalonnage de chambre



IEC 2114/03

NOTE 1 Calibration of the fields inside the reverberation chamber must consist of eight probe locations.

NOTE 2 The locations must enclose a volume as shown above. This volume is the "working volume" of the chamber. It is recommended that the surfaces bounding the working volume not be located closer than 1 m (see Note 5) from any chamber surface, field generating antenna or tuner assembly. For calibration and monitoring purposes the receive antenna may be located at any location within the working volume. The transmit antenna should be directed into a corner of the chamber if possible. Directing the antenna into the tuner is also acceptable. The location of the transmit antenna must remain fixed during calibration and testing. The location of the transmit antenna must be the same for both calibration and testing.

NOTE 3 The working volume may be sized to suit the maximum working volume of the chamber or sized to suit the items to be tested. It is recommended that the working volume be sized to suit the maximum working volume since a second calibration will be required if larger items are to be tested. The working volume need not be rectangular in shape. For some arbitrary shapes it may be necessary to add calibration points in order to properly define the working volume.

NOTE 4 An isotropic probe, which provides access to each of the three axes must be used to perform calibrations. A calibrated electrically short dipole antenna (i.e., less than $\lambda/3$) may be substituted, provided that the dipole antenna is positioned at three mutually perpendicular orientations for each measurement location. Care should be taken to ensure that the dipole is not influenced by its connecting cable. An optically isolated measurement system (isotropic probe or dipole) is recommended.

NOTE 5 The minimum separation distance may be reduced provided that the separation is greater than $\lambda/4$ for the lowest test frequency. Separation distances of less than $\lambda/4$ are not recommended in any case.

Figure B.1 – Probe locations for chamber calibration

Annexe C (normative)

Étalonnage de chambre réverbérante par brassage de modes continu

C.1 Technique du brassage de modes continu – remarques générales

Cette annexe traite de la technique d'étalonnage par brassage de modes continu par opposition avec l'étalonnage par brassage de modes pas à pas, exposée en détail à l'Annexe B. En brassage de modes continu, on doit veiller à ce que la vitesse du brasseur soit telle que les capteurs et le matériel en essai puissent répondre de manière adéquate au champ qui change en permanence à l'intérieur de la chambre réverbérante.

Il convient que le brasseur ou la roue à pales soit entraîné, soit par un moteur pas à pas (comme celui utilisé pour le mode pas à pas), soit par un moteur à commande continue, si la vitesse du moteur peut être contrôlée pour s'adapter aux équipements d'essais avec différents temps de réponse et différentes durées de cycle. Si le matériel en essai est exposé de manière appropriée à un champ variant de manière continue à l'intérieur de la chambre, la technique du brassage de modes continu peut être plus rapide que la technique du brassage de modes pas à pas.

La procédure d'étalonnage de chambre exposée à l'Annexe B peut être utilisée pour étalonner une chambre dans le but de réaliser des essais en mode continu. Le brasseur subit simplement une rotation au lieu d'être réglé pas à pas selon des pas discrets. Le principal domaine de différence étant l'utilisation des capteurs actifs à 3 axes au cours de l'étalonnage en 8 points du volume de la chambre réverbérante. Une majorité des sondes de champ *E* à 3 axes (étalonnées en espace libre) disponibles dans le commerce, n'ont pas un taux d'échantillonnage adapté pour permettre leur utilisation au cours de l'étalonnage de chambre en mode continu. Si ces sondes doivent être utilisées, la vitesse du brasseur doit être suffisamment lente pour permettre aux capteurs étalonnés de répondre au champ qui change. D'autres capteurs étalonnés à réponse rapide qui peuvent répondre au champ qui change rapidement existent sur le marché. Ces capteurs sont très fréquemment à axe unique, mais peuvent toutefois être utilisés s'ils sont repositionnés selon 3 axes orthogonaux à chacun des 8 emplacements au cours de l'étalonnage du volume. Quelle que soit la sonde utilisée, le nombre d'échantillons indépendants (*N*) réalisés par la sonde sur une rotation du brasseur doit être connu.

NOTE 1 Ce nombre ne peut pas dépasser le nombre d'échantillons indépendants que le brasseur est capable de fournir (voir Annexe A).

NOTE 2 Avec les progrès de la technologie des sondes et des capteurs, les capteurs rapides en temps réel (à axe unique ou à 3 axes) peuvent être ou seront bientôt disponibles, pour permettre la réalisation de l'étalonnage de volume sur 8 points en utilisant les techniques de brassage de modes continu. La technique d'étalonnage de l'Annexe B peut être modifiée pour permettre l'utilisation de capteurs étalonnés (dans l'espace libre) au cours d'un étalonnage de volume en mode continu.

Au minimum, la technique en mode pas à pas telle qu'elle est décrite à l'Annexe B peut être utilisée pour fournir à la fois des données d'uniformité pour la chambre, et des données d'étalonnage de chambre en champ *E*. Si la chambre remplit les critères d'uniformité en termes d'écart type, la technique de mesure en mode continu peut être employée au cours de l'essai du matériel. Au cours de l'essai, seule une antenne passive de référence et la puissance d'entrée de la chambre sont utilisées pour établir les champs à l'intérieur de la chambre. Au cours du fonctionnement en mode continu, le nombre d'échantillons (le nombre d'intervalles de réponse du matériel en essai) peut être augmenté ou réduit de manière importante, en fonction de la vitesse de rotation du brasseur et du temps de réponse du matériel en essai. Si le nombre d'échantillons est augmenté, la valeur attendue du champ maximal (rayonné ou reçu) augmentera, et l'uniformité de champ de la chambre sera améliorée (voir C.2.3). Le paramètre qui exige un examen attentif est la vitesse du brasseur par rapport au temps de réponse du matériel /à la durée de cycle.

Annex C (normative)

Chamber calibration for mode-stirring

C.1 Mode-stirred technique – considerations

This normative annex addresses the continuous mode-stirred calibration technique as opposed to the mode-tuned calibration detailed in Annex B. Care shall be taken during continuous mode-stirring that the tuner speed is such that both the sensors and equipment under test are permitted to respond adequately to the continuously changing field within the reverberation chamber.

The tuner or paddle wheel should be driven either with a stepper motor (as used in mode-tuning) or a continuous motor driver can be employed, providing the motor speed can be controlled to accommodate the testing of equipment with various response or cycle times. Providing the equipment under test is exposed adequately to the continuously changing field within the chamber, the mode-stirred technique can be faster than the mode-tuned technique.

The procedure for chamber calibration outlined in Annex B can be used to calibrate a chamber for performing mode-stirred tests. The tuner is merely rotated as opposed to being stepped through a rotation at discrete steps. The main area of difference being the use of the active 3-axis sensors during the 8-point volume calibration of the reverberation chamber. A majority of the 3-axis *E*-field probes (calibrated in free space) on the market do not have an adequate sample rate to permit their use during continuous mode-stirred chamber calibration. If these probes are to be used, the speed of the tuner shall be sufficiently slow to enable the calibrated sensors to respond to the changing field. Other fast responding calibrated sensors are on the market that can respond to the fast changing field. These sensors are very often single axis, however these can be employed provided they are repositioned at 3 orthogonal axes at each of the 8 positions during the volume calibration. Regardless of the probe used, the number of independent samples (*N*) made by the probe over one stirrer rotation shall be known.

NOTE 1 This number cannot exceed the number of independent samples that the tuner is capable of providing (see Annex A).

NOTE 2 As probe/sensor technology improves, fast 'real time' sensors (single or 3-axis) may or soon will become available to permit the 8-point volume calibration to be performed employing continuous mode-stirred techniques. The calibration technique in Annex B can be modified to allow for the use of calibrated (in free space) sensors to be employed during a mode-stirred volume calibration.

As a minimum, the mode-tuned calibration technique as detailed in Annex B can be employed to provide both uniformity data for the chamber and *E*-field chamber calibration data. Providing the chamber meets the chamber uniformity in terms of standard deviation, the mode-stirred measurement technique can be employed during the equipment test. During the test, only a passive reference antenna and the chamber input power are employed to establish the fields within the chamber. During mode-stirred operation, the number of samples (the number of response intervals of the EUT) may be increased or decreased dramatically depending on the rotation rate of the stirrer and the response time of the equipment. If the number of samples is increased, then the expected value of the maximum field (radiated or received) will increase and the chamber field uniformity will be improved (see C.2.3). The parameter that requires careful consideration is the stirrer speed versus the equipment response/cycle time.

Très souvent, aucune information préalable n'est disponible en ce qui concerne le temps de réponse ou les durées de cycle du matériel en essai. Compte tenu de ce manque d'informations, il faut appliquer la mesure en mode continu uniquement en veillant au temps de réponse du matériel et à la vitesse du brasseur. Si en fait, la réponse du matériel/la durée du cycle est rapide, par rapport à la vitesse de modification du champ, la technique du mode continu peut être plus complète car tous les états intermédiaires du brasseur sont également couverts. En outre, le brassage peut être plus rapide qu'avec la technique du mode pas à pas.

NOTE 3 Un matériel en essai à réponse rapide est défini comme un matériel capable d'obtenir au moins un échantillon par changement de 1 dB dans le champ quand celui-ci est dans les limites de 3 dB du champ maximal. Pour les matériels à temps de réponse lent/à durée de cycle lente, pour lesquels il est nécessaire de prévoir un temps prédéfini à chaque pas du brasseur, la technique en mode pas à pas est généralement plus rapide et plus précise.

Certains dispositifs sont plus sensibles au champ moyen qu'au champ maximal (par exemple, effets thermiques). Dans les cas où le matériel en essai est capable de faire une moyenne ou une intégration du champ auquel il est exposé, les brasseurs tournant rapidement peuvent être intéressants. Dans de tels cas, l'essai ne se fait plus sur le champ maximal de la chambre mais sur le champ moyen. La vitesse maximale autorisée pour le brasseur n'est pas définie avec cette technique.

La détermination de la vitesse appropriée de rotation du brasseur est la clé de l'utilisation de la technique par brassage de modes continu. La vitesse de rotation doit permettre un délai suffisant pour que le matériel puisse répondre, et pour que tout dysfonctionnement puisse être détecté. Souvent, il est nécessaire que le matériel en essai présente un dysfonctionnement pour déterminer si la vitesse de rotation sélectionnée du brasseur est appropriée. Dès qu'un dysfonctionnement est survenu, la vitesse de rotation peut être ajustée, augmentée ou diminuée, pour déterminer si un changement du seuil de dysfonctionnement apparaît. Tout changement du seuil de dysfonctionnement du matériel indiquerait un problème avec la vitesse originelle de rotation du brasseur. La technique par brassage de modes continu est la plus appropriée pour des matériels en essai qui ont des temps de réponse très brefs (c'est-à-dire rapides).

Il n'appartient pas au domaine d'application de la présente procédure d'essai de fournir des limites sur la vitesse du brasseur et des procédures d'essai détaillées pour assurer que la vitesse du brasseur est suffisamment lente (ou rapide) pour que le matériel réponde. La technique (mode continu ou mode pas à pas) doit être exposée et faire l'objet d'un accord dans le plan d'essai individuel du matériel. Les justifications pour l'utilisation de l'une ou l'autre des techniques de chambre réverbérante (mode continu ou mode pas à pas) doivent être enregistrées dans le rapport d'essai pour le matériel en essai.

Les comités de produits doivent donner des informations détaillées pour une vitesse de brasseur adaptée pour réaliser les essais de conformité d'un produit particulier. Si les comités de produits ne peuvent pas fournir cette information, des essais de conformité doivent être réalisés en utilisant la technique du mode pas à pas.

C.2 Considérations relatives au brassage continu

C.2.1 Temps de réponse/durée de cycle du matériel en essai

Plus le temps de réponse et/ou la durée de cycle du matériel en essai sont rapides, plus le matériel est adapté au brassage continu [1]³⁾. C'est une des raisons pour lesquelles les méthodes par brassage de modes continu sont préférées pour la réalisation des essais d'efficacité d'écran. Les récepteurs associés aux essais d'efficacité d'écran sont généralement très rapides. Pour les essais d'immunité, le temps nécessaire au matériel en essai pour répondre au champ appliqué et à tout dysfonctionnement ou toute anomalie à détecter, doivent être pris en compte. Pour les essais d'émission, on doit tenir compte de la durée de cycle du dispositif et du temps de réponse de l'équipement de contrôle.

3) Les chiffres entre crochets renvoient à l'Article C.4, Documents de référence, à la fin de cette annexe.

Very often, no prior information is available related to the response time or cycle times of the equipment under test. Due to this lack of information, the mode-stirred measurement must be applied only with careful consideration of the equipment response time and the speed of the stirrer. If in fact, the equipment response/cycle time is fast, relative to the rate of change of the field, the mode-stirred technique can be more thorough because all intermediate stirrer states are also covered. In addition, stirring can be faster than the mode-tuned technique.

NOTE 3 The definition of a fast responding EUT is one able to obtain at least one sample per 1 dB change in the field when within 3 dB of the maximum field. For equipment with slow response/cycle times, where it is necessary to dwell for some pre-defined time at each tuner step, the mode-tuned technique is usually faster and more accurate.

Some devices are more sensitive to the average field than the maximum field (e.g., thermal effects). In cases where the EUT is capable of averaging or integrating the field to which it is being exposed, rapidly turning stirrers may be advantageous. In such cases the test is no longer to the maximum chamber field but to the average chamber field. The maximum permitted speed of the tuner is not defined within this technique.

Determination of the appropriate tuner rotation rate is the key to using the mode-stirred technique. The speed of rotation shall allow sufficient time for the EUT to respond and any upset to be detected. Often the EUT must exhibit upset in order to determine if the selected tuner rotation rate is appropriate. Once an upset has occurred the rotation rate can be adjusted, increased or decreased, to determine if any change in the upset threshold occurs. Any significant change in the equipment upset threshold would indicate a problem with the original tuner rotation rate. The mode-stirred technique is most appropriate for EUTs that have a very short (i.e., fast) response time.

It is not within the scope of this test procedure to provide limits on the tuner speed and detailed test procedures for ensuring the tuner speed is adequately slow (or fast) for equipment to respond. The technique (mode-stirred or mode-tuned) shall be highlighted and agreed within the individual equipment test plan. Justifications for the use of either one of the reverberation chamber techniques (mode-stirred or mode-tuned) shall be recorded within the test report for the equipment being tested.

The product committees have to give detailed information for an adequate tuner speed for performing compliance tests of a specific product. If the product committees cannot provide this information compliance tests shall be performed using the mode tuned technique.

C.2 Stirring considerations

C.2.1 Response/cycle time of the equipment under test

The faster the response time and/or cycle time of the EUT, the better suited the EUT is for stirring [1]³⁾. This is one reason that mode-stirred methods are preferred when performing shielding effectiveness (SE) tests. The receivers associated with SE testing are generally very fast. For immunity testing, time required for the EUT to respond to the applied field and any upset or anomaly to be detected shall be considered. For emissions testing the cycle time of the device and the response time of the monitoring equipment shall be considered.

3) Figures in square brackets refer to Clause C.4, Reference documents, at the end of this annex.

C.2.2 Vitesse de rotation du brasseur

La vitesse de rotation du brasseur doit être établie avant de commencer les essais. La vitesse de changement du champ déterminera la vitesse de rotation du brasseur. Pour les essais d'immunité, la vitesse est déterminée par le temps nécessaire au matériel en essai pour répondre au champ appliqué et tout dysfonctionnement ou toute anomalie à détecter. Pour les essais d'émissions, la vitesse est déterminée par la durée du cycle du dispositif et par le temps de réponse de l'équipement de contrôle. Les Figures C.1 et C.2, montrent les champs à l'intérieur d'une chambre réverbérante lorsqu'un brasseur unique a subi des rotations à une vitesse fixe d'environ 5,2 s par rotation. Comme cela est représenté aux Figures C.1 et C.2, la vitesse de variation du champ à l'intérieur de la chambre réverbérante dépend de la fréquence. A des fréquences plus élevées, la vitesse de changement peut être très rapide pour une vitesse de rotation modérée. La vitesse de changement du champ pour une chambre particulière doit être évaluée sur la gamme de fréquences considérée. La vitesse de rotation du brasseur peut être réglée en fonction de la vitesse de rotation la plus faible qui donnera la vitesse de changement maximale admise dans le champ, ou la vitesse de rotation du brasseur peut être modifiée sur la gamme de fréquences devant être soumise aux essais. Il convient que l'évaluation du brasseur soit réalisée à des intervalles qui ne doivent pas dépasser 100 MHz à des fréquences inférieures à 1 GHz et 1 000 MHz à des fréquences supérieures à 1 GHz.

C.2.3 Effet du brasseur sur le champ *E* attendu

Comme cela est décrit à l'Annexe A, la valeur attendue du champ *E* maximal est déterminée par le nombre d'échantillons (à savoir pas de brasseur). Comme cela est représenté à la Figure A.10, la valeur attendue du champ maximal augmente lorsque le nombre d'échantillons (*N*) augmente. L'étalonnage à l'Annexe B utilise un nombre de pas de brasseur qui a montré qu'il fournissait l'incertitude minimale acceptable pour une chambre donnée. En brassage de modes continu, il est possible, en fait il est vraisemblable, d'obtenir un nombre différent d'échantillons par rapport à celui utilisé au cours de l'étalonnage en mode pas à pas. Si un nombre d'échantillons plus grand est obtenu, alors l'effet sur les essais d'immunité reviendrait à réaliser les essais à un niveau supérieur à celui requis. Si un nombre d'échantillons plus grand est obtenu au cours d'un essai d'émission, il en résulterait que la quantité de puissance rayonnée en provenance du matériel en essai qui serait mesurée serait moins grande que celle qui est réellement émise. C'est le cas pour les mesures fondées sur la puissance maximale uniquement. Des mesures fondées sur la puissance moyenne seraient plus précises, en raison du nombre accru d'échantillons. Il est souhaitable que le nombre d'échantillons obtenu au cours de l'essai soit le même que le nombre d'échantillons obtenu au cours de l'étalonnage. Si le nombre d'échantillons n'est pas le même, alors il est souhaitable que ce nombre soit aussi élevé que possible, à la fois pour l'étalonnage et l'essai. Ceci est dû au fait que, à des valeurs élevées de *n* (à savoir, $n > 100$), les variations dans le champ *E* attendu sont moins prononcées.

NOTE Comme cela est représenté à l'Annexe A, le brasseur n'est pas capable de fournir un nombre infini d'échantillons. Le nombre maximal d'échantillons (*n*) qui participent à la valeur attendue du champ *E* est limité au nombre d'échantillons indépendants que le brasseur est capable de fournir. Ce nombre baisse rapidement lorsque la fréquence d'essai approche de la fréquence utilisable la plus faible d'une chambre donnée.

C.3 Questions à examiner en cas d'utilisation du brassage

Les questions suivantes doivent être examinées lorsque le brassage continu est utilisé:

- a) temps de réponse/durée du cycle du matériel en essai;
- b) vitesse de rotation du brasseur (c'est-à-dire vitesse de changement du champ);
- c) effet du brassage sur la précision de l'étalonnage.

C.2.2 Stirrer rotation rate

The stirrer rotation rate shall be established prior to starting the test. The rate of change of the field will determine the tuner rotation rate. For immunity testing, the rate is determined by the time required for the EUT to respond to the applied field and any upset or anomaly to be detected. For emissions testing, the rate is determined by the cycle time of the device and the response time of the monitoring equipment. Figures C.1 and C.2 show the fields within a reverberation chamber, as a single tuner is rotated at a fixed rate of about 5,2 s per rotation. As shown in Figures C.1 and C.2, the rate of change of the field within a reverberation chamber is frequency dependent. At higher frequencies, the rate of change can be very rapid for a moderate rotation rate. The rate of change in the field for a particular chamber shall be evaluated over the frequency range of interest. The rotation rate of the tuner can be set according to the slowest rotation rate that will give the maximum allowed rate of change in the field, or the tuner rotation rate can be varied over the frequency range to be tested. Evaluation of the tuner should be performed at intervals not to exceed 100 MHz at frequencies below 1 GHz and 1 000 MHz at frequencies above 1 GHz.

C.2.3 Tuner effect on expected e-field

As described in Annex A, the expected value of the maximum E -field is determined by the number of samples (i.e., tuner steps). As shown in Figure A.10, the expected value of the maximum field increases as the number of samples (N) increases. The calibration in Annex B uses a number of tuner steps that has been shown to provide the minimum acceptable uncertainty for a given chamber. When mode-stirring, it is possible, actually it is likely, to get a different number of samples than used during the mode-tuned calibration. If more samples are obtained, then the effect on immunity tests would be to test at a level higher than required. If more samples are obtained during an emission test then the result would be that less radiated power would be measured from the EUT than it was actually emitting. This is the case for maximum-power-based measurements only. Average-power-based measurements would be more accurate, due to the increased number of samples. It is desirable that the number of samples obtained during the test be the same as the number of samples obtained during calibration. If the number of samples is not the same then it is desirable to have the number of samples be as large as possible for both calibration and test. This is due to the fact that, at high values of n (i.e. $n > 100$), the variations in the expected E -field are less pronounced.

NOTE As shown in Annex A the tuner is not capable of delivering an infinite number of samples. The maximum number of samples (n) that contribute to the expected value of the E -field is limited to the number of independent samples the tuner is capable of providing. This number decreases rapidly as the test frequency approaches the lowest useable frequency of a given chamber.

C.3 Issues to be addressed when using stirring

The following issues shall be addressed when using stirring:

- a) response/cycle time of the EUT;
- b) rotation rate of the tuner/stirrer (i.e., rate of change of the field);
- c) effect of stirring on accuracy of the calibration.

C.4 Documents de référence

- [1] ARNAUT, LR. Effect of local stir and spatial averaging on the measurement and testing in mode-tuned and mode-stirred reverberation chambers. *IEEE Trans. EMC*, Aug. 2001, vol. 43, nr. 3, p. 305-325.
- [2] ARNAUT, LR. EUT reliability testing in mode-stirred reverberation chambers, Proc. 14th Zurich Symposium on EMC, (Feb 20-22, 2001, Zurich, CH), pp. 647-651.

Withdrawing
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61000-4-21:2003

C.4 Reference documents

- [1] ARNAUT, LR. Effect of local stir and spatial averaging on the measurement and testing in mode-tuned and mode-stirred reverberation chambers. *IEEE Trans. EMC*, Aug. 2001, vol. 43, nr. 3, p. 305-325.
- [2] ARNAUT, LR. EUT reliability testing in mode-stirred reverberation chambers, Proc. 14th Zurich Symposium on EMC, (Feb 20-22, 2001, Zurich, CH), pp. 647-651.

Withdrawing
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61000-4-21:2003

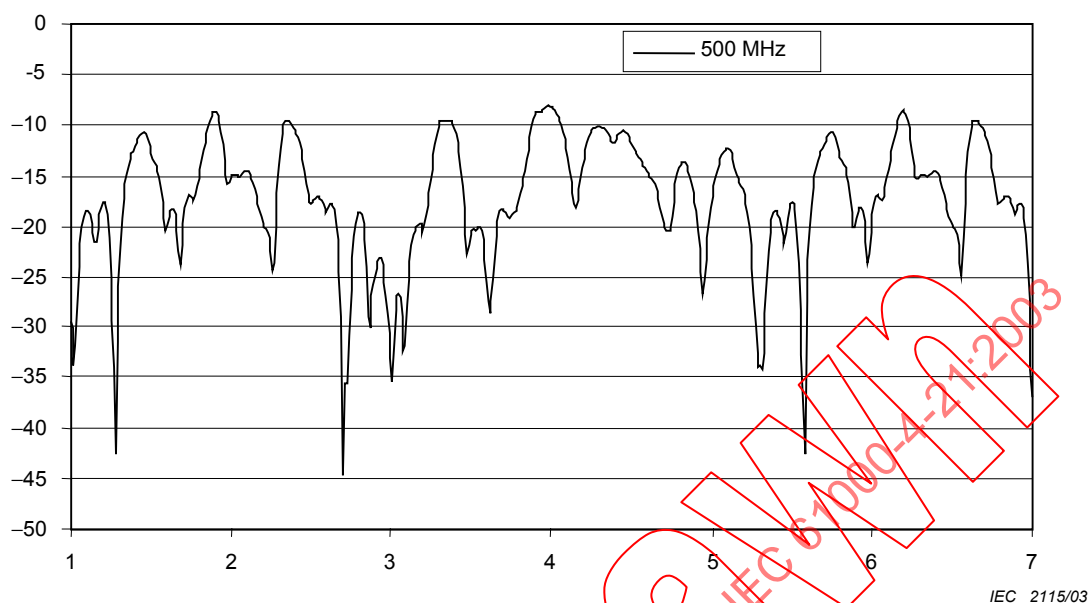


Figure C.1 – Puissance reçue (dBm) en fonction de la ou des rotations du brasseur à 500 MHz

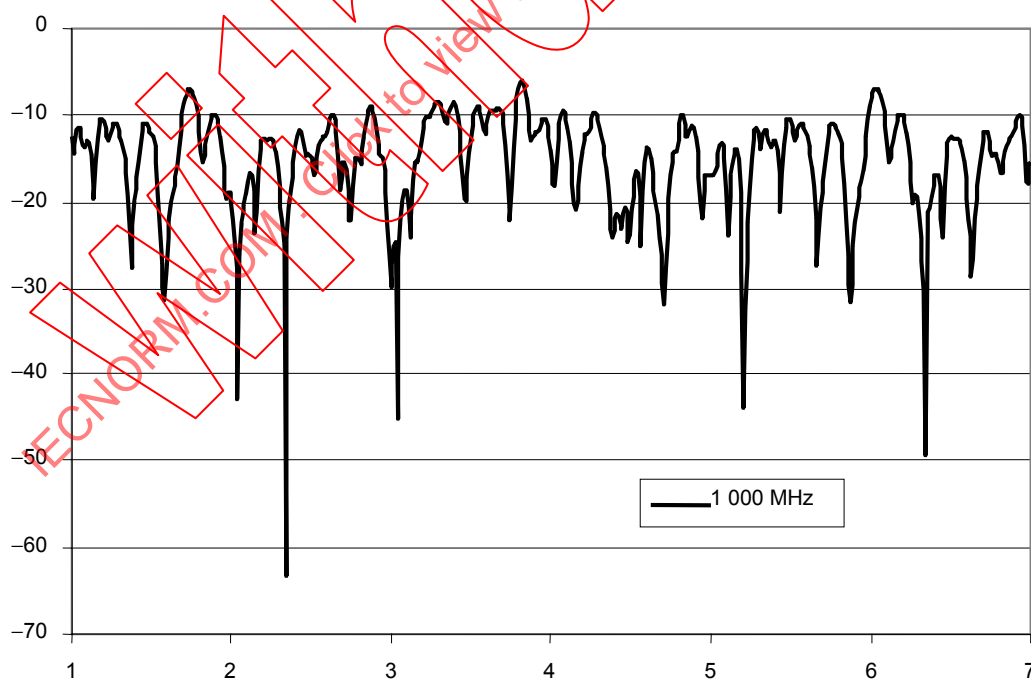


Figure C.2 – Puissance reçue (dBm) en fonction de la ou des rotations du brasseur à 1 000 MHz

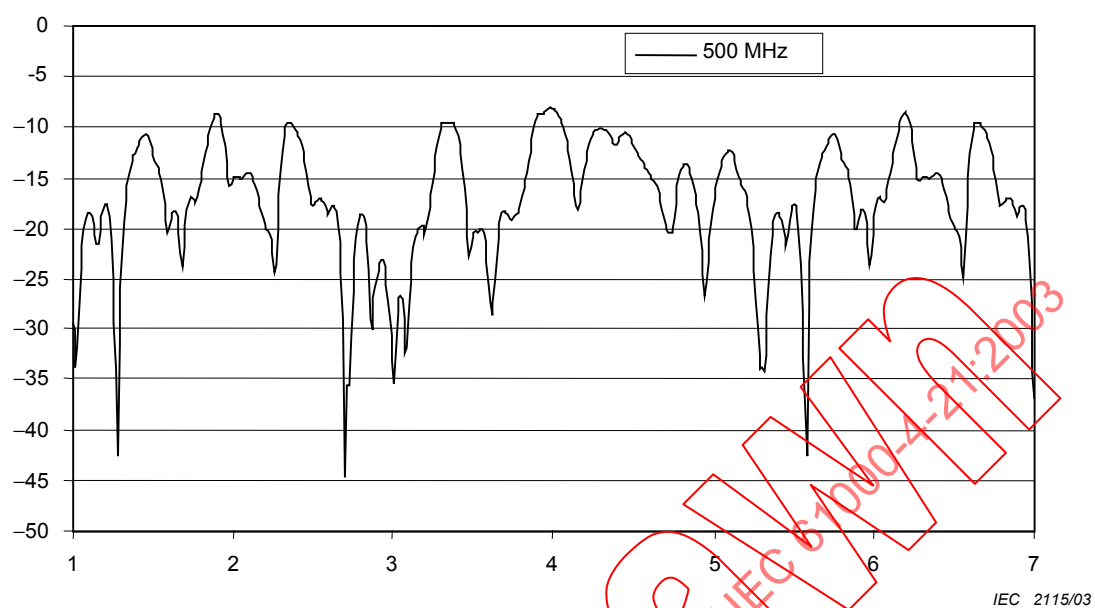


Figure C.1 – Received power (dBm) as a function of tuner rotation (s) at 500 MHz

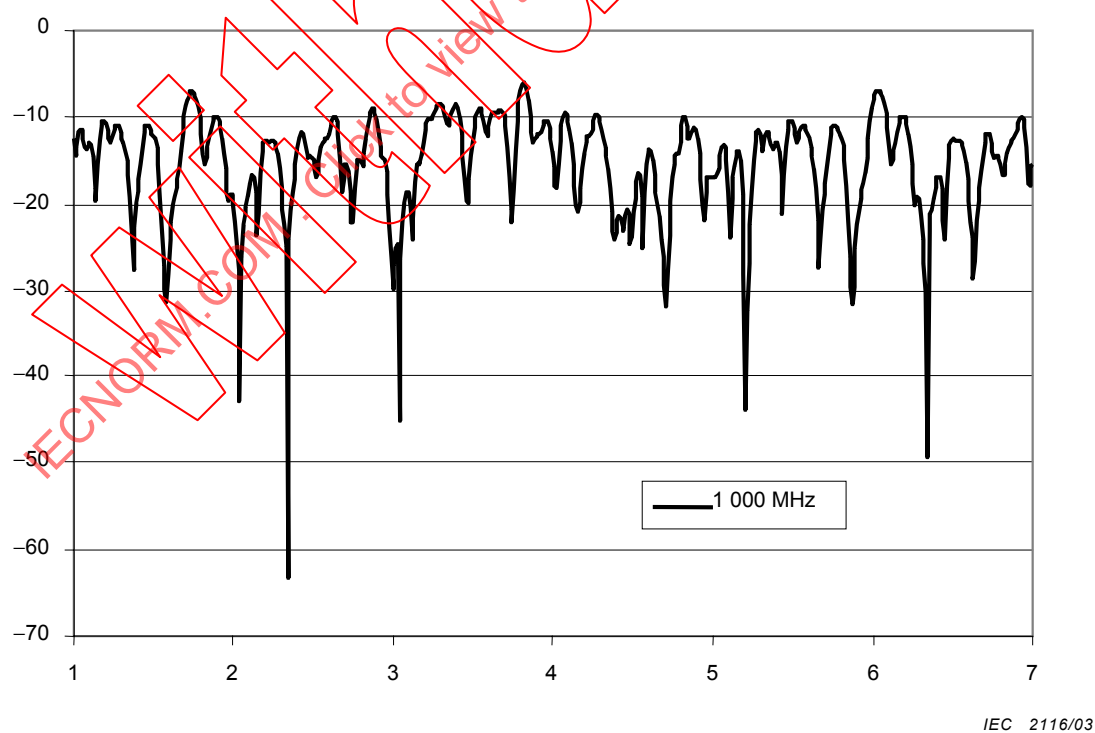


Figure C.2 – Received power (dBm) as a function of tuner rotation (s) at 1 000 MHz

Annexe D (normative)

Essais d'immunité aux émissions rayonnées

D.1 Montage d'essai

Il convient que le montage soit celui représenté à la Figure D.1. Il convient que le montage du matériel soit représentatif de l'installation réelle. Le matériel en essai doit être au moins à $\lambda/4$ des parois de la chambre à la fréquence utilisable la plus faible de la chambre. Les matériels en essai conçus pour fonctionner sur table doivent être situés à $\lambda/4$ du plancher de la chambre. Les matériels destinés à reposer sur le sol doivent être placés sur un support à 10 cm du plancher, dans une zone sous le volume uniforme, en utilisant un support diélectrique à faible perte. L'installation du matériel et des câbles d'essai doivent être décrits dans le rapport d'essai.

Il convient que l'antenne d'émission soit au même emplacement que celui utilisé pour l'étalonnage. L'antenne d'émission ne doit pas illuminer directement le matériel en essai ou l'antenne de réception. Une configuration recommandée consiste à diriger les antennes vers les coins de la chambre. Les modes de fonctionnement appropriés, les installations logiciel, la stabilité du matériel en essai, le matériel d'essai, et tous les circuits et charges de contrôle doivent être établis.

D.2 Etalonnage

Avant de collecter les données, une vérification doit être effectuée pour déterminer si le matériel en essai et/ou son équipement de support ont chargé la chambre de manière défavorable. Cette vérification doit être réalisée comme indiqué à l'Article B.2. Si des procédures en mode continu sont utilisées, on doit veiller à s'assurer que les questions liées au brassage indiquées à l'Annexe C sont traitées de manière appropriée.

D.3 Procédures d'essai de l'immunité aux émissions rayonnées

ATTENTION: Les champs radioélectriques peuvent être dangereux. Observer les limites nationales applicables concernant l'exposition aux champs radioélectriques.

D.3.1 Détermination des prescriptions de puissance d'entrée de la chambre

Déterminer la puissance d'entrée de la chambre, $P_{\text{Entrée}}$ (W), nécessaire pour satisfaire aux prescriptions d'essai pour l'intensité de champ électrique en utilisant l'équation:

$$P_{\text{Entrée}} = \left[\frac{E_{\text{Test}}}{\langle \vec{E} \rangle_{24\text{ou}9} \times \sqrt{CLF(f)}} \right]^2 \quad (\text{D.1})$$

où

$P_{\text{Entrée}}$ est la puissance incidente pénétrant dans la chambre pour obtenir le champ désiré pour les essais d'immunité, en W,

E_{Test} est le champ nécessaire en V/m,

$CLF(f)$ est le facteur de charge de chambre en fonction de la fréquence issue de l'Annexe B [B.2(7)],

Annex D (normative)

Radiated immunity tests

D.1 Test set-up

The typical test set-up should be as shown in Figure D.1. The equipment layout should be representative of the actual installation. The EUT shall be at least $\lambda/4$ from the chamber walls at the lowest usable frequency (LUF) of the chamber. EUTs designed for tabletop operation shall be located $\lambda/4$ from the chamber floor. Floor standing EUTs shall be supported 10 cm above the floor, in the area beneath the uniform volume, by a low loss dielectric support. The layout of the test equipment and cables shall be described in the test report.

The transmit antenna should be in the same location as used for calibration. The transmit antenna shall not directly illuminate the EUT or the receive antenna. Directing the antennas into the corners of the chamber is a recommended configuration. Appropriate modes of operation, software installation, and stability of the EUT, test equipment and all monitoring circuits and loads shall be established.

D.2 Calibration

Prior to collecting data a check shall be performed to determine if the EUT and/or its support equipment have adversely loaded the chamber. This check shall be performed as outlined in clause B.2. If mode-stirred procedures are used, care shall be taken to ensure that the issues associated with stirring outlined in Annex C are adequately addressed.

D.3 Radiated immunity test procedures

CAUTION: RF fields can be hazardous. Observe applicable national RF exposure limits.

D.3.1 Determining chamber input power requirements

Determine the chamber input power, P_{input} (W), required to meet the test requirements for the electric field intensity using the equation:

$$P_{\text{input}} = \left[\frac{E_{\text{test}}}{\langle \vec{E} \rangle_{24 \text{ or } 9} \times \sqrt{CLF(f)}} \right]^2 \quad (\text{D.1})$$

where

P_{input} is the forward power in W into the chamber to achieve the desired field strength for immunity tests,

E_{test} is the required field strength in V/m,

$CLF(f)$ is the chamber loading factor as a function of frequency from Annex B (B.2(7)),

$\langle \vec{E} \rangle_{24 \text{ ou } 9}$ est la moyenne du champ normalisé E provenant de l'étalonnage de la chambre vide de l'Annexe B [B.1.1(10)(b) ou (c)]. Il sera nécessaire d'interpoler (interpolation linéaire) entre les points de fréquence d'étalonnage (l'étalonnage à un intervalle de pas plus fin constitue également une option).

D.3.2 Choix du balayage en fréquence, des vitesses de pas et des intervalles

Le balayage en fréquence ou les vitesses de pas doivent être choisis en tenant compte du temps de réponse du matériel en essai, des largeurs de bande de sensibilité du matériel en essai, et du temps de réponse du matériel d'essai utilisé pour le contrôle. La vitesse de balayage choisie doit être justifiée par ce critère et documentée dans le rapport d'essai.

Sauf spécification contraire dans le plan d'essai, les lignes directrices suivantes seront utilisées pour choisir les fréquences d'essai.

D.3.2.1 Essais aux fréquences discrètes

Pour un équipement d'essai qui génère des fréquences discrètes, le nombre minimal de fréquences d'essai doit être de 100 fréquences par décade. Les fréquences d'essai doivent être logarithmiquement espacées. Comme exemple (au-delà de 100 MHz), la formule qui suit peut être utilisée pour calculer ces fréquences en ordre croissant:

$$f_{n+1} = f_n \times 10^{(1/99)} \quad (\text{D.2})$$

où

n est un entier

$n = 1$ à 100, et

f_n est la n ème fréquence d'essai (f_1 est la fréquence de départ et f_{100} est la fréquence de fin.)

Le temps de palier à chaque fréquence d'essai doit être au moins de 0,5 s, à l'exclusion du temps de réponse de l'équipement d'essai, et du temps nécessaire pour appliquer une rotation au brasseur (jusqu'à arrêt) (voir l'Annexe C pour les précautions concernant le brassage). Un temps de palier complémentaire à chaque fréquence d'essai peut être nécessaire, pour permettre au matériel en essai d'être placé dans les modes de fonctionnement appropriés, et pour permettre une «période d'arrêt» au cours de la modulation en basse fréquence. Deux cycles complets au moins doivent être appliqués. Par exemple, si la modulation appliquée est une modulation d'onde carrée à 1 Hz, le temps de palier ne doit pas être inférieur à 2 s. Le temps de palier doit être justifié à partir du matériel en essai et de son temps de réponse, ainsi que de la modulation appliquée, et il doit être documenté dans le rapport d'essai.

D.3.2.2 Essais par balayage en fréquence

Pour les équipements d'essai qui génèrent un balayage en fréquence continu, la vitesse de balayage minimale (la plus rapide) doit être égale au nombre de fréquences discrètes par décade multiplié par le temps de palier, c'est-à-dire 100 fréquences discrètes par décade fois 1 s de temps de palier équivaut à 100 s par vitesse de balayage de décade. La vitesse de balayage la plus rapide doit être utilisée uniquement lorsque le matériel en essai et l'équipement d'essai associé sont capables de répondre complètement au stimulus d'essai. Si on ne peut pas vérifier que le matériel en essai peut répondre de manière adéquate au stimulus balayé, alors des fréquences discrètes doivent être utilisées à moins qu'une vitesse de balayage ne soit spécifiée par le comité de produits. L'utilisation du brassage continu avec les essais par balayage en fréquence est déconseillée.

NOTE Il convient d'inclure des fréquences d'essai complémentaires pour des fréquences de réponse connues du matériel, comme les fréquences images (FI), les fréquences d'horloge, etc. Des prescriptions d'essai, de fabricant ou gouvernementales/réglementaires spécifiques peuvent donner une vitesse de balayage particulière ou des intervalles de fréquence prioritaires.

$\left\langle \vec{E} \right\rangle_{24\text{ or }9}$

is the average of the normalized E field from the empty chamber calibration from

Annex B [B.1.1(10)(b) or (c)]. It will be necessary to interpolate (linear interpolation) between the calibration frequency points (calibration at a finer step interval is also an option).

D.3.2 Selecting frequency sweep/step rates/intervals

Frequency sweep or step rates shall be selected with consideration of equipment under test (EUT) response time, EUT susceptibility bandwidths and monitoring test equipment response time. The scan rate selected shall be justified by this criterion, and documented in the test report.

Unless otherwise specified by the test plan, the following guidance will be used for selecting test frequencies.

D.3.2.1 Discrete frequency testing

For test equipment that generates discrete frequencies, the minimum number of test frequencies shall be 100 frequencies per decade. The test frequencies shall be logarithmically spaced. As an example (above 100 MHz), a formula which can be used to calculate these frequencies in ascending order is as follows:

$$f_{n+1} = f_n \times 10^{(1/99)} \quad (\text{D.2})$$

where

n is an integer

$n = 1$ to 100, and

f_n is the n^{th} test frequency (f_1 is the start frequency, and f_{100} is the end frequency.)

The dwell time at each test frequency shall be at least 0,5 s, exclusive of test equipment response time and the time required to rotate the tuner (to a full stop) (see Annex C for cautions on stirring). Additional dwell time at each test frequency may be necessary to allow the EUT to be exercised in appropriate operating modes and to allow for the “off time” during low frequency modulation. At least two full cycles of modulation shall be applied. For example, if the applied modulation is a 1 Hz square wave (SW) modulation, the dwell time shall not be less than 2 s. The dwell time selected shall be justified based on EUT and test equipment response time, as well as applied modulation, and documented in the test report.

D.3.2.2 Swept frequency testing

For test equipment that generate a continuous frequency sweep, the minimum (fastest) sweep rate shall be equal to the number of discrete frequencies per decade multiplied by the dwell time, i.e., 100 discrete frequencies per decade times 1 s dwell time equals 100 s per decade sweep rate. The fastest sweep rate shall be used only when the EUT and associated test equipment are capable of fully responding to the test stimulus. If it cannot be verified that the EUT can adequately respond to the swept stimulus, then discrete frequencies shall be used unless a sweep rate is specified by the product committee. The use of stirring in conjunction with swept frequency testing is discouraged.

NOTE Additional test frequencies should be included for known equipment response frequencies, such as image frequencies (IFs), clock frequencies, etc. Specific test, manufacturer or government/regulatory requirements may list a specific scan rate or frequency interval(s) that takes precedence.

D.4 Réalisation de l'essai

Réaliser l'essai en utilisant les procédures du mode pas à pas ou du mode continu. Pour le fonctionnement en mode pas à pas, utiliser les nombres minimaux de paliers comme indiqué par l'étalonnage de la chambre. Il convient que le brasseur subisse une rotation selon des pas à espacement égal, de manière à obtenir une révolution complète par fréquence. Si des procédures par mode continu sont utilisées, on doit s'assurer que le matériel en essai est exposé au moins au nombre d'échantillons auquel l'équipement d'étalonnage était exposé au cours de l'étalonnage. S'assurer que, pour toute procédure, le matériel en essai est exposé au niveau de champ pour le temps de palier approprié. Ceci est particulièrement important pour le fonctionnement en mode continu.

NOTE 1 L'étalonnage de la chambre permet de réduire le nombre de pas à 12 si les données indiquent qu'une performance de chambre acceptable peut être atteinte.

Contrôler et enregistrer P_{MaxRec} et P_{MoyRec} avec l'antenne de réception utilisée pour l'étalonnage de chaque bande de fréquences, pour assurer que le champ exigé est généré. Utiliser P_{MoyRec} pour assurer que la charge de la chambre n'a pas changé par rapport à l'étalonnage indiqué à l'Article D.2. Les différences supérieures à 3 dB entre la P_{MoyRec} et celle obtenue à l'Article D.2 doivent être réduites. La P_{MaxRec} peut également être utilisée pour estimer la valeur de crête du champ E généré comme indiqué à l'Annexe A.

Contrôler et enregistrer les valeurs moyennes de $P_{\text{Entrée}}$ et $P_{\text{Réfléchi}}$. Il convient de noter dans le rapport d'essai les variations de $P_{\text{Entrée}}$ supérieures à 3 dB sur une rotation du brasseur.

Moduler la porteuse comme spécifié dans le plan d'essai. Lorsque la modulation est appliquée, s'assurer que l'amplitude de crête satisfait aux définitions du plan d'essai.

Balayer la gamme de fréquences jusqu'à la limite supérieure de fréquence en utilisant les antennes et modulations appropriées.

NOTE 2 Lorsqu'on utilise une modulation par impulsions, s'assurer que les prescriptions de l'Article B.3 sont satisfaites.

NOTE 3 L'interpolation linéaire entre les points d'étalonnage sera nécessaire.

D.5 Rapport d'essai

Il convient que le rapport d'essai comporte les paramètres suivants pour chaque fréquence d'essai, en plus des prescriptions concernant le matériel en essai:

- puissance maximale reçue de l'antenne de réception utilisée pour contrôler le champ dans la chambre;
- puissance moyenne reçue de l'antenne de réception utilisée pour contrôler le champ dans la chambre;
- puissance incidente délivrée à l'antenne d'émission de la chambre;
- puissance réfléchi provenant de l'antenne d'émission de la chambre;
- variations de puissance incidente au cours de la période de collecte de données supérieures 3 dB;
- différences supérieures à 3 dB entre les niveaux de champ basés sur la puissance d'entrée de la chambre et ceux calculés en utilisant les méthodes de A.5.3 qui n'ont pas pu être résolues;
- disposition et positionnement du matériel en essai par rapport aux câbles;
- schéma du montage d'essai (par exemple photos).

D.4 Performing the test

Perform testing using either mode-tuned or mode-stirred procedures. For mode-tuned operation, use the minimum numbers of steps as indicated by the chamber calibration. The tuner should be rotated in evenly spaced steps so that one complete revolution is obtained per frequency. If mode-stirred procedures are used, it shall be ensured that the EUT is exposed to at least the number of samples as the calibration equipment was during calibration. Assure that, for either procedure, the EUT is exposed to the field level for the appropriate dwell time. This is particularly important for mode-stirred operation.

NOTE 1 The chamber calibration allows the number of steps to be reduced to 12 if the data indicates that an acceptable chamber performance can be achieved.

Monitor and record P_{MaxRec} and P_{AveRec} with the receive antenna used in the calibration of each frequency band to ensure that the required field strength is being generated. Use P_{AveRec} to ensure that the chamber loading has not changed from the calibration in clause D.2. Differences greater than 3 dB in P_{AveRec} from that obtained in clause D.2 shall be resolved. P_{MaxRec} may also be used to estimate the peak E-field generated as outlined in Annex A.

Monitor and record the average values of P_{Input} and $P_{\text{Reflected}}$. Variations in P_{Input} over a tuner rotation greater than 3 dB should be noted in the test report.

Modulate the carrier as specified in the test plan. When modulation is applied, ensure that the peak amplitude complies with the definitions of the test plan.

Scan the frequency range to the upper frequency limit using the appropriate antennas and modulations.

NOTE 2 When using pulse modulation, ensure that the requirements of B.3 are met.

NOTE 3 Linear interpolation between calibration points will be required.

D.5 Test report

The test report should include the following parameters for each test frequency, in addition to the reporting requirements related to the EUT:

- a) maximum received power from the receive antenna used to monitor the field in the chamber;
- b) mean received power from the receive antenna used to monitor the field in the chamber;
- c) forward power delivered to the chamber transmit antenna;
- d) reflected power from the chamber transmit antenna;
- e) variations in forward power during the data collection period greater than 3 dB;
- f) differences greater than 3 dB between field levels based on chamber input power and that calculated using the methods of A.5.3 which could not be resolved;
- g) cable layout and positioning of the EUT relative to the cables;
- h) diagram of the test set-up (e.g. photos).

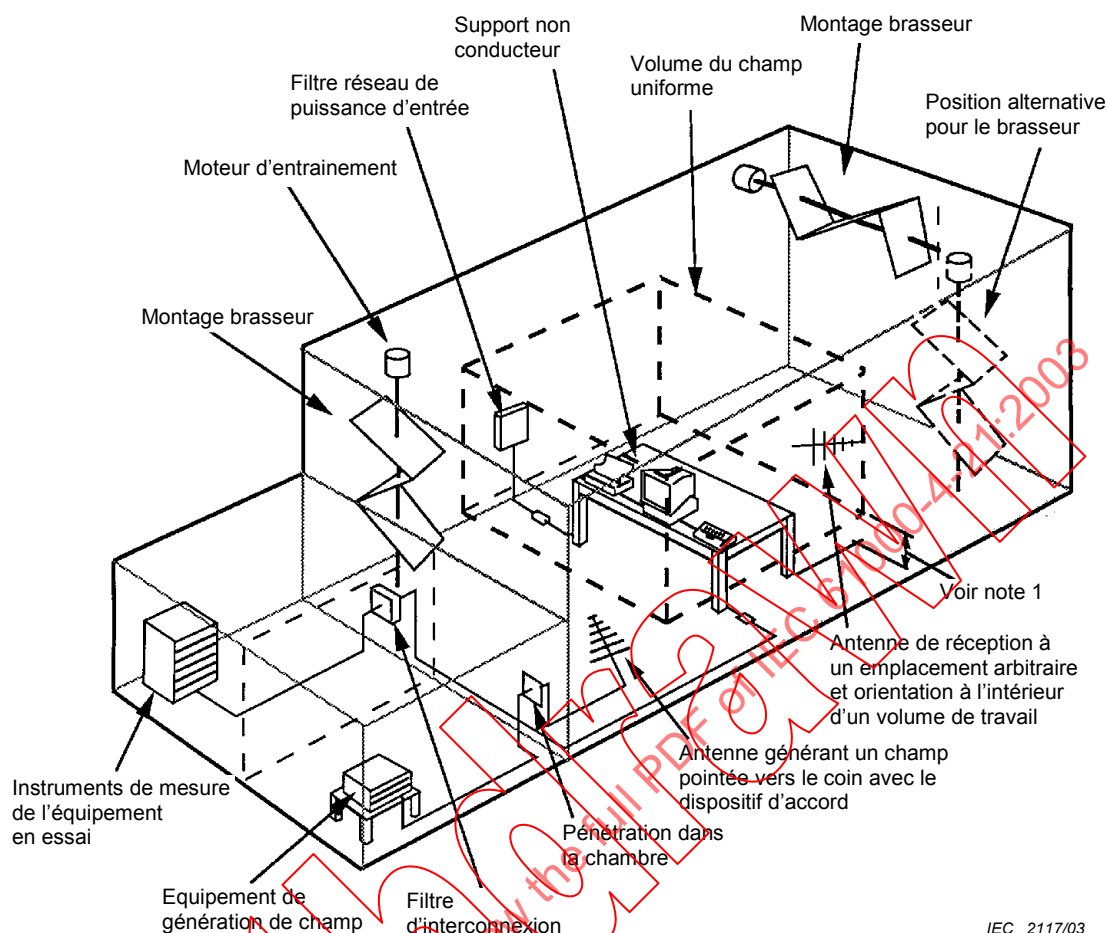
D.6 Documents de référence

- [1] KOEPKE, G. and HILL, D. Test device directivity for EMC measurements. *2000 IEEE Symposium on EMC*, Washington, DC, 23 August 2000, p. 535-539.
- [2] FREYER, GJ. and BÄCKSTRÖM, M. Comparison of anechoic & reverberation chamber transfer function data as a function of directivity magnitude and pattern. *2000 IEEE Symposium on EMC*, Washington, DC, 23 August 2000, p. 615-620.
- [3] FREYER, GJ. and BÄCKSTRÖM, M. Comparison of anechoic and reverberation chamber coupling data as a function of directivity pattern – Part II. *2001 IEEE Symposium on EMC*, Montreal, Canada, August 2001, p. 286-291.

Withdrawing
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61000-4-21:2003

D.6 Reference documents

- [1] KOEPKE, G. and HILL, D. Test device directivity for EMC measurements. *2000 IEEE Symposium on EMC*, Washington, DC, 23 August 2000, p. 535-539.
- [2] FREYER, GJ. and BÄCKSTRÖM, M. Comparison of anechoic & reverberation chamber transfer function data as a function of directivity magnitude and pattern. *2000 IEEE Symposium on EMC*, Washington, DC, 23 August 2000, p. 615-620.
- [3] FREYER, GJ. and BÄCKSTRÖM, M. Comparison of anechoic and reverberation chamber coupling data as a function of directivity pattern – Part II. *2001 IEEE Symposium on EMC*, Montreal, Canada, August 2001, p. 286-291.



IEC 2117/03

NOTE 1 Il convient que le volume d'essai soit à la fréquence utilisable la plus faible, à au moins $\lambda/4$ de la surface de la chambre, de l'antenne de génération de champ ou du montage brasseur. (Voir Note 5 de la Figure B.1)

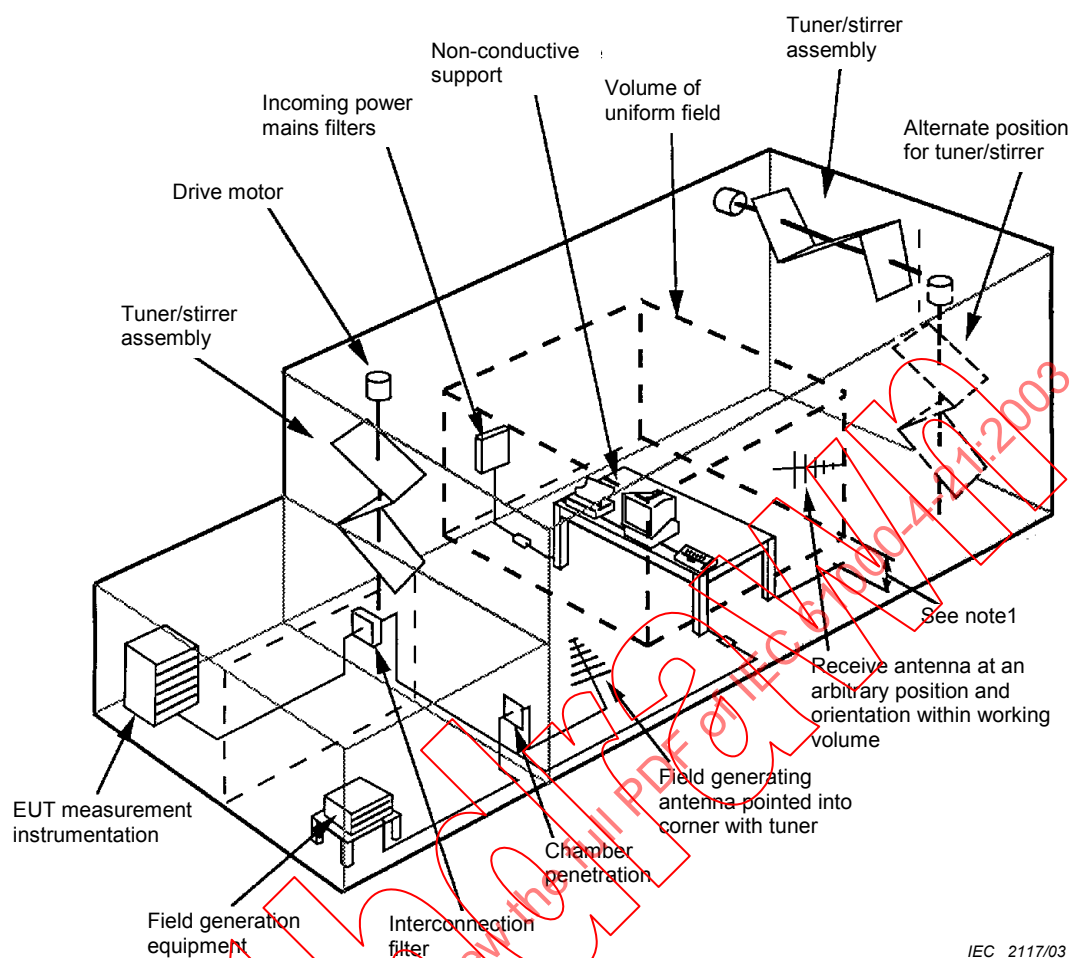
NOTE 2 Un support non conducteur/non absorbant peut être utilisé si le matériel en essai n'exige pas un plan de sol pour un fonctionnement correct.

NOTE 3 La mousse en polystyrène est un support adapté dans la plupart des cas.

ATTENTION: Les matériaux en mousse présentent un risque de feu si le matériel en essai produit une chaleur suffisante et/ou dans le cas d'essais aux champs qui peuvent induire des arcs.

NOTE 4 Il convient que la chambre reste sans matériau absorbant non nécessaire. Il convient de ne pas utiliser de tables en bois, de moquettes, de revêtements de mur et de plancher, ni de dalles de plafond. Les équipements lumineux exposés sont également une source de charge potentielle. Pour les nouvelles chambres, il est recommandé qu'une évaluation de la chambre soit réalisée avant l'installation de tout équipement support autre que les portes, les orifices et les panneaux d'accès. Il est recommandé que les équipements de support tels que les tables, etc. ne soient ni métalliques ni absorbants. Il convient que le matériel en essai et tous les équipements de support n'occupent pas plus de 8 % du volume total de la chambre.

Figure D.1 – Exemple d'installation d'essai adaptée



IEC 2117/03

NOTE 1 Test volume should be at least $\frac{1}{4}$ at the LUF from any chamber surface, field generating antenna or tuner assembly. (See Note 5 of Figure B.1.)

NOTE 2 A non-conductive/non-absorbing support may be utilised if the EUT does not require a ground plane for proper operation.

NOTE 3 Polystyrene foam is a suitable support in most cases.

CAUTION: Foam materials may present a fire hazard if the EUT generates sufficient heat and/or when testing to field strengths that can induce arcing.

NOTE 4 The chamber should remain free of any unnecessary absorbing materials. Items such as wooden tables, carpeting, wall and floor coverings, and ceiling tiles should not be used. Also exposed light fixtures are a source of potential loading. For new chambers, it is recommended that an evaluation of the chamber be performed prior to installation of any support equipment other than doors, vents and access panels. Support equipment such as tables, etc., should be non-metallic and non-absorbing. The EUT and all supporting equipment should not occupy more than 8 % of the total chamber volume.

Figure D.1 – Example of suitable test facility

Annexe E (normative)

Mesures des émissions rayonnées

E.1 Introduction

La présente annexe traite de l'utilisation des chambres réverbérantes pour réaliser les mesures de puissance rayonnée en émission [1]⁴⁾ (à la fois intentionnelle et/ou non intentionnelle). Cette annexe ne couvre pas toutes les nuances des mesures d'émissions. Les informations sur les appareils de mesure peuvent être trouvées dans la CISPR 16-1. En général, les informations données dans la CISPR 16-1 s'appliquent sans modification lorsqu'on fait des mesures en utilisant une chambre réverbérante.

Il existe deux exceptions qui exigent une prise en compte complémentaire:

- a) la distorsion des impulsions de courte durée (normalement définies comme inférieures à 10 μ s) par le facteur de qualité de chambre, Q, et,
- b) la variation apparente d'amplitude du signal émis due au déplacement du brasseur.

Pour la détermination du facteur Q de chambre adapté (c'est-à-dire la constante de temps), on peut se référer à l'Article B.3. Il convient que les effets du brasseur soient pris en compte, lors du choix du temps de palier ou de la vitesse de rotation et lors du choix du type de détecteur à utiliser.

E.2 Montage d'essai

Les informations de montage contenues dans la CISPR 16-2 s'appliquent aux essais en chambre réverbérante. Les seules prescriptions complémentaires sont les suivantes: le matériel en essai doit se situer à au moins $\lambda/4$ des parois de la chambre, et les matériels destinés à reposer sur le sol doivent être maintenus à 10 cm du sol par un support diélectrique à faible perte/faible permittivité. L'utilisation d'un plan de sol est admise si nécessaire pour le fonctionnement correct du matériel en essai. En outre, le besoin de manipulation de l'emplacement des câbles d'interface est éliminé, et il convient que la table support soit non absorbante et non conductrice. Un montage d'essai type est représenté à la Figure E.1.

Il convient que l'antenne d'émission (utilisée au cours de l'étalonnage de la chambre pour vérifier la chambre en terme de charge) reste dans la chambre au même emplacement que celui utilisé pour l'étalonnage. L'antenne d'émission ne doit pas illuminer directement le matériel en essai ou l'antenne de réception. L'antenne de réception ne doit pas être directement illuminée par le matériel en essai (c'est-à-dire qu'il convient que l'antenne de réception ne soit pas dirigée vers le matériel en essai). Une configuration optimale consiste à diriger les antennes vers les coins de la chambre. Etablir l'installation de logiciel, les modes de fonctionnement et la stabilité de le matériel en essai, l'équipement d'essai, et tous les circuits et charges de contrôle.

⁴⁾ Les chiffres entre crochets renvoient à l'Article E.4, Documents de référence, à la fin de cette annexe.

Annex E (normative)

Radiated emissions measurements

E.1 Introduction

This annex covers the use of reverberation chambers to make radiated power measurements of emissions [1]⁴⁾ (both intentional and/or unintentional). This annex does not cover all of the nuances of emissions measurements. Information on measurement apparatus can be found in CISPR 16-1. In general the information found in CISPR 16-1 applies without modification when making measurements using a reverberation chamber.

There are two exceptions which require additional consideration:

- a) the distortion of short duration pulses (typically defined as less than 10 μ s) by the chamber quality factor or “Q”, and
- b) the apparent amplitude variation of the emitted signal due to motion of the mechanical tuner/stirrer.

Determination of suitable chamber Q (i.e., time constant) can be found in clause B.3. Effects of the tuner/stirrer should be considered when selecting the dwell time or rotation rate and when selecting the type of detector to be used.

E.2 Test set-up

Test set-up information contained in CISPR 16-2 applies to reverberation chamber testing. The only additional requirements are that the EUT shall be at least $\lambda/4$ from the chamber walls and floor standing EUTs shall be supported 10 cm above the floor by a low loss/low permittivity dielectric support. The use of a ground plane is allowed if necessary for proper operation of the EUT. In addition, the need to manipulate the position of interface cables is eliminated and the support table should be non-absorbing as well as non-conductive. A typical test set-up is shown in Figure E.1.

The Tx antenna (used during chamber calibration to check the chamber for loading) should remain in the chamber at the same location as used for calibration. The Tx antenna shall not directly illuminate the EUT or the Rx antenna. The Rx antenna shall not be directly illuminated by the EUT (i.e., the Rx antenna should not be directed at the EUT). Directing the antennas into the corners of the chamber is an optimum configuration. Establish software installation, modes of operation and stability of the EUT, test equipment and all monitoring circuits and loads.

4) Figures in square brackets refer to Clause E.4, Reference documents, at the end of this annex.

E.3 Etalonnage

Avant de collecter les données, une vérification doit être effectuée pour déterminer si le matériel en essai et/ou son équipement de support ont chargé la chambre de manière défavorable. Cette vérification doit être réalisée comme indiqué à L'Article B.2. Si des procédures en mode continu sont utilisées, on doit veiller à s'assurer que les questions liées au brassage indiquées à l'Annexe C sont traitées de manière appropriée. Une fois la vérification de charge effectuée, l'antenne d'émission doit être terminée par une impédance caractéristique équivalente à la source radioélectrique utilisée au cours de l'étalonnage.

E.4 Procédures d'essai pour les émissions rayonnées

NOTE Les champs radioélectriques peuvent être dangereux. Observer les limites nationales applicables concernant l'exposition aux champs radioélectriques.

Réaliser l'essai en utilisant les procédures en mode pas à pas ou en mode continu. S'assurer pour toute procédure que l'on dispose d'un nombre d'échantillons du matériel en essai est au moins égal au nombre d'échantillons utilisés pour l'équipement d'étalonnage au cours de l'étalonnage. Pour le fonctionnement en mode pas à pas, utiliser le nombre minimal d'échantillons selon les indications fournies par l'étalonnage de la chambre. Il convient que le brasseur subisse une rotation selon des pas à espacement égal de manière à obtenir une révolution complète à chaque fréquence. Si des procédures en mode continu sont utilisées, on doit s'assurer que les émissions du matériel en essai sont échantillonnées avec au moins le nombre d'échantillons collectés au cours de l'étalonnage de la chambre. Comme pour les échantillons en mode pas à pas, il convient que les échantillons en mode continu soient espacés de manière uniforme sur une rotation complète du brasseur.

S'assurer pour l'une ou l'autre des procédures que le matériel en essai est contrôlé au niveau de chaque échantillon pour une durée suffisante pour détecter toutes les émissions (voir CISPR 16-2 pour les lignes directrices sur les temps de balayage des récepteurs). Ceci est particulièrement important pour le fonctionnement en mode continu. Il convient que les procédures en mode continu ne soient appliquées qu'aux signaux non modulés en utilisant un détecteur de crête. Compte tenu de la variation d'amplitude du signal reçu causée par le déplacement du brasseur, la durée d'essai sera normalement augmentée si un détecteur de crête doit être utilisé. Le brassage de mode n'est pas applicable lorsqu'on utilise un détecteur de valeur moyenne ou un autre détecteur de pondération.

Pour les émissions modulées, la puissance moyenne rayonnée dans la largeur de bande de mesure sera mesurée, si un détecteur de valeur efficace est utilisé. Si le spectre d'émissions est plus large que la largeur de bande de mesure, la puissance moyenne rayonnée totale peut être mesurée en intégrant la densité spectrale de puissance moyenne sur le spectre d'émission.

Contrôler et enregistrer P_{MaxRec} et/ou P_{MoyRec} comme spécifié dans le plan d'essai avec l'antenne de réception utilisée pour l'étalonnage de chaque bande de fréquence.

ATTENTION: Pour obtenir une mesure précise de P_{MoyRec} , le niveau du plancher de bruit de l'équipement de réception doit être au moins de 20 dB inférieur à P_{MaxRec} .

Balayer la gamme de fréquences jusqu'à la limite supérieure de fréquence en utilisant les antennes et les largeurs de bande appropriées. Il convient que le temps de balayage pour cette procédure soit tel que spécifié dans le plan d'essai.

E.3 Calibration

Prior to collecting data a check shall be performed to determine if the EUT and/or its support equipment have adversely loaded the chamber. This check shall be performed as outlined in clause B.2. If mode-stirred procedures are used care shall be taken to ensure that the issues associated with stirring outlined in Annex C are adequately addressed. Once the loading check has been performed, the transmitting antenna shall be terminated into a characteristic impedance equivalent to the RF source used during calibration.

E.4 Radiated emissions (RE) test procedures

NOTE RF fields can be hazardous. Observe applicable national RF exposure limits.

Perform testing using either mode-tuned or mode-stirred procedures. Ensure that for either procedure the EUT is sampled by at least the number of samples as the calibration equipment was during calibration. For mode-tuned operation, use the minimum number of samples as indicated by the chamber calibration. The tuner should be rotated in evenly spaced steps so that one complete revolution is obtained per frequency. If mode-stirred procedures are used, it shall be ensured that the EUT emissions are sampled with at least the number of samples collected during the chamber calibration. As with mode-tuned, the mode-stirred samples should be uniformly spaced over one complete tuner rotation.

Assure for either procedure that the EUT is monitored at each sample for a time period sufficient to detect all emissions (see CISPR 16-2 for guidance on receiver scan times). This is particularly important for mode-stirred operation. Mode-stirred procedures should only be applied for unmodulated signals using a peak detector. Due to the amplitude variation of the received signal caused by the motion of the tuner, testing time will usually be increased if a peak detector is to be used. Mode stirring is not applicable when using an average or other weighting detector.

For modulated emissions, radiated mean power within the measurement bandwidth will be measured, if an RMS detector is used. If the emissions spectrum is wider than the measurement bandwidth, the total radiated mean power can be measured by integrating the mean power spectral density over the emission spectrum.

Monitor and record P_{MaxRec} and/or P_{AveRec} as specified in the test plan with the Rx antenna used in the calibration of each frequency band.

CAUTION: To get an accurate measure of P_{AveRec} , the noise floor of the receiving equipment shall be at least 20 dB below P_{MaxRec} .

Scan the frequency range to the upper frequency limit using the appropriate antennas and bandwidths. The scan time for this procedure should be as specified in the test plan.

E.5 Détermination de la puissance rayonnée

La mesure de la quantité de puissance reçue par l'antenne de réception et la correction des pertes de chambre peuvent déterminer la quantité de puissance radioélectrique (dans la largeur de bande de mesure) rayonnée par un dispositif placé dans la chambre. La puissance rayonnée par un dispositif peut être déterminée en utilisant soit la puissance moyenne reçue soit la puissance maximale reçue. L'Equation (E.1) est utilisée pour les mesures fondées sur la puissance moyenne reçue et l'Equation (E.2) pour les mesures fondées sur la puissance maximale reçue. L'avantage qu'il y a à utiliser des mesures fondées sur la puissance moyenne est que l'incertitude est plus faible. L'inconvénient est que le système de mesure doit avoir une sensibilité de 20 dB inférieure à la valeur P_{MaxRec} mesurée pour obtenir une mesure moyenne précise.

$$P_{\text{Rayonnée}} = \frac{P_{\text{MoyRec}} \times \eta_{\text{Tx}}}{CCF} \quad (\text{E.1})$$

$$P_{\text{Rayonnée}} = \frac{P_{\text{MaxRec}} \times \eta_{\text{Tx}}}{CLF \times IL} \quad (\text{E.2})$$

où

$P_{\text{Rayonnée}}$ est la puissance rayonnée provenant du dispositif dans la largeur de bande de mesure;

CCF est le facteur d'étalonnage de chambre [B.2 (6)];

CLF est le facteur de charge de chambre [B.2 (7)];

IL est la perte d'insertion de la chambre (B.1.3);

P_{MoyRec} est la puissance reçue (dans les limites de la largeur de bande de mesure) telle qu'elle est mesurée par l'antenne de référence moyennée sur le nombre de pas du brasseur, (E.4);

P_{MaxRec} est la puissance maximale reçue (dans les limites de la largeur de bande de mesure) sur le nombre de pas du brasseur (E.4);

η_{Tx} est le facteur d'efficacité de l'antenne d'émission utilisée pour l'étalonnage de la chambre, et on peut estimer qu'il est de 0,75 pour une antenne log périodique et de 0,9 pour une antenne cornet.

E.6 Estimation du champ en espace libre (lointain) généré par un matériel en essai

Le champ généré par le matériel en essai à une distance de R , en m, peut être estimé en utilisant l'équation:

$$E_{\text{Rayonnée}} = \sqrt{\frac{D \times P_{\text{Rayonnée}} \times 377}{4\pi R^2}} \quad (\text{E.3})$$

où

$E_{\text{Rayonnée}}$ est le champ estimé généré par le matériel en essai en V/m,

$P_{\text{Rayonnée}}$ est la puissance rayonnée provenant de l'Article E.5, en W,

R est la distance, en m, par rapport au matériel en essai; cette distance doit être suffisante pour assurer que les conditions en champ lointain existent,

D est la directivité équivalente du matériel en essai.

E.5 Determining radiated power

Measuring the amount of power received by the receive antenna and correcting for chamber losses can determine the amount of RF power (within the measurement bandwidth) radiated by a device placed in the chamber. The power radiated from a device can be determined using either average or maximum received power. Equation (E.1) is used for average-received-power-based measurements and Equation (E.2) is used for maximum-received-power-based measurements. The advantage to using measurements based on average power is a lower uncertainty. The disadvantage is that the measurement system shall have sensitivity of 20 dB lower than the measured P_{MaxRec} to get an accurate average measurement.

$$P_{\text{Radiated}} = \frac{P_{\text{AveRec}} \times \eta_{\text{Tx}}}{CCF} \quad (\text{E.1})$$

$$P_{\text{Radiated}} = \frac{P_{\text{MaxRec}} \times \eta_{\text{Tx}}}{CLF \times IL} \quad (\text{E.2})$$

where

- P_{Radiated} is the radiated power from the device (within the measurement bandwidth),
- CCF is the chamber calibration factor (B.2.(6)),
- CLF is the chamber loading factor (B.2.(7)),
- IL is the chamber insertion loss (B.1.3),
- P_{AveRec} is the received power (within the measurement bandwidth) as measured by the reference antenna averaged over the number of tuner steps (E.4),
- P_{MaxRec} is the maximum power received (within the measurement bandwidth) over the number of tuner steps (E.4), and
- η_{Tx} is the antenna efficiency factor for the Tx antenna used in calibrating the chamber and can be assumed (if not known) to be 0,75 for a log periodic antenna and 0,9 for a horn antenna.

E.6 Estimating the free space (far) field generated by an EUT

The field strength generated by the EUT at a distance of R meter(s) can be estimated by using the equation:

$$E_{\text{Radiated}} = \sqrt{\frac{D \times P_{\text{Radiated}} \times 377}{4\pi R^2}} \quad (\text{E.3})$$

where

- E_{Radiated} is the estimated field strength generated by the EUT in V/m,
- P_{Radiated} is the radiated power from E.5 in W,
- R is the distance from the EUT in meters and shall be a sufficient distance to ensure far field conditions exist, and
- D is the equivalent directivity of the EUT.

NOTE Une directivité de $D = 1,7$ est souvent utilisée dans la mesure où elle représente l'hypothèse selon laquelle le diagramme de rayonnement de le matériel en essai est l'équivalent d'une antenne dipolaire. Il est recommandé qu'un facteur de 1,7 soit utilisé sauf si le comité de produits peut fournir une valeur mieux appropriée. Les recherches récentes sur la directivité des appareils peuvent être trouvées en [2], [3].

Le champ de perturbation calculé n'est pas toujours compatible avec les résultats de mesure donnés aux emplacements d'essai en espace libre ou à des emplacements d'essai similaires. Cette compatibilité si elle est nécessaire doit être mise en évidence par les procédures spécifiques aux types de matériels en essai ou aux groupes de produits.

E.7 Rapport d'essai

Il convient que le rapport d'essai comporte les paramètres suivants pour chaque fréquence d'essai, en plus des prescriptions relatives au rapport concernant le matériel en essai:

- a) puissance maximale reçue de l'antenne de réception si enregistrée;
- b) puissance moyenne reçue de l'antenne de réception si enregistrée;
- c) puissance émise par le matériel en essai comme cela est défini à l'article E.5;
- d) si le champ E estimé doit être consigné alors la directivité posée par hypothèse et utilisée pour calculer le champ E (voir Equation (E.3)) doit également être consignée;
- e) données de charge comme exigées par E.3;
- f) disposition et positionnement du matériel en essai par rapport aux câbles;
- g) schéma du montage d'essai (par exemple photos).

E.8 Documents de référence

- [1] HARRINGTON, T.E. Total-radiated-power-based OATS-equivalent emissions testing in reverberation chambers and GTEM cells. *2000 IEEE Symposium on EMC*, Washington, DC, 22 August 2000, p. 23-28.
- [2] BÄCKSTRÖM, M., LÖRÉN, J., ERIKSSON, G. and ÅSANDER, H-J. Microwave Coupling into a Generic Object. Properties of Measured angular Receiving Pattern and its Significance for Testing. In *Proceedings of the 2001 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Montreal, Canada, August 13-17, 2001, p. 1227-1232.
- [3] WILSON, P., KOEPKE, G., LADBURY, J. and HOLLOWAY CL. Emission and Immunity standards. Replacing Field-at-a-Distance Measurements with Total-Radiated Power Measurements. In *Proceedings of the 2001 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Montreal, Canada, August 13-17, 2001, p. 964-969.

NOTE A directivity of $D = 1,7$ is often used as it represents the assumption that the EUT radiation pattern is the equivalent of a dipole radiator. It is recommended that a factor of 1,7 be used unless the product committee can supply a more appropriate value. Recent research on device directivity can be found in [2], [3].

The calculated disturbance field strength is not always compatible with measurement results given at the open area test sites (OATSs) or similar test sites. This compatibility if required shall be shown by specific procedures for EUT types or product groups.

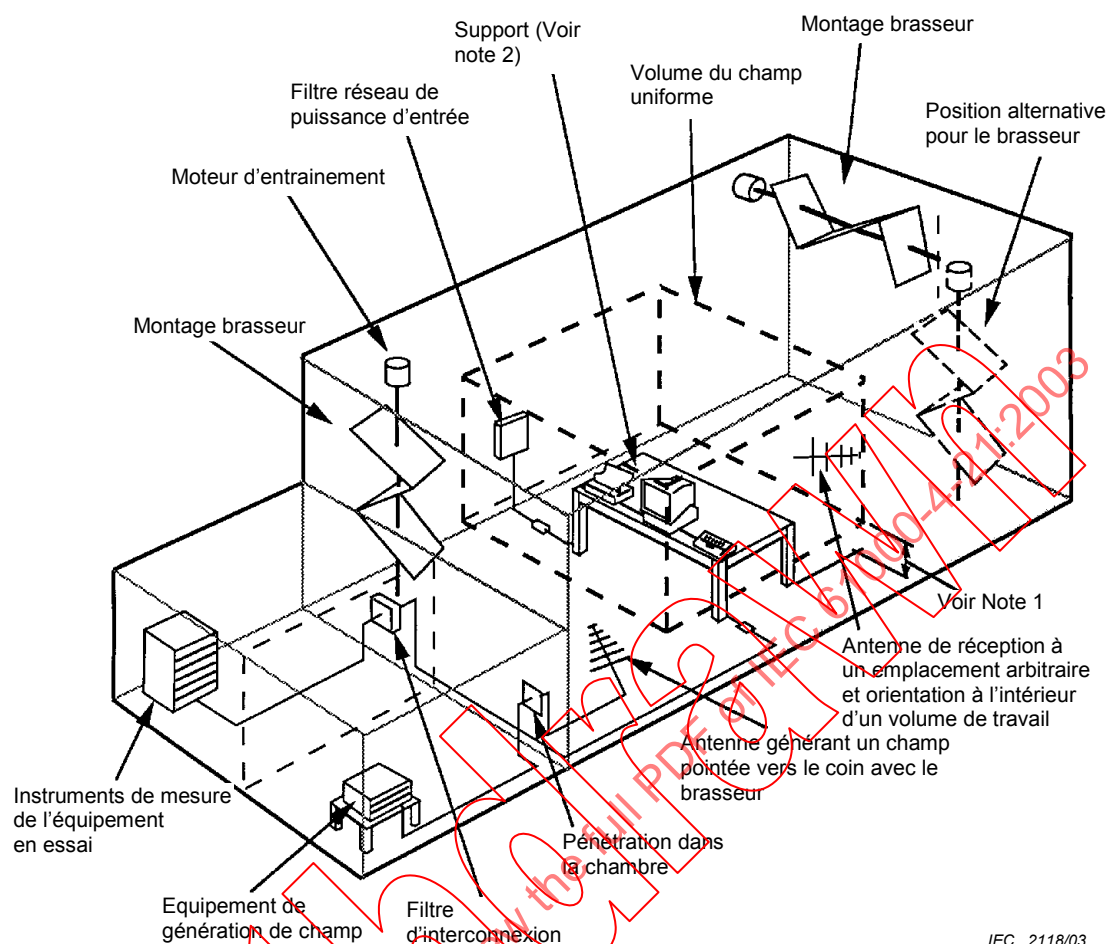
E.7 Test report

The test report should include the following parameters for each test frequency, in addition to the reporting requirements related to the EUT:

- a) maximum received power from the receive antenna if recorded;
- b) mean received power from the receive antenna if recorded;
- c) power emitted by the EUT as defined in E.5;
- d) if estimated E-field is required to be reported then the assumed directivity used to calculate the E-field (see equation E.3) shall also be reported;
- e) loading data as required by E.3;
- f) cable layout and positioning of the EUT relative to the cables;
- g) diagram of the test set-up (e.g., photos).

E.8 Reference documents

- [1] HARRINGTON, TE. Total-radiated-power-based OATS-equivalent emissions testing in reverberation chambers and GTEM cells, *2000 IEEE Symposium on EMC*, Washington, DC, 22 August 2000, p. 23-28.
- [2] BÄCKSTRÖM, M., LORÉN, J., ERIKSSON, G. and ÅSANDER, H-J. Microwave Coupling into a Generic Object. Properties of Measured angular Receiving Pattern and its Significance for Testing. In *Proceedings of the 2001 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Montreal, Canada, August 13-17, 2001, p. 1227-1232.
- [3] WILSON, P., KOEPKE, G., LADBURY, J. and HOLLOWAY CL. Emission and Immunity standards. Replacing Field-at-a-Distance Measurements with Total-Radiated Power Measurements. In *Proceedings of the 2001 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Montreal, Canada, August 13-17, 2001, p. 964-969.



IEC 2118/03

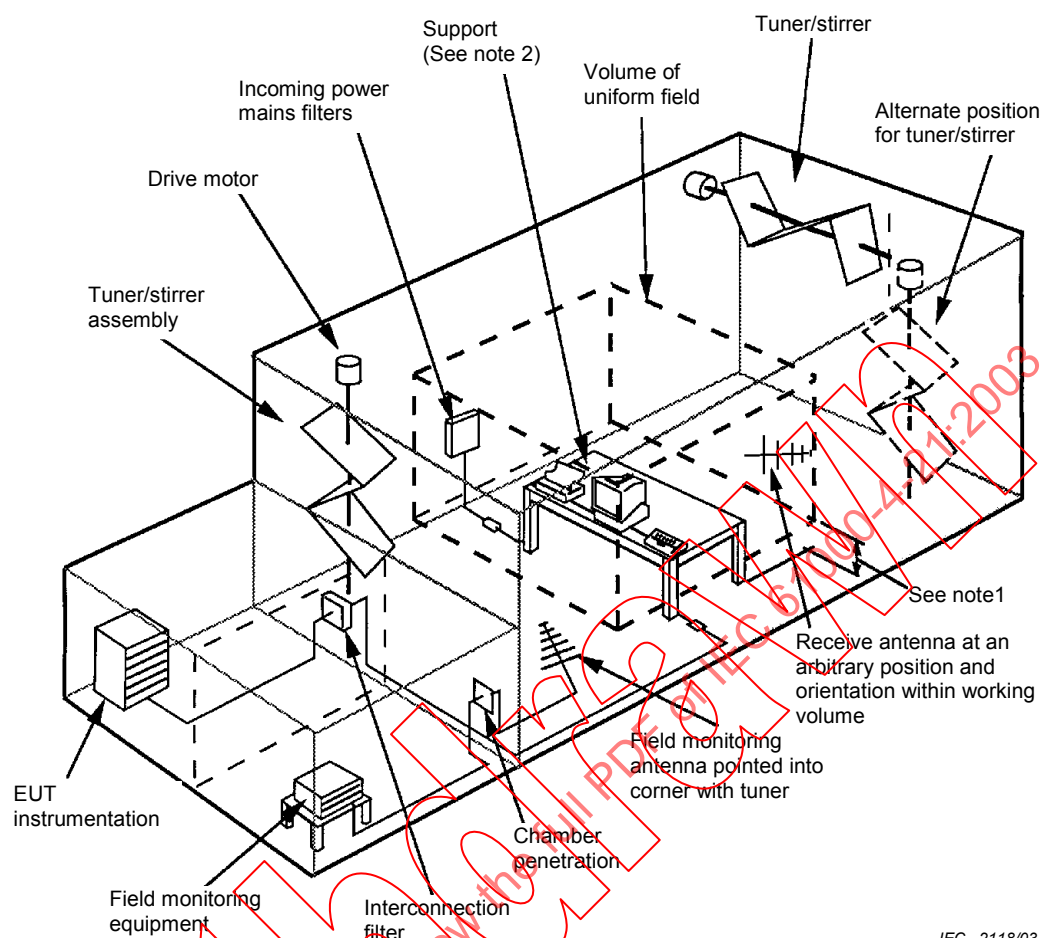
NOTE 1 Il convient que le volume d'essai soit à la fréquence utilisable la plus faible, à au moins $\lambda/4$ de la surface de la chambre, de l'antenne de génération de champ ou du montage brasseur. (Voir Note 5 de la Figure B.1

NOTE 2 Un support non conducteur/non absorbant peut être utilisé si le matériel en essai n'exige pas un plan de sol pour un fonctionnement correct.

NOTE 3 La mousse en polystyrène est un support adapté dans la plupart des cas. Les matériaux en mousse peuvent présenter un risque d'incendie si le matériel en essai produit une chaleur suffisante.

NOTE 4 Il convient que la chambre reste sans matériau absorbant non nécessaire. Il convient de ne pas utiliser de tables en bois, de moquettes, de revêtements de mur et de plancher ni de dalles de plafond. Les équipements lumineux exposés sont également une source de charge potentielle. Pour les nouvelles chambres, il est recommandé qu'une évaluation de la chambre soit réalisée avant l'installation de tout équipement de support autre que les portes, les orifices et les panneaux d'accès. Il est recommandé que les équipements de support tels que les tables ou autres ne soient ni métalliques ni absorbants.

Figure E.1 – Exemple d'installation d'essai adaptée



IEC 2118/03

NOTE 1 Test volume should be at least $\frac{1}{4}$ at the LUF from any chamber surface, field generating antenna or tuner assembly. (See Note 5 of Figure B.1)

NOTE 2 A non-conductive/non-absorbing support should be utilised if the EUT does not require a ground plane for proper operation.

NOTE 3 Polystyrene foam is a suitable support in most cases. Foam materials may present a fire hazard if the EUT generates sufficient heat.

NOTE 4 The chamber should remain free of any unnecessary absorbing materials. Items such as wooden tables, carpeting, floor and wall coverings, and ceiling tiles should not be used. Also exposed light fixtures are a source of potential loading. For new chambers, it is recommended that an evaluation of the chamber be performed prior to installation of any support equipment other than doors, vents and access panels. Support equipment such as tables, etc., should be non-metallic and non-absorbing.

Figure E.1 – Example of suitable test facility

Annexe F (informative)

Mesures de l'efficacité de blindage des ensembles de câbles, des câbles, des connecteurs, des guides d'ondes et des composants passifs hyperfréquence

F.1 Mesure de l'efficacité de blindage des matériels en essai

Comme pour les essais d'immunité aux perturbations rayonnées, il existe de nombreuses techniques d'essai disponibles pour évaluer les performances de blindage des joints d'étanchéité, des matériaux de fenêtres, et d'autres configurations de systèmes conçus pour fournir un écran [1]⁵⁾, [2], [3]. Dans cette annexe la mesure de l'efficacité de blindage est fondée sur la comparaison de la puissance électromagnétique à l'extérieur du matériel en essai, avec la puissance électromagnétique induite dans le matériel en essai. L'efficacité de blindage est définie comme suit:

$$SE = 10 \log \left(\frac{P_{Ref}}{P_{EST}} \right) \quad (F.1)$$

où

P_{EST} est la puissance couplée au matériel en essai en W, et
 P_{Ref} est la puissance couplée à l'antenne de référence en W.

F.2 Description du montage d'essai

F.2.1 La chambre réverbérante

L'enceinte blindée doit être modifiée avec au moins un accès supplémentaire pour permettre la connexion du matériel en essai. Certains matériels en essai peuvent nécessiter des accès multiples.

F.2.2 Antennes

Les antennes d'émission et de référence sont les mêmes que celles utilisées au cours de l'étalonnage de la chambre.

F.2.3 Montage d'essai

Les équipements et les composants d'essai normalement utilisés pour une mesure de l'efficacité de blindage automatisée sont représentés à la Figure F.1. Noter que des préamplificateurs, des amplificateurs, et d'autres composants pourraient aussi être requis afin d'obtenir la dynamique désirée.

F.2.4 Matériel en essai (EST)

Le matériel en essai est connecté à l'équipement de mesure par une longueur appropriée de support de transmission (c'est-à-dire coaxial, guide d'ondes, etc.). Pour s'assurer que le matériel en essai se situe dans le volume de champ uniforme, il convient que cette connexion ait une longueur d'au moins 1/3 de la longueur d'onde à la fréquence d'essai la plus basse.

⁵⁾ Les chiffres entre crochets renvoient à l'Article F.5, Documents de référence, à la fin de cette annexe.

Annex F (informative)

Shielding effectiveness measurements of cable assemblies, cables, connectors, waveguides and passive microwave components

F.1 Measurement of EUT shielding effectiveness

As in radiated immunity testing, there are many test techniques available to evaluate the shielding performance of gaskets, window materials, and other system configurations designed to provide shielding [1]⁵⁾, [2], [3]. The measurement of shielding effectiveness in this annex is based on the comparison of the electromagnetic power outside the EUT to the electromagnetic power induced into the EUT. The shielding effectiveness is defined as:

$$SE = 10 \log \left(\frac{P_{\text{Ref}}}{P_{\text{EUT}}} \right) \quad (\text{F.1})$$

where

P_{EUT} is the power coupled to the equipment under test in W, and

P_{Ref} is the power coupled to the reference antenna in W.

F.2 Test set-up description

F.2.1 The reverberation chamber

The shielded enclosure shall be modified with at least one extra access port to facilitate connection of the EUT. Some EUTs may require multiple access ports.

F.2.2 Antennas

The transmit and reference antennas are the same as used in the chamber calibration.

F.2.3 Test set-up

The test equipment and components typically used for an automated shielding effectiveness measurement are shown in Figure F.1. Note that preamplifiers, amplifiers and other components might also be required to obtain the desired dynamic range.

F.2.4 Equipment under test (EUT)

The EUT is connected to the measurement equipment via a length of the appropriate media (i.e., coax, waveguide, etc.). To ensure that the EUT is within the volume of uniform field, this connection should be at least 1/3 wavelength in length at the lowest test frequency. The port under test of the EUT should be connected to the measurement equipment. Any other port(s)

⁵⁾ Figures in square brackets refer to Clause F.5, Reference documents, at the end of this annex.

Il convient que l'accès en essai du matériel soit connecté à l'équipement de mesure. Il convient que tout accès se termine par des charges adaptées ayant une efficacité de blindage supérieure d'au moins 5 dB à celle du matériel en essai (ou d'au moins 10 dB supérieure à l'écran désiré).

F.2.5 Dispositifs de liaison

Les dispositifs de liaison sont généralement des lignes coaxiales à 50 Ω avec une efficacité de blindage supérieure d'au moins 10 dB au matériel en essai (ou au moins supérieure de 10 dB à l'écran désiré).

Tous les dispositifs de liaison doivent être caractérisés en ce qui concerne l'affaiblissement avant le début de l'essai. Ceci inclut les dispositifs de liaison à la fois pour l'antenne du matériel en essai et l'antenne de référence. Voir la Figure F.1.

F.3 Procédure de mesure

F.3.1 Généralités

Réaliser l'essai en utilisant les procédures en mode pas à pas ou en mode continu. Pour le fonctionnement en mode pas à pas, utiliser au moins le nombre de paliers utilisés au cours de l'étalonnage de la chambre. Ceci est destiné à assurer que l'incertitude de mesure est la même ou est meilleure que celle obtenue au cours de l'étalonnage de la chambre. Il convient que le brasseur subisse une rotation selon des pas à espacement égal de manière à obtenir une révolution complète à chaque fréquence. Pour le fonctionnement en mode continu, il est nécessaire que la vitesse maximale de rotation de brasseur assure que le matériel en essai (c'est-à-dire le récepteur de contrôle) soit exposé à un nombre d'échantillons au moins égal à celui auquel l'équipement d'étalonnage a été exposé au cours de l'étalonnage. S'assurer que pour toute procédure le matériel en essai est exposé au niveau de champ pendant le temps de palier approprié. Ceci est particulièrement important pour le fonctionnement en mode continu. Si des procédures en mode continu sont utilisées, on doit veiller à s'assurer que les questions liées au brassage indiquées à l'Annexe C soient traitées de manière appropriée.

NOTE Les mesures d'efficacité de blindage sont généralement bien adaptées à l'utilisation du brassage, sous réserve que le matériel en essai et l'équipement de contrôle aient un temps de réponse rapide, ce qui est généralement le cas pour des mesures de ce type.

Le paramètre mesuré peut être la puissance moyenne reçue ou la puissance maximale reçue. La puissance moyenne reçue donnera une mesure plus précise. Ceci exige cependant une sensibilité de mesure inférieure d'au moins 20 dB à la puissance maximale reçue pour collecter des données moyennes précises. Pour les mesures fondées sur la puissance maximale reçue, il convient que la gamme dynamique du système de mesure soit supérieure d'au moins 10 dB à l'écran désiré.

F.3.2 Mesure du matériel en essai

Le générateur radioélectrique est connecté à la chambre (par un amplificateur si nécessaire) et fournit une puissance d'entrée constante à la chambre à une fréquence fixe. On fait fonctionner le brasseur de la manière désirée.

L'équipement de mesure est connecté au matériel en essai. L'antenne de référence de la chambre est connectée à l'équipement de contrôle de la chambre.

Après le nombre approprié d'échantillons ou une révolution du brasseur, le paramètre désiré (c'est-à-dire la puissance moyenne reçue ou la puissance maximale reçue) est enregistré pour chaque fréquence d'essai à la fois de l'antenne de référence et du matériel en essai.

should be terminated into matched loads having a shielding effectiveness of at least 5 dB better than that of the EUT (or at least 10 dB above the desired shielding).

F.2.5 Linking devices

Linking devices are usually 50 Ω coaxial lines having shielding effectiveness at least 10 dB better than the EUT (or at least 10 dB above the desired shielding).

All linking devices shall be characterised for attenuation prior to beginning the test. This includes linking devices for both the EUT and reference antenna. See Figure F.1.

F.3 Measurement procedure

F.3.1 General

Perform the testing using mode-tuned or mode-stirred procedures. For mode-tuned operation, use at least the number of steps used in the chamber calibration. This is to ensure that the measurement uncertainty is the same or better than during the chamber calibration. The tuner should be rotated in evenly spaced steps so that one complete revolution is obtained per frequency. For mode-stirred operation, the maximum tuner rotation rate shall ensure that the EUT (i.e., the monitoring receiver) is exposed to at least the same number of samples as the calibration equipment was during calibration. Assure for either procedure that the EUT is exposed to the field level for the appropriate dwell time. This is particularly important for mode-stirred operation. If mode-stirred procedures are used, care shall be taken to ensure that the issues associated with stirring outlined in Annex C are adequately addressed.

NOTE SE measurements are usually well suited for using stirring, provided the EUT and monitoring equipment has a fast response time, which is usually the case for measurements of this type.

The measured parameter can be either average received power or maximum received power. The average received power will yield a more accurate measurement. It does however require a measurement sensitivity of at least 20 dB below the maximum received power in order to collect accurate average data. For measurements based on the maximum received power, the dynamic range of the measurement system should be at least 10 dB greater than the desired shielding.

F.3.2 Measurement of the EUT

The RF generator is connected to the chamber (through an amplifier if necessary) and delivers a constant input power at a fixed frequency to the chamber. The tuner/stirrer is operated in the desired manner.

The measurement equipment is connected to the EUT. The chamber reference antenna is connected to the chamber monitoring equipment.

After the appropriate number of samples, or one tuner revolution, the desired parameter (i.e. average received power or maximum received power) is recorded for each test frequency from both the reference antenna and the EUT.

L'efficacité de blindage peut ensuite être calculée en tenant compte de l'affaiblissement des liaisons à la fois pour l'équipement de référence et pour l'antenne de référence.

NOTE NE PAS mélanger les paramètres ! Comparer la puissance maximale reçue par l'antenne à la puissance maximale reçue par le matériel en essai, ou la puissance moyenne reçue par l'antenne à la puissance moyenne reçue par le matériel en essai.

F.3.3 Méthode alternative de mesure du matériel en essai

Si deux ensembles d'équipement de mesure ne sont pas disponibles alors l'équipement de mesure peut être connecté tour à tour au matériel en essai et à l'antenne de référence.

Si deux ensembles de liaison sont utilisés, l'efficacité de blindage doit être calculée en tenant compte de l'affaiblissement des liaisons à la fois pour le matériel en essai et pour l'antenne de référence.

Si un seul ensemble de dispositifs de liaison est utilisé, alors l'affaiblissement de la liaison peut être ignoré, et l'écran est la différence entre les deux puissances reçues (de crête ou moyenne).

F.4 Contrôle du montage d'essai

Avant toute mesure, la dynamique du montage d'essai doit être vérifiée en utilisant les mêmes dispositifs de liaison et les mêmes terminaisons que pour le matériel en essai, sauf que le matériel en essai sera remplacé par un dispositif bien blindé. Il est nécessaire que la dynamique soit supérieure d'au moins 5 dB au blindage désiré.

F.5 Documents de référence

- [1] CEI 61726, *Câbles, cordons, connecteurs et composants hyperfréquence passifs – Mesure de l'atténuation d'écran par la méthode de la chambre réverbérante*
- [2] CEI 60169-1-3, *Connecteurs pour fréquences radioélectriques – Première partie: Prescriptions générales et méthodes de mesure – Section trois – Méthodes d'essai et de mesures électriques: Efficacité d'écran*
- [3] CEI 61000-5-7, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 5-7: Guide d'installation et d'atténuation – Degrés de protection procurés par les enveloppes contre les perturbations électromagnétiques (Code EM)*

The shielding effectiveness can then be calculated taking into account the attenuation of the links for both the EUT and reference antenna.

NOTE Do NOT mix parameters! Compare maximum power received by the antenna to the maximum power received by the EUT or average power received by the antenna to the average power received by the EUT.

F.3.3 Alternate method of measurement of the EUT

If two sets of measurement equipment are not available, then the measurement equipment may be connected to the EUT and the reference antenna one at a time.

If two sets of linking are used, the shielding effectiveness shall be calculated taking into account the attenuation of the links for both the EUT and reference antenna.

If only one set of linking devices is used, then the attenuation of the linkage can be ignored and the shielding is the difference between the two received powers (peak or average).

F.4 Control of the test setup

Prior to any measurements, the dynamic range of the test setup shall be checked using the same linking devices and terminations as for the EUT, except that the EUT will be replaced by a well-shielded device. The dynamic range shall be at least 5 dB better than the desired shielding.

F.5 Reference documents

- [1] IEC 61726, *Cable assemblies, cables, connectors and passive microwave components – Screening attenuation measurement by the reverberation chamber method*
- [2] IEC 60169-1-3, *Radio-frequency connectors – Part 1: General requirements and measuring methods – Section Three: Electrical tests and measuring procedures: Screening effectiveness*
- [3] IEC 61000-5-7, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5-7: Installation and mitigation guidelines – Degrees of protection provided by enclosures against electromagnetic disturbances (EM code)*

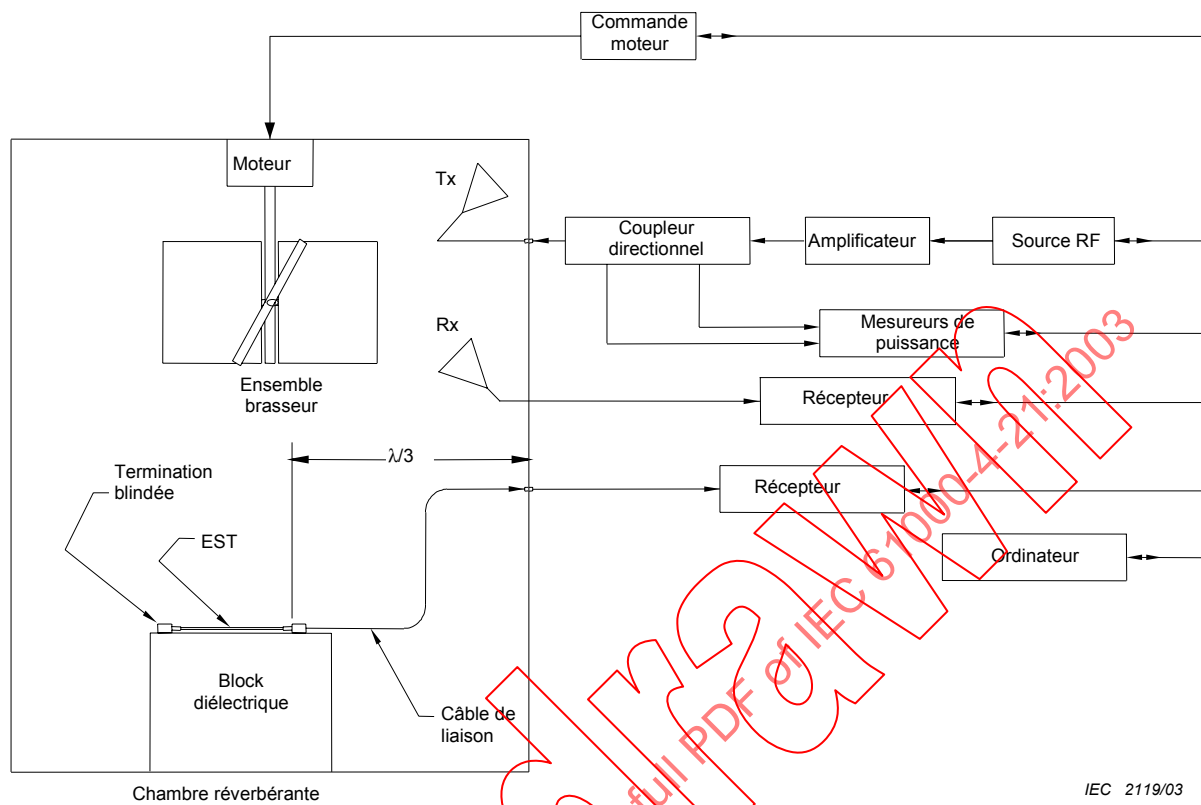


Figure F.1 – Montage type d'essai

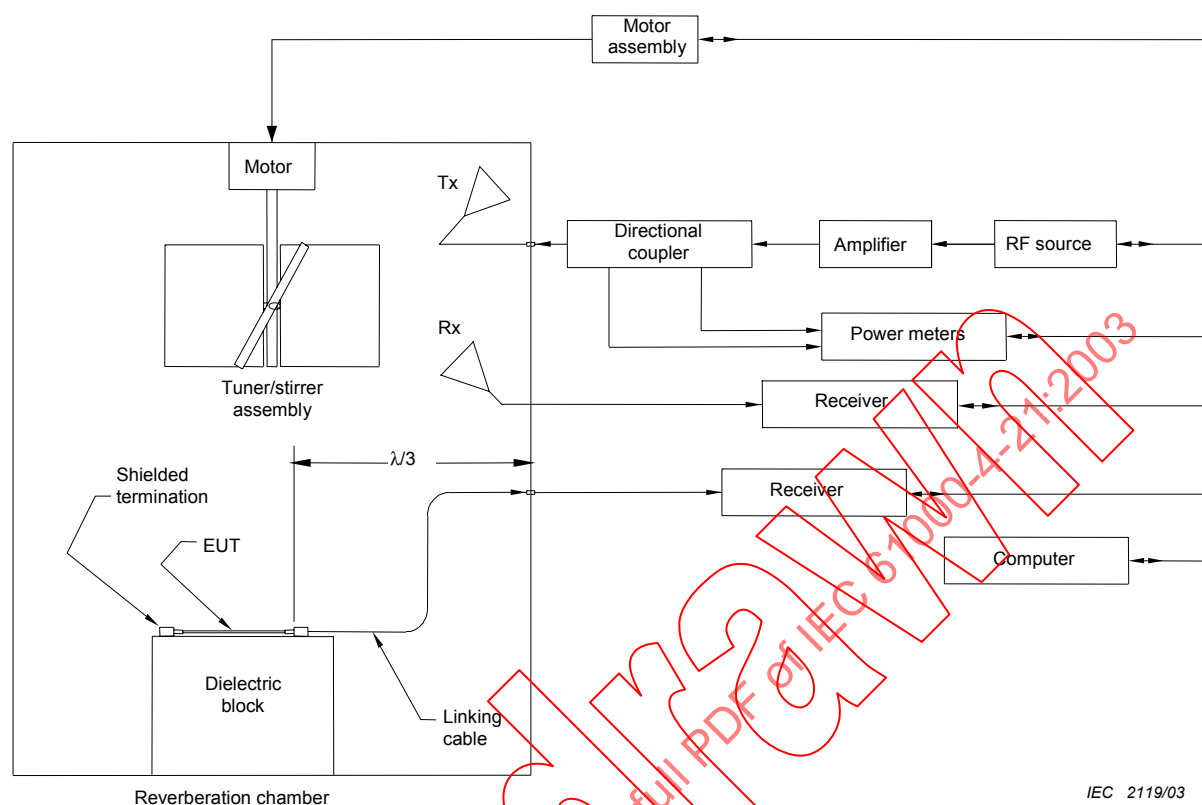


Figure F.1 – Typical test set-up

Annexe G (informative)

Mesures de l'efficacité de blindage des joints d'étanchéité et des matériaux

G.1 Vue d'ensemble

Comme pour les essais d'immunité aux perturbations rayonnées, il existe de nombreuses techniques d'essai disponibles pour évaluer les performances de blindage des joints d'étanchéité, des matériaux de fenêtres, et d'autres configurations de systèmes conçus pour fournir un blindage [1]⁶⁾, [2], [3]. Généralement, une mesure d'efficacité de blindage compare l'environnement électromagnétique à l'intérieur d'une enceinte avec et sans le matériau de blindage ou le joint d'étanchéité en place. Les techniques d'essai d'efficacité de blindage sont décrites dans de nombreuses sources telles que la MIL-STD-285. Malheureusement, de nombreuses mesures d'efficacité de blindage sont connues pour leur manque de reproductibilité et leur difficulté à être comparées d'une installation à une autre. Certaines de ces divergences peuvent être attribuées à la technique d'essai, certaines autres étant imputables à l'élément en essai. De nombreux facteurs tels que la condition d'accouplement des surfaces et l'application d'un couple aux fixations peuvent affecter de manière notable la reproductibilité des mesures d'efficacité de blindage.

Pour beaucoup de conceptions de blindages (par exemple, joints d'étanchéité, fenêtres, etc.), les essais de réverbération utilisent une approche de «chambre imbriquée» (par exemple, une chambre réverbérante à l'intérieur d'une chambre réverbérante). Une antenne de réception et un brasseur en roue à pales sont installés dans une installation d'essai pour détecter toute énergie radioélectrique qui «fuit» dans l'installation. Il convient que les lecteurs qui ne connaissent pas bien l'utilisation des chambres réverbérantes pour les mesures de l'efficacité de blindage consultent une ou plusieurs des références [4], [5], [6].

Il est nécessaire de contrôler soigneusement de nombreux facteurs d'un montage d'essai pour obtenir la reproductibilité dans un essai d'efficacité de blindage. En partant de l'hypothèse que l'on peut contrôler ces facteurs, l'uniformité de l'environnement électromagnétique dans une chambre réverbérante fournit un essai d'efficacité de blindage sous tous les angles avec une excellente reproductibilité d'une installation à une autre.

NOTE 1 Des différences mineures dans la conception/la construction des aménagements d'essai peuvent avoir une influence importante sur les résultats d'essai. Il est nécessaire de contrôler tous les matériaux des aménagements, l'espacement des boulons, les finitions de surface, les réglages de couple, etc., afin d'obtenir des résultats reproductibles. En raison du grand nombre de variations qui seraient nécessaires pour couvrir les nombreux joints d'étanchéité et matériaux différents qui nécessitent une évaluation, cette annexe ne contient pas pour l'instant de lignes directrices détaillées pour la conception des aménagements d'essai. Le développement d'une ou de plusieurs installations génériques est à l'étude pour des révisions futures de la présente annexe.

NOTE 2 Les procédures contenues dans la présente annexe partent du principe qu'une quantité nominale de blindage est fournie par le joint d'étanchéité ou le matériau en cours d'évaluation. Si le blindage fourni par le matériau et/ou le joint en essai est inférieur à 10 dB, le «facteur de qualité» ou «Q» de l'installation d'essai n'est pas indépendant de celui de la chambre. Dans de tels cas, le facteur d'étalonnage de fixation d'essai (G.3.7) n'est pas applicable et on appliquera les méthodes décrites en [7]. Mesure de l'efficacité de blindage

G.2 Mesure de l'efficacité de blindage

La mesure de l'efficacité de blindage est fondée sur la comparaison de la puissance électromagnétique à l'extérieur du matériel en essai avec la puissance électromagnétique qui se propage dans le matériel en essai. L'efficacité de blindage est définie comme suit:

⁶⁾ Les chiffres entre crochets renvoient à l'Article G.7, Documents de référence, à la fin de cette annexe.

Annex G (informative)

Shielding effectiveness measurements of gaskets and materials

G.1 Overview

As in radiated immunity testing, there are many test techniques available to evaluate the shielding performance of gaskets, window materials, and other system configurations designed to provide shielding [1]⁶⁾, [2], [3]. Typically, a SE measurement compares the EM environment inside an enclosure with and without the shielding material or gasket in place. Shielding effectiveness test techniques are described in many sources such as MIL-STD-285. Unfortunately, many shielding effectiveness measurements are noted for their lack of repeatability and facility-to-facility comparability. Some of these discrepancies can be attributed to the test technique while the test article itself causes others. Many factors such as the condition of mating surfaces and torquing of fasteners can markedly affect the repeatability of SE measurements.

For many shielding designs (e.g., gaskets, windows, etc.), reverberation testing uses a "nested chamber" approach (e.g., a reverberation chamber within a reverberation chamber). A receiving antenna and paddle wheel tuner are installed in a test fixture to detect any RF energy that "leaks" into the fixture. Readers who are unfamiliar with the use of reverberation chambers for SE measurements should review one or more of the several available references [4], [5], [6].

Many factors of a test set-up must be carefully controlled to achieve repeatability in a SE test. Assuming one can control these factors, the uniformity of the EM environment in a reverberation chamber provides an all aspect angle SE test with excellent repeatability from facility to facility.

NOTE 1 Minor differences in test fixture design/construction can have significant influence on test results. Fixture materials, bolt spacing, surface finishes, torque settings, etc. must all be controlled in order to get repeatable results. Due to the large number of variations that would be needed in order to accommodate the many different gaskets and materials that require evaluation, this annex does not contain detailed design guidance for test fixtures at this time. Development of a generic fixture(s) is under consideration for future revisions of this annex.

NOTE 2 The procedures contained in this annex assume that a nominal amount of shielding is provided by the gasket or material being evaluated. If the shielding provided by the material and/or gasket under test is less than 10 dB, then the "Quality Factor" or "Q" of the test fixture is not independent from that of the chamber. In such cases, the TFCF (G.3.7) is not applicable and methods described in [7] must be applied.

G.2 Measurement of shielding effectiveness

The measurement of shielding effectiveness is based on the comparison of the electromagnetic power outside the equipment under test (EUT) to the electromagnetic power that propagates into the EUT. The shielding effectiveness is defined as:

⁶⁾ Figures in square brackets refer to Clause G.7, Reference documents, at the end of this annex.

$$EB = 10 \log \left(\frac{P_{\text{Ref}}}{P_{\text{EST}}} \right) \quad (\text{G.1})$$

où

P_{EST} est la puissance couplée au matériel en essai

P_{Ref} est la puissance couplée à l'antenne de référence.

G.3 Description du montage d'essai

Pour les essais des joints d'étanchéité et des matériaux, il est généralement nécessaire de construire une installation d'essai sur laquelle l'élément à évaluer est monté. Dans certains cas, des enceintes entières peuvent être construites dans le matériau à évaluer. Dans un tel cas, il convient d'utiliser les procédures décrites à l'Annexe H. La méthode de mesure de l'efficacité de blindage avec la chambre réverbérante utilise une approche de «chambre imbriquée» (par exemple, une chambre réverbérante à l'intérieur d'une chambre réverbérante). Une antenne de réception et un brasseur mécanique sont installés dans une installation d'essai pour détecter toute énergie radioélectrique qui «fuit» dans l'installation. Il convient que le brasseur mécanique soit aussi grand que possible et qu'il maintienne une distance de séparation de $\lambda/4$ par rapport à l'antenne de réception. Un exemple de «chambre imbriquée» est représentée à la Figure G.1. Pour les éléments d'essai tels que les matériaux et les fenêtres, des ouvertures peuvent être réalisées dans la plaque de couverture.

NOTE Les procédures contenues dans la présente annexe ne vont pas distinguer le blindage fourni par une ouverture de celui fourni par le joint d'étanchéité ou le matériau utilisé conjointement avec cette ouverture. S'il est souhaitable d'établir une distinction entre le blindage fourni par l'ouverture de celui fourni par le joint d'étanchéité ou le matériau en essai, la procédure décrite en [7] sera utilisée.

G.3.1 Montage d'essai pour les joints d'étanchéité

Pour les essais des joints d'étanchéité, une installation d'essai est nécessaire. Il convient que l'installation, dont un exemple est représenté à la Figure G.2, ait des surfaces représentatives de l'application. La taille de l'installation détermine la fréquence la plus faible à laquelle les données utilisables peuvent être obtenues. Pour la plupart des installations, cette fréquence utilisable la plus faible peut être estimée en déterminant la fréquence pour laquelle l'installation a environ 60 modes. La formule pour déterminer cette fréquence est représentée en G.3.7(1). Sinon, déterminer la fréquence utilisable la plus faible de l'installation en utilisant la procédure décrite en B.1.1.

G.3.2 Montage d'essai pour les matériaux

Pour les essais des matériaux, une installation d'essai est nécessaire. Il convient que l'installation, dont un exemple est représenté à la Figure G.3, ait des surfaces compatibles avec le joint d'étanchéité à utiliser. Le matériau qui doit être évalué peut remplacer une plaque de couverture ou être monté sur une ouverture de cette plaque au cours des essais. La taille de l'installation détermine la fréquence la plus faible à laquelle les données utilisables peuvent être obtenues. Pour la plupart des installations, cette fréquence utilisable la plus faible peut être estimée en déterminant la fréquence pour laquelle l'installation a environ 60 modes. La formule pour déterminer cette fréquence est représentée en G.3.7(1). Sinon, étalonner l'installation en utilisant la procédure décrite en B.1.1.

G.3.3 Chambre réverbérante

L'enceinte blindée doit être équipée d'accès multiples pour permettre la connexion de l'installation d'essai à l'équipement de mesure.

$$SE = 10 \log \left(\frac{P_{\text{Ref}}}{P_{\text{EUT}}} \right) \quad (\text{G.1})$$

where

P_{EUT} is the power coupled to the equipment under test, and

P_{Ref} is the power coupled to the reference antenna.

G.3 Test set-up description

For testing gaskets and materials, it is usually required to construct a test fixture to which the item to be evaluated is mounted. In some cases, entire enclosures can be constructed out of the material to be evaluated. In such cases, the procedures in Annex H should be used. The reverberation chamber method of measuring SE uses a "nested chamber" approach (e.g., a reverberation chamber within a reverberation chamber). A receiving antenna and mechanical tuner/stirrer are installed in the test fixture to detect any RF energy that "leaks" into the fixture. The mechanical tuner/stirrer should be as large as possible and still maintain a separation distance of $\lambda/4$ from receive antenna. An example of a "nested chamber" is shown in Figure G.1. For test items such as materials and windows, apertures may be cut out of the cover plate.

NOTE The procedures contained in this annex will not separate out shielding provided by an aperture from that provided by the gasket or material used in conjunction with that aperture. If it is desired to separate the shielding provided by the aperture from that of the gasket or material under test then the procedures outlined in [7] must be used.

G.3.1 Test set-up for gaskets

For testing gaskets, a test fixture is required. The fixture, an example of which is shown in Figure G.2, should have surfaces representative of the application. The size of the fixture determines the lowest frequency at which useable data can be obtained. For most fixtures, this lowest useable frequency can be estimated by determining the frequency at which the fixture has about 60 modes. The formula for determining this frequency is shown in G.3.7(1). Otherwise, determine the lowest useable frequency of the fixture using the procedure from B.1.1.

G.3.2 Test set-up for materials

For testing materials, a test fixture is required. The fixture, an example of which is shown in Figure G.3, should have surfaces compatible with the gasket to be used. The material to be evaluated can be substituted for, or mounted to an aperture on, the cover plate during testing. The size of the fixture determines the lowest frequency at which useable data can be obtained. For most fixtures, this lowest useable frequency can be estimated by determining the frequency at which the fixture has about 60 modes. The formula for determining this frequency is shown in G.3.7(1). Otherwise, calibrate the fixture using the procedure from B.1.1.

G.3.3 Reverberation chamber

The shielded enclosure shall be fitted with multiple access ports to facilitate connection of the test fixture to the measurement equipment.

G.3.4 Antennes

Les antennes d'émission doivent être efficaces aux fréquences utilisées pour les essais. Il est important que cette efficacité des antennes d'émission dans l'installation soit aussi élevée que possible.

L'efficacité de l'antenne de réception doit être la même pour caractériser l'installation d'essai et pour collecter les données de blindage. Il est recommandé d'utiliser la même antenne.

L'efficacité d'antenne n'est pas critique; cependant, pour assurer une dynamique correcte, il convient qu'elle soit aussi élevée que possible.

G.3.5 Montage d'essai

Les équipements et les composants d'essai principaux nécessaires à une mesure de l'efficacité de blindage automatisée sont représentés à la Figure G.1. Noter que les préamplificateurs, les amplificateurs et les autres composants pourraient également devoir présenter la dynamique désirée.

G.3.6 Dispositifs de liaison

Les dispositifs de liaison sont généralement des lignes coaxiales à 50 Ω avec une efficacité de blindage supérieure d'au moins 10 dB au blindage désiré.

Tous les dispositifs de liaison doivent être caractérisés en affaiblissement avant le début de l'essai. Ceci inclut les dispositifs de liaison pour le matériel en essai, l'antenne de réception, la ou les antennes d'émission, et l'antenne de référence.

G.3.7 Etalonnage de l'installation d'essai

Avant de réaliser tout essai, il convient d'étalonner l'installation d'essai. Le but est de déterminer le facteur de qualité ou «Q» de l'installation d'essai, de manière à ce que tout effet que le «Q» de la cavité a sur le signal reçu puisse être pris en compte. La procédure d'étalonnage est la suivante:

- (1) Déterminer la fréquence utilisable la plus faible pour la fixation d'essai en calculant la fréquence à laquelle l'installation a au moins 60 modes possibles ($N = 60$) en utilisant la formule suivante (pour les installations d'essai rectangulaires) [4]:

$$N = \frac{8\pi}{3} abd \frac{f^3}{c^3} - (a + b + d) \frac{f}{c} + \frac{1}{2} \quad (\text{G.2})$$

où

a , b , et d sont les dimensions de l'installation en m,

c est la vitesse de propagation des ondes dans l'installation (m/s), et

f est la fréquence en Hz.

NOTE 1 La dimension la plus faible de l'ouverture de l'installation sera d'au moins $\lambda/2$ à la fréquence utilisable la plus faible pour minimiser les effets de coupure. L'Equation G.2 peut être généralisée pour les installations d'essai de forme arbitraire (non rectangulaire) [8].

- (2) Configurer l'installation d'essai pour l'étalonnage en installant une antenne d'émission à l'intérieur de l'installation d'essai comme représenté à la Figure G.3. Il convient que le brasseur mécanique soit aussi grand que possible et qu'il maintienne une distance de séparation de $\lambda/4$ par rapport à l'antenne de réception. Il est souhaitable de diriger l'antenne de réception vers un coin. Diriger l'antenne de réception vers le brasseur est acceptable. Il convient que les points d'alimentation vers l'installation d'essai pour le dispositif de liaison d'antenne de réception et la puissance du brasseur soient bien blindés. Il convient que le blindage des points d'alimentation soit supérieur d'au moins 5 dB au blindage désiré.

G.3.4 Antennas

The Tx antennas used shall be efficient at the frequencies to be tested. It is most important that the efficiency of the Tx antennas in the fixture be as high as possible.

The efficiency of the Rx antenna shall be the same for characterising the test fixture and for collecting the shielding data. It is recommended that the same antenna be used.

The receive antenna's efficiency is not critical; however, to ensure good dynamic range it should be as high as possible.

G.3.5 Test set-up

The essential test equipment and components required for an automated shielding effectiveness measurement are shown in Figure G.1. Note that preamplifiers, amplifiers, and other components might also be required to obtain the desired dynamic range.

G.3.6 Linking devices

Linking devices are usually 50 Ω coaxial lines having shielding effectiveness at least 10 dB above the desired shielding.

All linking devices shall be characterised for attenuation prior to beginning the test. This includes linking devices for the EUT Rx antenna, Tx antenna(s), and reference antenna.

G.3.7 Test fixture calibration

Before performing any testing the test fixture should be calibrated. The purpose is to determine the quality factor or "Q" of the test fixture so that any effect the cavity "Q" has on the received signal can be accounted for. The calibration procedure is as follows:

- (1) Determine the lowest useable frequency for the test fixture by calculating the frequency at which the fixture has at least 60 possible modes ($N = 60$) using the following formula (for rectangular enclosures) [4]:

$$N = \frac{8\pi}{3} abd \frac{f^3}{c^3} - (a+b+d) \frac{f}{c} + \frac{1}{2} \quad (\text{G.2})$$

where

a , b , and d are the fixture dimensions in meters,

c is the speed of wave propagation in the fixture (m/s), and

f is the frequency in hertz.

NOTE 1 The smallest dimension of the fixture aperture must be at least $\lambda/2$ at the lowest useable frequency in order to minimize cut-off effects. Equation (G.2) can be generalized for test fixtures of arbitrary (non-rectangular) shape [8].

- (2) Configure the test fixture for calibration by installing a transmit antenna inside the test fixture as shown in Figure G.3. The mechanical tuner should be as large as possible and still maintain a separation distance of $\lambda/4$ from the Rx antenna. Directing the Rx antenna into a corner is desirable. Directing the Rx antenna at the tuner/stirrer is acceptable. Feed points into the test fixture for the Rx antenna linking device and tuner/stirrer power should be well shielded. Shielding of the feed points should be at least 5 dB above the desired shielding.

- (3) Configurer l'installation d'essai comme elle sera pour l'essai en installant le joint d'étanchéité et/ou le matériau à soumettre aux essais. Pour chaque fréquence d'essai, faire entrer une puissance connue dans l'antenne d'émission à l'intérieur de l'installation d'essai (c'est-à-dire que l'étalonnage doit être effectué aux bornes des antennes d'émission et de réception). Enregistrer la puissance maximale reçue par l'antenne de réception de l'installation d'essai sur une rotation du brasseur à l'intérieur de l'installation d'essai, et les puissances incidente et réfléchie présentes au niveau de l'antenne d'émission de l'installation d'essai à l'emplacement du brasseur ayant donné lieu au signal maximal reçu.

NOTE 2 Les essais d'efficacité de blindage sont bien adaptés aux techniques par brassage de modes du fait du temps de réponse généralement rapide des récepteurs utilisés. Si le brassage continu est utilisé, s'assurer que les aspects couverts par l'Annexe C sont traités de manière appropriée. Si le brassage pas à pas est utilisé, utiliser au moins le nombre minimal de pas indiqué à l'Annexe B où f_s est réglé à la fréquence à laquelle l'installation d'essai a 60 modes possibles.

- (4) Déterminer le facteur d'étalonnage de l'installation d'essai en prenant le rapport de la puissance émise sur la puissance maximale reçue.

$$TFCF = \frac{P_{\text{MaxRec}}}{P_{\text{Entrée}}} \quad (\text{G.3})$$

où

P_{MaxRec} est la puissance maximale reçue (en W) aux bornes de l'antenne par l'antenne de réception de l'installation d'essai au cours d'une rotation du brasseur monté à l'intérieur de l'installation d'essai,

$P_{\text{Entrée}}$ est la puissance résultante à l'entrée des bornes de l'antenne (en W) de l'antenne d'émission à l'intérieur de l'installation d'essai. La puissance d'entrée est calculée à partir des mesures de la puissance incidente et réfléchie à l'étape (3): $P_{\text{Résultante}} = P_{\text{Incidente}} - P_{\text{Réfléchie}}$

- (5) Si l'on dispose du temps nécessaire, répéter cette procédure 2 fois de plus, en utilisant différents emplacements des antennes d'émission et de réception à l'intérieur de l'installation d'essai. Pour chaque fréquence, utiliser la moyenne des puissances maximales reçues pour déterminer la perte d'insertion. (c'est-à-dire, lorsque 3 combinaisons d'antennes d'émission et de réception doivent étalonner l'installation d'essai, utiliser la moyenne des 3 valeurs maximales lues pour calculer le facteur d'étalonnage de l'installation d'essai pour chaque fréquence). La puissance émise doit être la même à chaque opération. Si l'on n'utilise pas la même puissance émise pour chaque opération, calculer le facteur pour chaque opération puis calculer le facteur moyen pour l'installation.

G.3.8 Détermination de la dynamique de mesure

Avant de réaliser tout essai, il convient que la dynamique de mesure soit déterminée comme suit:

- (1) Retirer le matériau ou la plaque de couverture de l'installation d'essai et s'assurer que l'antenne de réception est en place.

NOTE 1 Ceci devrait essentiellement revenir à retirer un côté de l'installation.

- (2) Retirer l'antenne d'émission et les dispositifs de liaison d'émission de l'installation et fixer une terminaison blindée à l'accès de liaison de l'antenne d'émission de l'installation d'essai. Il convient que cette terminaison blindée présente un blindage d'au moins 10 dB supérieur à celui à mesurer.
- (3) Pour chaque fréquence d'essai, émettre une puissance connue vers l'antenne d'émission de la chambre (de nouveau, l'étalonnage doit être effectué aux bornes d'antenne) et enregistrer la puissance maximale reçue par l'antenne de réception de l'installation d'essai pour une rotation du brasseur de la chambre.

- (3) Configure the test fixture, as it will be for the test, by installing the gasket and/or material to be tested. For each test frequency, input a known power to the Tx antenna inside the test fixture (i.e., calibration shall be relative to the Tx and Rx antenna terminals). Record the maximum power received by the test fixture Rx antenna over one rotation of the tuner inside the test fixture and the forward and reflected power present at the test fixture Tx antenna at the tuner position that resulted in the maximum received signal.

NOTE 2 SE testing is well suited for mode-stirring techniques due to the generally fast response time of the receivers employed. If stirring is used, ensure that the issues in Annex C are adequately addressed. If mode tuning is used, use at least the minimum number of steps outlined in Annex B with f_s set to the frequency at which the test fixture has 60 possible modes.

- (4) Determine the test fixture calibration factor (*TFCF*) by taking ratio between the transmitted power and the maximum received power.

$$TFCF = \frac{P_{\text{MaxRec}}}{P_{\text{Input}}} \quad (\text{G.3})$$

where

P_{MaxRec} is the maximum received power (in watts) at the antenna terminals by the test fixture receive antenna over one rotation of the tuner mounted inside the test fixture, and

P_{Input} is the net power input to the antenna terminals (in watts) of the transmit antenna inside the test fixture. The input power is calculated based on the forward and reflected power measurements in Step (3): $P_{\text{Input}} = P_{\text{Forward}} - P_{\text{Reflected}}$.

- (5) If time permits, repeat this procedure two more times, using different locations of the Tx and Rx antennas within the test fixture. For each frequency, use the average of the maximum received powers to determine the insertion loss. (i.e., when three combinations of the Tx and Rx antennas are to calibrate the test fixture, use the average of the three maximum readings to calculate the *TFCF* for each frequency). The transmit power shall be the same for each run. If the same transmit power is not used for each run, calculate the *TFCF* for each run, then calculate the average *TFCF* for the fixture.

G.3.8 Determining measurement dynamic range

Before performing any testing, the dynamic range of the measurement should be determined as follows:

- (1) Remove the material or cover plate from the test fixture and ensure that the receive antenna is in place.

NOTE This should equate to essentially one side of the fixture being removed.

- (2) Remove the transmit antenna and transmit linking devices from the fixture and attach a shielded termination to the transmit antenna linking port of the test fixture. This shielded termination should have at least 10 dB more shielding than the shielding to be measured.
- (3) For each test frequency, transmit a known power into the chamber transmit antenna (again, calibration shall be relative to the antenna terminals) and record the maximum power received by the test fixture receive antenna over one rotation of the chamber tuner.

NOTE 2 Les essais d'efficacité de blindage sont bien adaptés aux techniques par brassage de modes du fait du temps de réponse généralement rapide des récepteurs utilisés. Si le brassage continu est utilisé, s'assurer que les aspects couverts par l'Annexe C sont traités de manière appropriée. Si on utilise le brassage pas à pas, utiliser au moins le nombre de pas utilisé pour étalonner la chambre.

- (4) Remplacer l'antenne de réception de l'installation d'essai par une terminaison bien blindée.

- (5) Répéter l'étape (3).

NOTE 3 Il est nécessaire d'utiliser la même puissance d'entrée vers la chambre ou de normaliser la puissance reçue de chaque point de donnée à la puissance d'entrée de chambre.

- (6) Remplacer l'antenne de réception de l'installation d'essai.

- (7) Déterminer la dynamique du montage de mesure en prenant le rapport entre les valeurs lues enregistrées aux étapes (3) et (5) et en corrigeant la perte d'insertion de l'installation d'essai comme cela est représenté à l'Equation (G.4). S'assurer que cette valeur est supérieure au blindage désiré d'au moins 5 dB.

$$\text{Dynamique} = 10 \log \left(\frac{P_{\text{RxAntenne}}}{P_{\text{RxTerminaison}}} \right) + 10 \log(TFCF) \quad (\text{G.4})$$

où

$P_{\text{RxAntenne}}$ est la puissance maximale reçue par l'antenne de réception de l'installation d'essai,

$P_{\text{RxTerminaison}}$ est la puissance maximale reçue aux bornes de l'antenne de réception d'essai avec l'antenne remplacée par la terminaison,

$TFCF$ est le facteur d'étalonnage de l'installation d'essai issu de G.3.7(4).

G.4 Procédure de mesure

G.4.1 Généralités

Réaliser l'essai en utilisant les procédures du mode pas à pas ou du mode continu. Pour le fonctionnement en mode pas à pas, il est nécessaire que le brasseur de la chambre utilise au moins le même nombre de pas que celui utilisé dans la chambre d'étalonnage. Le brasseur de l'installation d'essai utilisera le même nombre de pas que celui utilisé au G.3.7(3). Lorsqu'on utilise des procédures en mode pas à pas, il convient que les deux dispositifs d'accord de chambre subissent une rotation de manière à ce que le brasseur de l'installation d'essai fasse une révolution complète pour chaque pas du brasseur de la chambre. Lorsqu'on utilise des procédures en mode continu, il faut que la vitesse maximale de rotation du brasseur assure que le matériel en essai et l'équipement de mesure associé soient exposés au moins au nombre d'échantillons qui serait obtenu en utilisant les techniques en mode pas à pas. S'assurer que, pour toute procédure, l'équipement de mesure peut échantillonner le niveau de champ pour le temps de palier approprié. Ceci est particulièrement important pour le fonctionnement en mode continu.

NOTE Il est souvent pratique d'utiliser une combinaison de brassages en mode pas à pas et en mode continu. Le brasseur de chambre subit une rotation complète en utilisant le même nombre de pas utilisé dans la chambre d'étalonnage pendant que le brasseur de l'installation d'essai subit une rotation continue. Pour chaque position (pas) du brasseur de la chambre, le brasseur de l'installation d'essai fait une révolution complète. La vitesse de rotation du brasseur de l'installation d'essai est la même que celle utilisée au G.3.7(3). Ceci assure que la vitesse d'échantillonnage de l'équipement de mesure soit telle que le nombre nécessaire d'échantillons est obtenu au cours de chaque rotation du brasseur de l'installation d'essai.

Le paramètre mesuré est la puissance maximale reçue. Pour les mesures fondées sur la puissance maximale reçue, il convient que la gamme dynamique du système de mesure soit supérieure d'au moins 5 dB au blindage désiré.

NOTE SE testing is well suited for mode-stirring techniques due to the generally fast response time of the receivers employed. If stirring is used, ensure that the issues in Annex C are adequately addressed. If mode tuning is used, use at least the number of steps used to calibrate the chamber.

(4) Replace the test fixture Rx antenna with a well-shielded termination.

(5) Repeat Step (3).

NOTE The same input power to the chamber must be used or the received power from each data point must be normalized to the chamber input power.

(6) Replace the test fixture Rx antenna.

(7) Determine the dynamic range of the measurement set-up by taking the ratio between the readings recorded in Steps 3 and 5 and correcting for the test fixture insertion loss as shown in Equation (G.4). Ensure that this value is greater than the desired shielding by at least 5 dB.

$$\text{Dynamic Range} = 10 \log \left(\frac{P_{\text{RxAntenna}}}{P_{\text{RxTermination}}} \right) + 10 \log(TFCF) \quad (\text{G.4})$$

where

$P_{\text{RxAntenna}}$ is the maximum power received by the test fixture Rx antenna,

$P_{\text{RxTermination}}$ is the maximum power received by the test fixture Rx antenna terminals with the antenna replaced by the termination, and

$TFCF$ is the test fixture calibration factor from G.3.7(4).

G.4 Measurement procedure

G.4.1 General

Perform the testing using mode-tuned or mode-stirred procedures. For mode-tuned operation, the chamber tuner shall use at least the same number of steps as used in the chamber calibration. The test fixture tuner shall use the same number of steps as used in G.3.7(3). When using mode-tuned procedures, both chamber tuners should be rotated in a manner that results in the test fixture tuner making one complete revolution for each step of the chamber tuner. When using mode-stirred procedures, the maximum stirrer rotation rate shall ensure that the EUT and the associated measurement equipment is exposed to at least the number of samples as would be encountered using mode tuned techniques. Assure that for either procedure the measurement equipment is allowed to sample the field level for the appropriate dwell time. This is particularly important for mode-stirred operation.

NOTE It is often convenient to use a combination of tuning and stirring. The chamber tuner is rotated one complete rotation using the same number of steps used in the chamber calibration while the test fixture stirrer is rotated continuously. For each position (step) of the chamber tuner, the test fixture tuner rotates one complete revolution. The rotation rate of the test fixture tuner is the same as used in G.3.7(3). This ensures that the sampling rate of the measurement equipment is such that the required number of samples is obtained over each rotation of the test fixture tuner.

The measured parameter is the maximum received power. For measurements based on the maximum received power, the dynamic range of the measurement system should be at least 5 dB more than the desired shielding.

G.4.2 Mesure du matériel en essai

- (1) Connecter la source radioélectrique à la chambre (par l'intermédiaire d'un amplificateur si nécessaire).
- (2) Connecter l'équipement de mesure à l'antenne de réception de l'équipement de mesure (par l'intermédiaire d'un préamplificateur si nécessaire).
- (3) Connecter l'antenne de référence de la chambre à l'équipement de contrôle de la chambre (par l'intermédiaire d'un atténuateur si nécessaire).
- (4) Installer le joint d'étanchéité et/ou le matériau à soumettre aux essais sur l'installation d'essai.
- (5) Mettre en mouvement le ou les brasseurs de la chambre et de l'installation d'essai.
- (6) Injecter la première fréquence d'essai dans la chambre à une puissance d'entrée fixée.
- (7) Enregistrer la valeur maximale lue sur l'équipement de contrôle de la chambre et sur l'équipement de contrôle du matériel en essai sur un cycle complet des brasseurs.
- (8) Répéter l'étape (7) pour toutes les fréquences d'essai.
- (9) Installer un matériau écran connu (feuille ou bande d'aluminium ou de cuivre) sur les zones sur lesquelles on suspecte une fuite. Ne pas appliquer de blindage complémentaire aux points d'alimentation ou à toute autre zone d'installation d'essai ne faisant pas partie de l'évaluation.
- (10) Réaliser un essai de fuite en répétant les étapes (5) à (8).

NOTE Il convient que la même puissance d'entrée vers la chambre soit utilisée à la fois pour la collecte de données et pour l'essai de fuite. Si une puissance d'entrée différente est utilisée, il est nécessaire de normaliser toutes les données en fonction de la puissance d'entrée dans la chambre avant de calculer l'efficacité de blindage.

- (11) L'efficacité de blindage peut ensuite être calculée en utilisant l'expression ci-dessous en tenant compte de l'affaiblissement des liaisons à la fois pour le matériel en essai et pour l'antenne de référence.

$$EB = 10 \log \left(\frac{P_{Ref}}{P_{EST}} \right) - 10 \log(TFCF) \quad (G.5)$$

où

P_{EST} est la puissance maximale reçue par l'antenne de réception de l'installation d'essai (corrigée pour tenir compte de la perte de la liaison),

P_{Ref} est la puissance maximale reçue par l'antenne de référence de la chambre (corrigée pour tenir compte de la perte de la liaison),

$TFCF$ est le facteur d'étalonnage de l'installation d'essai issu de G.3.7(4), Equation (G.3).

- (12) L'essai de «fuite» de l'étape (10) est réalisé pour s'assurer que la fuite mesurée est entrée par une zone de l'installation d'essai qui faisait partie de l'évaluation et non pas par l'intermédiaire d'une modification de l'installation d'essai telle que les points d'alimentation en puissance du brasseur et ceux des lignes de réception. Déterminer l'efficacité de blindage de la présente configuration en utilisant l'Equation (G.5) en remplaçant les puissances reçues à l'étape (10). Si l'efficacité de blindage obtenue à l'étape (10) n'est pas au moins supérieure de 5 dB à l'efficacité de blindage obtenue avec le montage d'essai non modifié, alors l'efficacité de blindage est considérée comme étant supérieure ou égale à l'efficacité de blindage du montage d'essai non modifié. Si on désire plus d'efficacité de blindage, plus d'investigations concernant les points d'entrée dans le système de mesure sont justifiées.

G.4.2 Measurement of the EUT

- (1) Connect the RF source to the chamber (through an amplifier if necessary).
- (2) Connect the measurement equipment to the test fixture Rx antenna (through a pre-amplifier if necessary).
- (3) Connect the chamber reference antenna to the chamber monitoring equipment (through an attenuator if necessary).
- (4) Install the gasket and/or material to be tested onto the test fixture.
- (5) Start the chamber and test fixture tuner(s)/stirrer(s) in motion.
- (6) Inject the first test frequency into the chamber at a fixed input power.
- (7) Record the maximum reading from the chamber monitoring equipment and the EUT monitoring equipment over one complete cycle of the tuner(s)/stirrer(s).
- (8) Repeat Step (7) for all test frequencies.
- (9) Install a known shield material (aluminium or copper foil or tape) over areas of suspected leakage. Do not apply additional shielding to the feed points or any other area of the test fixture that is not a part of the evaluation.
- (10) Perform a leakage test by repeating Steps (5) through (8).

NOTE The same input power to the chamber should be used for both data collection and leak test. If a different input power is used, then all the data must be normalized to the chamber input power prior to calculating the SE.

- (11) The shielding effectiveness can then be calculated using the following, taking into account the attenuation of the links for both the EUT and reference antenna.

$$SE = 10 \log \left(\frac{P_{Ref}}{P_{EUT}} \right) - 10 \log(TFCF) \quad (G.5)$$

where

P_{EUT} is the maximum power received by the test fixture Rx antenna (corrected for link loss),

P_{Ref} is the maximum power received by the chamber reference antenna (corrected for link loss), and

$TFCF$ is the test fixture calibration factor from G.3.7(4), Equation (G.3).

- (12) The “leak” test of Step (10) is performed to ensure that the measured leakage entered through an area of the test fixture that was part of the evaluation and not through a modification to the test fixture such as the feed points for the tuner power and receive lines. Determine the SE of this configuration using Equation (G.5) by substituting the received powers from Step (10). If the SE obtained from Step (10) is not at least 5 dB more than the SE obtained from the unmodified test set-up, then the SE is considered to be greater than or equal to the SE of the unmodified test set-up. If more SE is desired, then more investigations as to the points of entry into the measurement system are warranted.

G.4.3 Méthode alternative de mesure du matériel en essai

Si deux ensembles d'équipement de mesure ne sont pas disponibles, l'équipement de mesure peut être connecté tour à tour au matériel en essai et à l'antenne de référence.

Si deux ensembles de liaison sont utilisés, l'efficacité de blindage doit être calculée en tenant compte de l'affaiblissement des liaisons à la fois pour le matériel en essai et pour l'antenne de référence.

Si un seul ensemble de liaison est utilisé, l'affaiblissement de la liaison peut être ignoré et l'efficacité de blindage est la différence entre les deux puissances reçues.

G.5 Section de transmission

Une autre manière d'évaluer l'efficacité de blindage est en termes de section transversale de transmission (σ_a). La section transversale de transmission est définie comme suit:

$$P_{\text{Trans}} = \sigma_a S_{\text{inc}} \quad (\text{G.6})$$

où

P_{Trans} est la puissance émise à travers l'ouverture, en W

S_{inc} est la densité de flux de puissance de champ incident sur l'ouverture, en W/m² [9], [10].

En général, si le champ incident est une onde plane, σ_a dépendra de l'angle d'incidence et de la polarisation de l'onde. Lorsque σ_a est mesuré en utilisant les chambres réverbérantes, le σ_a qui en résulte est une moyenne isotrope de tous les angles d'incidence et de toutes les polarisations. Ceci est dû à la nature isotrope de l'environnement dans la chambre réverbérante.

Pour obtenir la section transversale de transmission, il est nécessaire de modifier les données collectées au G.3.7. En enregistrant la puissance moyenne reçue au G.3.7(3) à la place de la puissance maximale reçue, et en calculant la réciproque du TFCF fondée sur la puissance moyenne, la section de transmission, en m², peut être calculée en utilisant la formule suivante.

$$\sigma_a = \frac{\lambda^2 \times \eta_{\text{Rx}} \times \eta_{\text{Tx}}}{8\pi} \frac{P_{\text{Entrée}}}{P_{\text{MoyRec}}} \frac{\langle P_{\text{TestInstallation}} \rangle}{\langle P_{\text{Référence}} \rangle} \quad (\text{G.7})$$

où

$\frac{P_{\text{Input}}}{P_{\text{AveRec}}}$ est la réciproque du TFCF provenant de G.3.7(4) calculé en utilisant la puissance moyenne reçue au lieu de la puissance maximale reçue,

$\langle P_{\text{TestInstallation}} \rangle$ est la puissance moyenne reçue par l'antenne à l'intérieur de l'installation d'essai,

$\langle P_{\text{Référence}} \rangle$ est la puissance moyenne reçue provenant de l'antenne de référence,

η_{Rx} et η_{Tx} représentent l'efficacité des antennes de réception (référence) et d'émission (installation d'essai), et

λ est la longueur d'onde à la fréquence d'excitation.

G.4.3 Alternate method of measurement of the EUT

If two sets of measurement equipment are not available then the measurement equipment may be connected to the EUT and the reference antenna one at a time.

If two sets of linking are used, the shielding effectiveness shall be calculated taking into account the attenuation of the links for both the EUT and reference antenna.

If only one set of linking is used, then the attenuation of the linking can be ignored and the shielding is the difference between the two received powers.

G.5 Transmission cross-section

Another way to evaluate the shielding effectiveness is in terms of the transmission cross section (σ_a). The transmission cross section is defined as:

$$P_{\text{Trans}} = \sigma_a S_{\text{inc}} \quad (\text{G.6})$$

where

P_{Trans} is the power transmitted through the aperture in W, and

S_{inc} is the power flux density of the field incident on the aperture in W/m² [9], [10].

In general, if the incident field is a plane wave, σ_a will depend on the angle of incidence and the polarization of the wave. When σ_a is measured using reverberation chambers the resulting σ_a is an isotropic average of all angles of incidence and all polarizations. This is due to the isotropic nature of the environment in the reverberation chamber.

To obtain the transmission cross-section, the data collected in G.3.7 must be modified. By recording the average received power in G.3.7(3) instead of the maximum received power and calculating the reciprocal of the TFCF based on average power, the transmission cross section, in square meters, can be calculated using the following formula.

$$\sigma_a = \frac{\lambda^2 \times \eta_{\text{Rx}} \times \eta_{\text{Tx}}}{8\pi} \frac{P_{\text{Input}}}{P_{\text{AveRec}}} \frac{\langle P_{\text{TestFixture}} \rangle}{\langle P_{\text{Reference}} \rangle} \quad (\text{G.7})$$

where

$\frac{P_{\text{Input}}}{P_{\text{AveRec}}}$ is the reciprocal of TFCF from G.3.7(4) calculated using average received power instead of maximum received power,

$\langle P_{\text{TestFixture}} \rangle$ is the average power received by the antenna inside the test fixture,

$\langle P_{\text{Reference}} \rangle$ is the average power received by the chamber reference antenna,

η_{Rx} and η_{Tx} are the efficiency of the receive (reference) and transmit (test fixture) antennas, and

λ is the wavelength at the frequency of excitation.

G.5.1 Estimation de l'efficacité de blindage d'une enceinte

L'efficacité moyenne de blindage d'une enceinte électriquement de grande taille peut être estimée comme suit:

$$\langle EB \rangle = \frac{2\pi V}{\sigma_a \lambda Q} \quad (G.8)$$

où

V et Q représentent le volume et le facteur de qualité de l'enceinte (installation d'essai), et λ est la longueur d'onde d'excitation.

NOTE Le signe $\langle \rangle$ indique la moyenne prise sur tous les points à l'intérieur de l'enceinte. Le terme moyenne désigne la moyenne, pour une excitation externe donnée, sur l'espace interne; c'est-à-dire la moyenne est une moyenne sur le allure du champ d'onde stationnaire à l'intérieur de la cavité.

G.6 Contrôle du montage d'essai

Avant toute mesure, il est nécessaire de vérifier la dynamique du montage d'essai en utilisant les mêmes dispositifs de liaison que pour le matériel en essai. La dynamique sera supérieure d'au moins 10 dB au blindage désiré.

Avant toute mesure de blindage de matériau, le facteur d'étalonnage de l'installation d'essai sera déterminé. Il est recommandé que ce facteur soit obtenu en utilisant des échantillons d'essai réels.

La détermination de la perte d'insertion de l'installation d'essai (G.3.7) peut être omise, si la valeur de Q de l'installation d'essai est similaire à celle de l'application prévue du matériau ou du joint d'étanchéité soumis aux essais. En outre lorsque des essais sont réalisés sur des éléments multiples pour déterminer l'efficacité de blindage en relatif, l'étalonnage de l'installation d'essai peut être également omis.

Les données peuvent être collectées à des fréquences inférieures à la fréquence utilisable la plus faible de l'installation d'essai. Il convient que les données soient vues avec soin car les incertitudes de mesure augmentent rapidement en dessous de la fréquence utilisable la plus faible.

NOTE 1 La procédure de collecte des données est une séquence possible de collecte des données désirées. En fonction du type de récepteur, de la source radioélectrique et du contrôle de déplacement utilisé, de nombreuses variations sont possibles qui donneront lieu à la collecte des données requises. Par exemple, on peut utiliser un analyseur de spectre en mode maximal comme récepteur, et le régler pour enregistrer le signal reçu sur une large gamme de fréquences, tout en réglant pas par pas la fréquence d'entrée de la chambre sur la même gamme. Si le temps de palier à chaque fréquence est tel que le brasseur de l'installation réalise une révolution pour chacun des pas nécessaires pour faire réaliser une révolution au brasseur de la chambre, alors la quantité d'échantillons nécessaire sera collectée à chaque fréquence.

NOTE 2 A moins que le matériau de blindage soit non réciproque (par exemple ferrite magnétisée ou semiconducteur), il est possible d'obtenir la même information en émettant vers l'installation d'essai et en mesurant la quantité d'énergie radioélectrique qui fuit de l'installation d'essai.

NOTE 3 Il est possible de déterminer la quantité approximative d'énergie absorbée par le matériau en essai en comparant le facteur d'étalonnage de l'installation d'essai, le matériau étant en place, au facteur d'étalonnage de l'installation obtenu avec une plaque en aluminium à la place du matériau en essai.

G.5.1 Estimating the shielding effectiveness of an enclosure

The average shielding effectiveness of an electrically large enclosure can be estimated as follows:

$$\langle SE \rangle = \frac{2\pi V}{\sigma_a \lambda Q} \quad (\text{G.8})$$

where

V and Q are the volume and quality factor of the enclosure (test fixture), and

λ is the excitation wavelength.

NOTE The $\langle \rangle$ denote the average taken over all points within the enclosure. The term average means the average, for a given external excitation, over the internal space; i.e., the average is an average over the standing wave pattern of the field inside the cavity.

G.6 Control of the test set-up

Prior to any measurements, the dynamic range of the test set-up shall be checked using the same linking devices as for the EUT. The dynamic range shall be at least 10 dB greater than the desired shielding.

Prior to any measurements of material shielding, the test fixture calibration factor (TFCF) shall be determined. It is recommended that the TFCF be collected using actual test samples.

Determination of the test fixture insertion loss (G.3.7) may be omitted if the test fixture Q is similar to that of the intended application of the material or gasket being tested. In addition, where testing is being performed on multiple items to determine the relative SE, the test fixture calibration can be omitted as well.

Data may be collected at frequencies below the LUF of the test fixture. The data should be viewed with caution since measurement uncertainties increase rapidly below the LUF.

NOTE 1 The data collection procedure is one possible sequence of collecting the desired data. Depending on the type of receiver, RF source, and motion control used, many variations are possible that will result in the required data being collected. For example, one can use a spectrum analyser in max hold mode for a receiver and set it to record the received signal over a broad frequency range while stepping the chamber input frequency over the same range. If the dwell time at each frequency is such that the fixture tuner makes one revolution for each of the steps required to rotate the chamber tuner one revolution, then the required number of samples will be collected at each frequency.

NOTE 2 Unless the shielding material is non-reciprocal (e.g. magnetized ferrite or semiconductor), it is possible to get the same information by transmitting into the test fixture and measuring the amount of RF energy that leaks out of the test fixture.

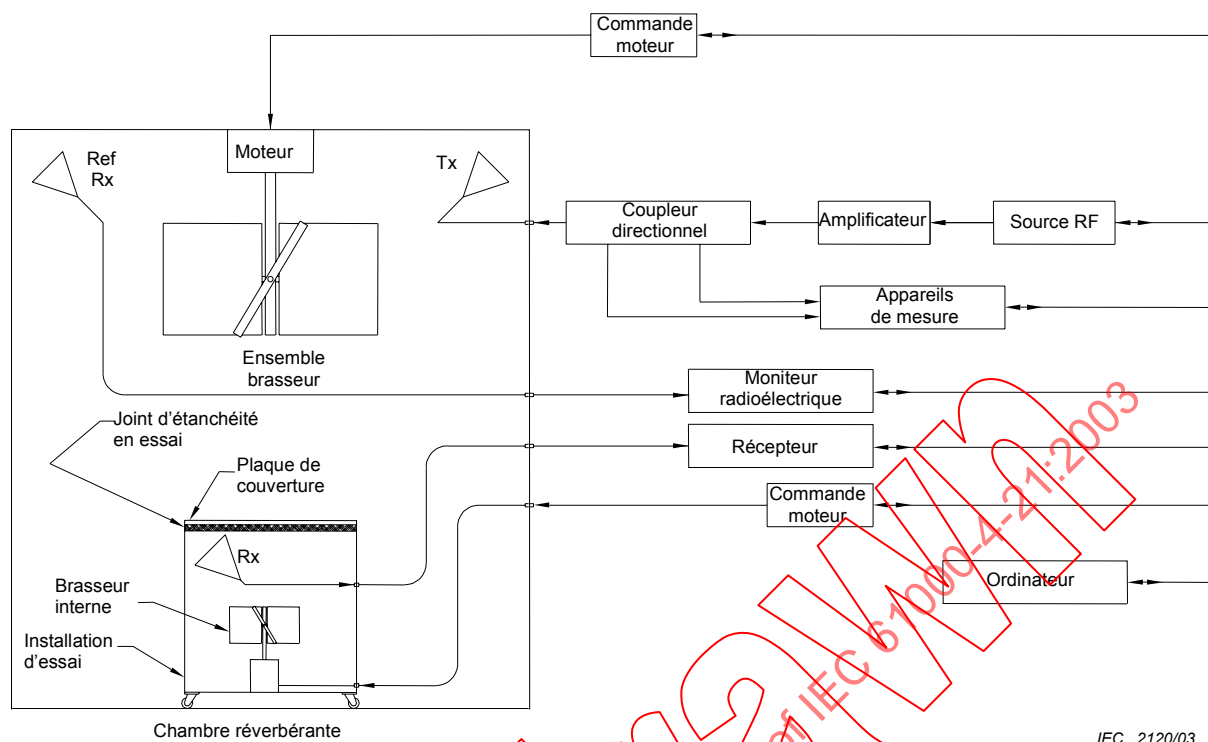
NOTE 3 It is possible to determine the approximate amount of energy absorbed by the material under test by comparing the TFCF with the material in place to the fixture TFCF with a solid aluminium plate in place of the material under test.

G.7 Documents de référence

- [1] CEI 61726, *Câbles, cordons, connecteurs et composants hyperfréquence passifs – Mesure de l'atténuation d'écran par la méthode de la chambre réverbérante*
- [2] CEI 60169-1-3, *Connecteurs pour fréquences radioélectriques – Première partie: Prescriptions générales et méthodes de mesure – Section trois – Méthodes d'essai et de mesures électriques: Efficacité d'écran*
- [3] CEI 61000-5-7, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 5-7: Guide d'installation et d'atténuation – Degrés de protection procurés par les enveloppes contre les perturbations électromagnétiques (Code EM)*
- [4] HATFIELD, MO. Shielding effectiveness measurements using mode-stirred chambers: A comparison of two approaches. *IEEE Transactions on EMC*, August 1988, Vol. 30, No. 3, p. 229-238.
- [5] FREYER, GJ. and HATFIELD, MO. Comparison of gasket transfer impedance and shielding effectiveness measurements, part I. *IEEE Int. Symposium on EMC*, Anaheim, CA, August 1992, p. 139-141.
- [6] HATFIELD, MO. and FREYER, GJ. Comparison of gasket transfer impedance and shielding effectiveness measurements – part II. *IEEE Int. Symposium on EMC*, Anaheim, CA, August 1992, p.142-148.
- [7] HOLLOWAY, CL., HILL, D., LADBURY, J., KOEPKE, G. and GARZIA, R. Shielding effectiveness measurements of materials in nested reverberation chambers" *IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility*, vol. 45, no. 1 (or 2), 2003.
- [8] ARNAUT, I.R. Operation of electromagnetic reverberation chambers with wave diffractors at relatively low frequencies. *IEEE Trans. EMC*, Nov. 2001, vol. 43, nr. 4, p. 637-653.
- [9] MARTIN, T., BÄCKSTRÖM, M. and LORÉN, J. Transmission cross section of apertures determined by measurements and FDTD simulations. *12th International Zurich Symposium and Technical Exhibition on Electromagnetic Compatibility*, February 18-20, 1997, p. 245-250.
- [10] QUINE, JP. Distortion of radiation pattern for leakage power transmitted through attenuation cover panels and shielding gasket – need for reverberation chamber measurement of total leakage power. *IEEE Int. Symposium on EMC*, Chicago, August 1994, p. 285-290.
- [11] MIL-STD-285, *Attenuation measurements for enclosures, electromagnetic shielding, for electronic test purposes, method of.*

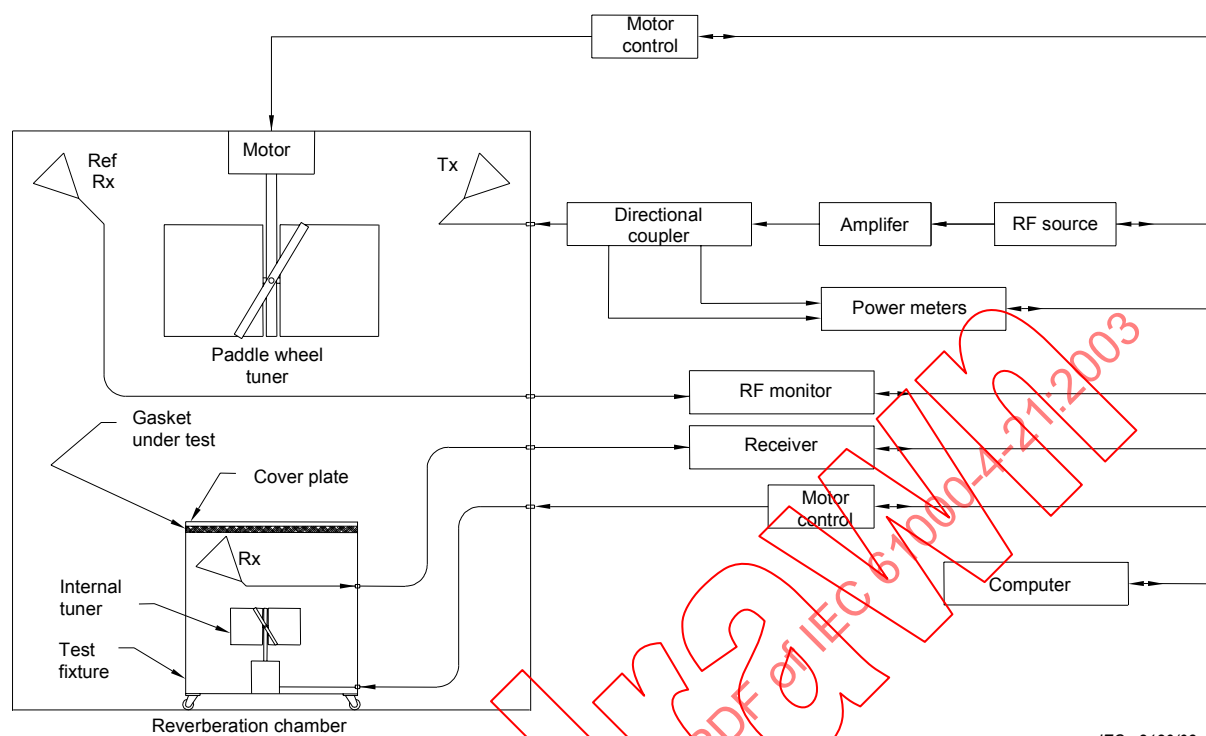
G.7 Reference documents

- [1] IEC 61726, *Cable assemblies, cables, connectors and passive microwave components – Screening attenuation measurement by the reverberation chamber method*
- [2] IEC 60169-1-3, *Radio-frequency connectors – Part 1: General requirements and measuring methods – Section Three: Electrical tests and measuring procedures: Screening effectiveness*
- [3] IEC 61000-5-7, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5-7: Installation and mitigation guidelines - Degrees of protection provided by enclosures against electromagnetic disturbances (EM code)*
- [4] HATFIELD, MO. *Shielding effectiveness measurements using mode-stirred chambers: A comparison of two approaches. IEEE Transactions on EMC*, August 1988, Vol. 30, No. 3, p. 229-238.
- [5] FREYER, GJ. and HATFIELD, MO. Comparison of gasket transfer impedance and shielding effectiveness measurements, part I. *IEEE Int. Symposium on EMC*, Anaheim, CA, August 1992, p. 139-141.
- [6] HATFIELD, MO. and FREYER, GJ. Comparison of gasket transfer impedance and shielding effectiveness measurements – part II. *IEEE Int. Symposium on EMC*, Anaheim, CA, August 1992, p.142-148.
- [7] HOLLOWAY, CL., HILL, D., LADBURY, J., KOEPKE, G. and GARZIA, R. *Shielding effectiveness measurements of materials in nested reverberation chambers” IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility*, vol. 45, no. 1 (or 2), 2003.
- [8] ARNAUT, LR. Operation of electromagnetic reverberation chambers with wave diffractors at relatively low frequencies. *IEEE Trans. EMC*, Nov. 2001, vol. 43, nr. 4, p. 637-653.
- [9] MARTIN, T., BÄCKSTRÖM, M. and LORÉN, J. Transmission cross section of apertures determined by measurements and FDTD simulations. *12th International Zurich Symposium and Technical Exhibition on Electromagnetic Compatibility*, February 18-20, 1997, p. 245-250.
- [10] QUINE, JP. Distortion of radiation pattern for leakage power transmitted through attenuation cover panels and shielding gasket – need for reverberation chamber measurement of total leakage power. *IEEE Int. Symposium on EMC*, Chicago, August 1994, p. 285-290.
- [11] MIL-STD-285, Attenuation measurements for enclosures, electromagnetic shielding, for electronic test purposes, method of.



IEC 2120/03

Figure G.1 – Montage type d'essai



IEC 2120/03

Figure G.1 – Typical test set-up

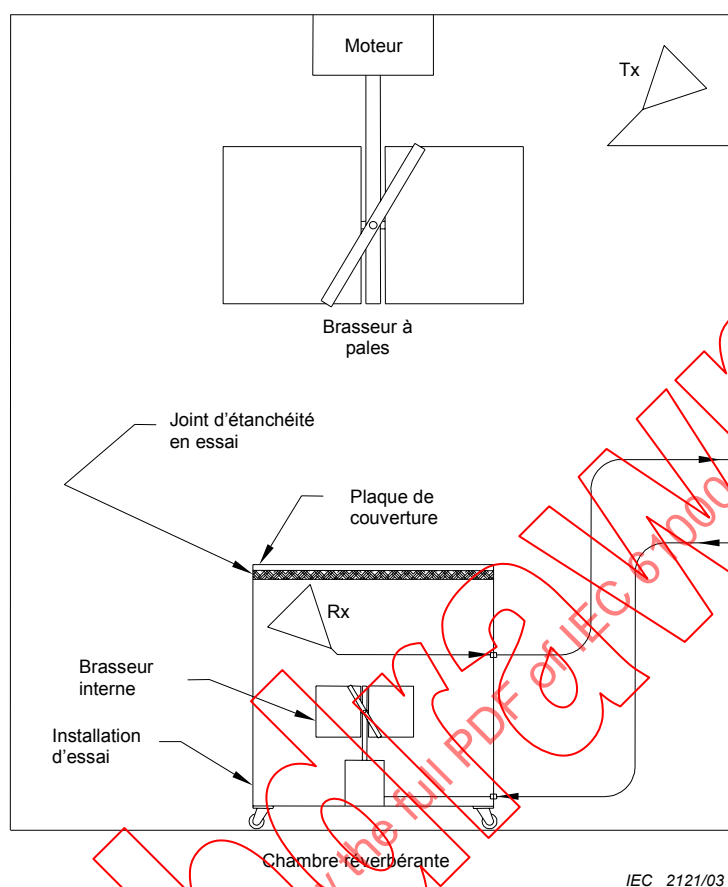


Figure G.2 – Installation d'essai type pour les essais de joint d'étanchéité et/ou de matériau

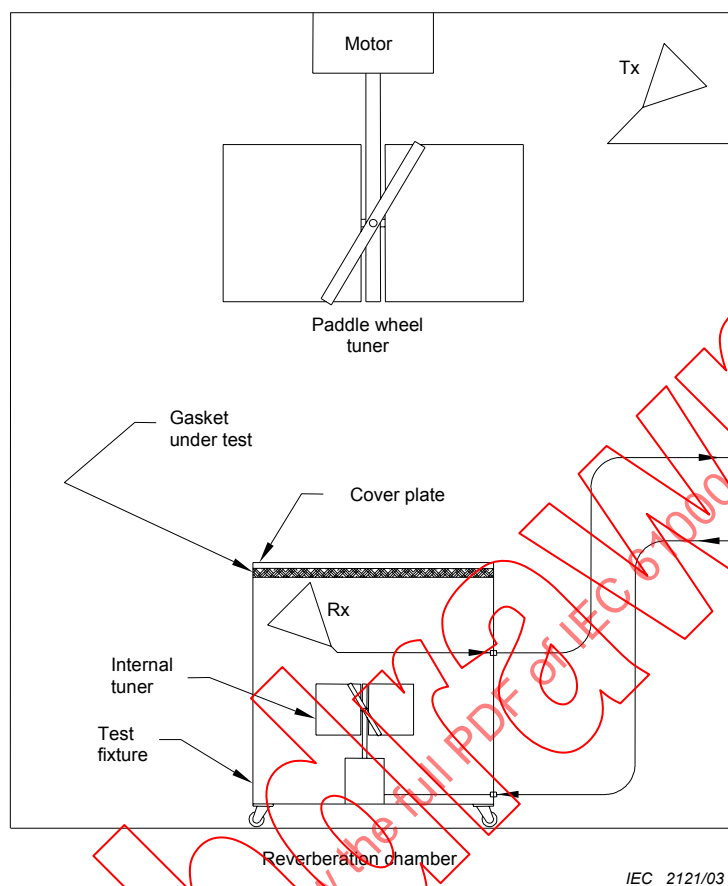
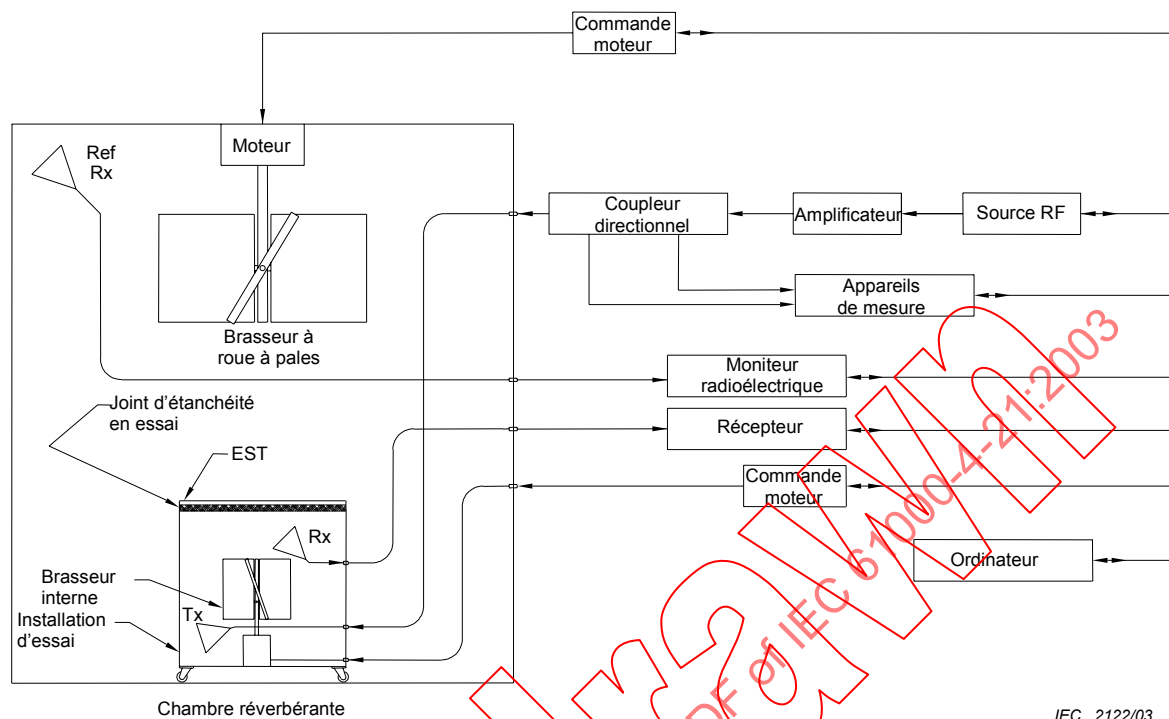


Figure G.2 – Typical test fixture installation for gasket and/or material testing



IEC 2122/03

Figure G.3 – Installation d'essai configurée pour l'étalonnage

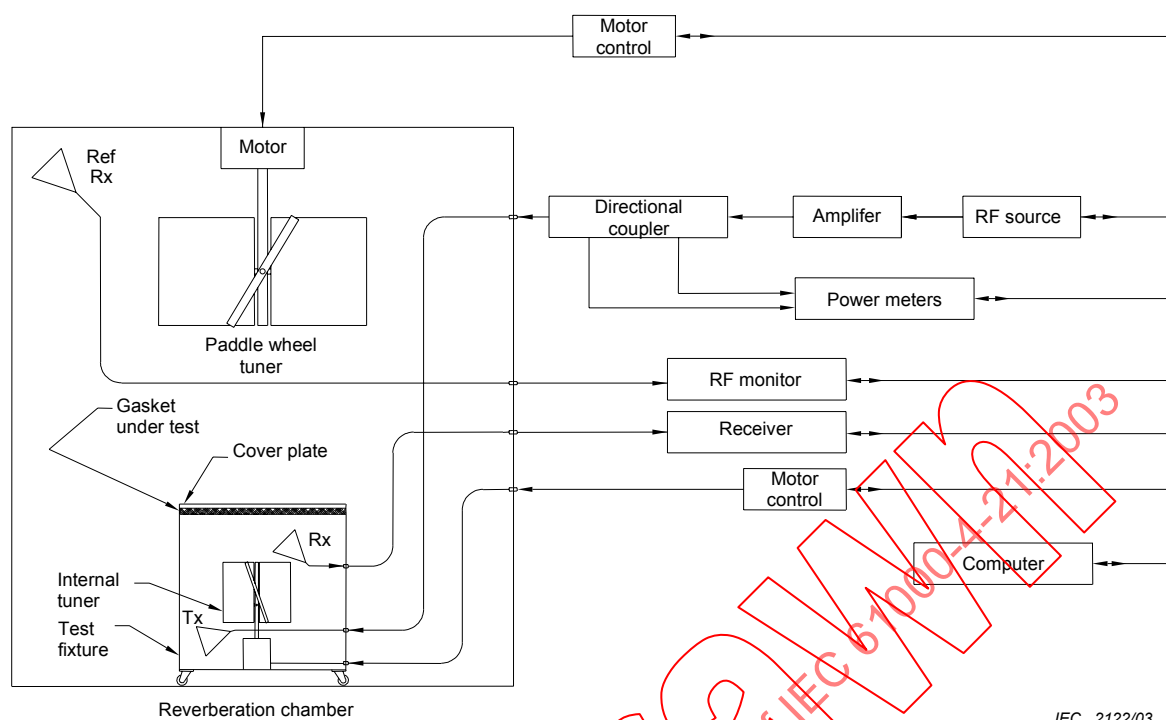


Figure G.3 – Test fixture configured for calibration

Annexe H (informative)

Mesures de l'efficacité de blindage

H.1 Vue d'ensemble

Comme pour les essais d'immunité aux perturbations rayonnées, il existe de nombreuses techniques d'essai disponibles pour évaluer les performances de blindage des joints d'étanchéité, des matériaux de fenêtre et d'autres configurations de systèmes conçus pour fournir un blindage [1]⁷⁾, [2], [3]. Généralement, une mesure d'efficacité de blindage compare l'environnement électromagnétique à l'intérieur d'une enceinte avec et sans le blindage en place. Les techniques d'essai d'efficacité de blindage sont décrites dans de nombreuses sources comme dans la norme MIL-STD-285. Malheureusement, de nombreuses mesures d'efficacité de blindage se distinguent par leur manque de reproductibilité et de possibilité de comparaison installation à installation. Certaines de ces divergences peuvent être attribuées à la technique d'essai tandis certaines autres sont imputables à l'élément en essai. De nombreux facteurs tels que la condition de mise en contact des surfaces et l'application d'un couple aux fixations peuvent affecter de manière notable la reproductibilité des mesures d'efficacité de blindage.

Pour beaucoup de conception de blindages (par exemple, joints d'étanchéité, fenêtres, etc.), les essais de réverbération utilisent une approche de type «chambre imbriquée» (par exemple, une chambre réverbérante à l'intérieur d'une chambre réverbérante). Une antenne de réception et un brasseur à roue à pales sont installés dans l'enceinte d'essai pour détecter toute énergie radioélectrique qui «fuit» dans l'enceinte. Il convient que les lecteurs qui ne connaissent pas bien l'utilisation des chambres réverbérantes pour les mesures de l'efficacité de blindage consultent une ou plusieurs des références [3], [4], [5].

Il est nécessaire de contrôler un grand nombre de facteurs d'un montage d'essai pour obtenir la reproductibilité d'un essai d'efficacité de blindage. En partant de l'hypothèse que l'on peut contrôler ces facteurs, l'uniformité de l'environnement électromagnétique dans une chambre réverbérante fournit un essai d'efficacité de blindage sous tous les angles d'exposition avec une excellente reproductibilité d'une installation à une autre.

H.2 Mesure de l'efficacité de blindage des matériels en essai

La mesure de l'efficacité de blindage est fondée sur la comparaison de la puissance du champ électromagnétique à l'extérieur du matériel en essai avec la puissance électromagnétique induite dans le matériel en essai. L'efficacité de blindage est définie comme suit:

$$EB = 10 \log \left(\frac{P_{\text{Ref}}}{P_{\text{EST}}} \right) \quad (\text{H.1})$$

où

P_{EST} est la puissance couplée au matériel en essai,

P_{Ref} est la puissance couplée à l'antenne de référence.

⁷⁾ Les chiffres entre crochets renvoient à l'Article H.6, Documents de référence, à la fin de cette annexe.

Annex H (informative)

Shielding effectiveness measurements of enclosures

H.1 Overview

As in radiated immunity testing, there are many test techniques available to evaluate the shielding performance of gaskets, window materials, and other system configurations designed to provide shielding [1]⁷⁾, [2], [3]. Typically, a SE measurement compares the EM environment inside an enclosure with and without the shielding design approach in place. Shielding effectiveness test techniques are described in many sources such as MIL-STD-285. Unfortunately, many shielding effectiveness measurements are noted for their lack of repeatability and facility-to-facility comparability. Some of these discrepancies can be attributed to the test technique while the test article itself causes others. Many factors such as the condition of mating surfaces and torquing of fasteners can markedly affect the repeatability of SE measurements.

For many shielding designs (e.g., gaskets, windows, etc.), reverberation testing uses a "nested chamber" approach (e.g., a reverberation chamber within a reverberation chamber). A receiving antenna and paddle wheel tuner are installed in the test enclosure to detect any RF energy that "leaks" into the enclosure. Readers who are unfamiliar with the use of reverberation chambers for SE measurements should review one or more of the several available references [3], [4], [5].

Many factors of a test set-up must be carefully controlled to achieve repeatability in a SE test. Assuming one can control these factors, the uniformity of the EM environment in a reverberation chamber provides an all aspect angle SE test with excellent repeatability from facility to facility.

H.2 Measurement of EUT shielding effectiveness

The measurement of shielding effectiveness is based on the comparison of the electromagnetic field power outside the EUT to the electromagnetic field power induced into the EUT. The shielding effectiveness is defined as:

$$SE = 10 \log \left(\frac{P_{\text{Ref}}}{P_{\text{EUT}}} \right) \quad (\text{H.1})$$

where

P_{EUT} is the power coupled to the equipment under test, and

P_{Ref} is the power coupled to the reference antenna.

⁷⁾ Figures in square brackets refer to Clause H.6, Reference documents, at the end of this annex.

H.3 Description du montage d'essai

Pour les essais des enceintes, il n'est pas nécessaire de construire une installation d'essai sur laquelle l'élément à évaluer est monté. L'élément à soumettre aux essais est instrumenté. Les essais en chambre réverbérante utilisent une approche de «chambre imbriquée» (par exemple, une chambre réverbérante à l'intérieur d'une chambre réverbérante). Une antenne de réception et un brasseur à roue à pales sont installés dans l'enceinte d'essai pour détecter toute énergie radioélectrique qui «fuit» dans l'enceinte. L'enceinte doit se situer au moins à $\lambda/4$ des parois de la chambre. Les enceintes conçues pour fonctionner sur table doivent être situées à $\lambda/4$ du plancher de la chambre. Les enceintes de sol doivent être sur un support diélectrique à 10 cm au-dessus du plancher.

H.3.1 Montage d'essai pour les enceintes

La taille de l'enceinte détermine la fréquence utilisable la plus faible à laquelle les données utilisables peuvent être obtenues. Pour la plupart des enceintes, cette fréquence peut être estimée en déterminant la fréquence à laquelle l'enceinte a environ 60 modes. La formule permettant de déterminer cette fréquence est représentée en H.3.6(1), Equation (H.2). L'enceinte peut être étalonnée en utilisant la procédure de B.1.1 si on le désire. L'enceinte doit être modifiée en installant une antenne de réception et un montage brasseur.

H.3.2 Chambre réverbérante

L'enceinte blindée doit être équipée d'accès multiples pour permettre la connexion de l'enceinte d'essai à l'équipement de mesure.

H.3.3 Antennes

Les antennes d'émission doivent être efficaces aux fréquences utilisées pour les essais. Il est important que cette efficacité des antennes d'émission dans l'enceinte soit aussi élevée que possible.

L'efficacité de l'antenne de réception doit être la même pour caractériser l'enceinte d'essai et pour collecter les données de blindage. Il est recommandé d'utiliser la même antenne. L'efficacité de l'antenne de réception n'est pas critique; cependant, pour assurer une dynamique correcte, il convient qu'elle soit aussi élevée que possible.

H.3.4 Montage d'essai

Les équipements et les composants d'essai principaux nécessaires à une mesure de l'efficacité de blindage automatisée sont représentés aux Figures H.1 et H.2. Noter qu'il pourrait être également nécessaire que les préamplificateurs, les amplificateurs et les autres composants, présentent la dynamique désirée.

H.3.5 Dispositifs de liaison

Les dispositifs de liaison sont généralement des lignes coaxiales à 50 Ω avec une efficacité d'écran supérieure d'au moins 10 dB à l'efficacité de blindage désiré.

Tous les dispositifs de liaison doivent être caractérisés en atténuation avant le début de l'essai. Ceci inclut les dispositifs de liaison pour l'antenne de réception du matériel en essai, la ou les antennes d'émission, et l'antenne de référence.