



INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



INTERNATIONAL SPECIAL COMMITTEE ON RADIO INTERFERENCE
COMITÉ INTERNATIONAL SPÉCIAL DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES

BASIC EMC PUBLICATION
PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM

**Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods –
Part 1-5: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antenna calibration
sites and reference test sites for 5 MHz to 18 GHz**

**Spécification des méthodes et des appareils de mesure des perturbations
radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques –
Partie 1-5: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux
perturbations radioélectriques – Emplacements d'étalonnage d'antenne et
emplacements d'essai de référence pour la plage comprise entre 5 MHz et 18 GHz**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE **XD**
CODE PRIX

ICS 33.100.10; 33.100.20

ISBN 978-2-8322-1932-4

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD.....	6
INTRODUCTION.....	8
1 Scope.....	10
2 Normative references	10
3 Terms, definitions and abbreviations	10
3.1 Terms and definitions.....	10
3.1.1 Antenna terms	11
3.1.2 Measurement site terms	13
3.1.3 Other terms	14
3.2 Abbreviations.....	15
4 Specifications and validation procedures for CALTS and REFTS from 5 MHz to 1 000 MHz.....	16
4.1 General.....	16
4.2 Antenna calibration test site (CALTS) specification	16
4.2.1 General	16
4.2.2 Normative specification.....	17
4.3 Test antenna specification	17
4.3.1 General	17
4.3.2 Details of the required characteristics of the test antenna	18
4.4 Antenna calibration test site validation procedure	20
4.4.1 General	20
4.4.2 Test set-up	20
4.4.3 Test frequencies and receive antenna heights	22
4.4.4 SIL measurements.....	22
4.4.5 Swept frequency SIL measurements.....	25
4.4.6 Identifying and reducing reflections from antenna supports.....	28
4.5 Antenna calibration test site acceptance criteria	28
4.5.1 General	28
4.5.2 Measurement uncertainties.....	28
4.5.3 Acceptance criteria	29
4.6 Calibration site with a metal ground plane for biconical antennas and tuned dipole antennas over the frequency range 30 MHz to 300 MHz	30
4.7 Validation of a REFTS	31
4.7.1 General	31
4.7.2 Validation for horizontal polarization	31
4.7.3 Validation for vertical polarization	31
4.8 Validation report for CALTS and REFTS	33
4.8.1 General	33
4.8.2 Validation report requirements.....	33
4.9 Site validation for the calibration of biconical and dipole antennas, and the biconical part of hybrid antennas in vertical polarization.....	34
4.10 Validation of a CALTS using vertical polarization from 5 MHz to 30 MHz for the calibration of monopole antennas.....	35
4.10.1 General	35
4.10.2 Uncertainty evaluation	36
5 Validation methods for a FAR from 30 MHz to 18 GHz.....	36
5.1 General.....	36

5.2	Validation procedure 1 GHz to 18 GHz.....	37
5.2.1	Power transfer between two antennas	37
5.2.2	Measurement procedure for validation from 1 GHz to 18 GHz.....	37
5.2.3	Analysis of results	39
5.2.4	Acceptance criterion	40
5.2.5	Chamber performance versus polarization	41
5.2.6	Uncertainty	41
5.3	Validation of a FAR for the calibration of antennas by alternative methods.....	42
5.3.1	General	42
5.3.2	Validation of a FAR from 30 MHz to 1 GHz	42
5.3.3	Alternative validation of a FAR for the calibration of LPDA antennas above 1 GHz.....	42
5.3.4	Alternative validation of a FAR applying time-domain measurements above 500 MHz.....	43
6	Validation methods for sites used for the calibration of directive antennas	43
6.1	Validation of the calibration site minimizing ground reflection by a height ≥ 4 m	43
6.1.1	Measurement procedure	43
6.1.2	Uncertainties	45
6.2	Validation of the calibration site minimizing ground reflection by use of absorber	46
7	Site validation by comparison of antenna factors, and application of RSM to evaluate the uncertainty contribution of a SAC site	47
7.1	Use of SAM for site validation by comparison of antenna factors	47
7.2	Application of RSM to evaluate the measurement uncertainty contribution of a calibration site comprising a SAC.....	48
Annex A	(informative) CALTS characteristics and validation	50
A.1	General.....	50
A.2	The reflecting plane	50
A.2.1	Reflecting plane construction.....	50
A.2.2	Plane-edge effects and plane surroundings	51
A.3	Ancillary equipment	51
A.4	Additional stringent CALTS validation testing	52
A.4.1	General	52
A.4.2	Antenna-height scan measurements	52
A.4.3	Frequency scan measurements	53
Annex B	(informative) Test antenna considerations.....	56
B.1	General.....	56
B.2	Example and verification of a test antenna.....	56
B.3	Determination of balun properties	58
B.3.1	The ideal lossless balun	58
B.3.2	Relations between balun properties and <i>S</i> -parameters	59
B.3.3	Insertion loss measurements	60
Annex C	(informative) Antenna and SIL theory.....	63
C.1	Analytical relations.....	63
C.1.1	General	63
C.1.2	Total length of the test antenna	64
C.1.3	Theoretical SIL	65
C.1.4	Calculation example	69

C.2	Computations by the MoM.....	72
C.2.1	General	72
C.2.2	Antenna input impedance	73
C.2.3	Total length of the test antenna	73
C.2.4	SIL computations.....	73
C.2.5	Antenna factor (AF) computations.....	80
Annex D (informative)	Pascal Program used in C.1.4.....	84
Annex E (informative)	Validation procedure checklist.....	88
Annex F (informative)	Evidence that field taper of VP site validation method has negligible effect on measured antenna factor.....	90
F.1	Investigation of vertical field taper.....	90
F.2	Calibration of biconical antennas using vertical polarization.....	90
Bibliography.....		92
Figure 1	– Schematic diagram of the test antenna	18
Figure 2	– Adjustment of a telescopic wire element to the length L_{we}	19
Figure 3	– Determination of $V_{r1}(f)$ or $V_{r2}(f)$	23
Figure 4	– Determination of $V_s(f)$ with the wire antennas in their specified positions	23
Figure 5	– Example NSIL: horizontal polarization, antenna height 2 m, separation 10 m	26
Figure 6	– NSIL of the four pairs of calculable dipoles at 10 m separation and using the alternative heights for the 600 MHz to 1 000 MHz pair according to Table 5.....	27
Figure 7	– Relation between the quantities used in the SIL acceptance criterion.....	29
Figure 8	– Set-up of site validation for EMC antenna calibrations above 1 GHz in a FAR, also showing distance between antenna phase centres.....	38
Figure 9	– Example plots of $[A_{i m}(d) - A_{i m}(d_{3 m})]$ in dB against distance in m at 1 GHz to 18 GHz in 1 GHz steps, corrected for LPDA and horn phase centres	40
Figure 10	– Example of antenna set-up for an LPDA antenna calibration in the frequency range above 200 MHz.....	44
Figure 11	– Example of SIL versus antenna height measured at 200 MHz with two LPDA antennas in vertical polarization at 2,5 m distance between their midpoints above the reflecting ground plane of an OATS.....	45
Figure 12	– Illustration of distances of transmit horn to omni-directional receive antenna and reflective building, and transmitted signal paths A and B	45
Figure B.1	– Example of a test antenna	58
Figure B.2	– Diagram of the measurement of S_{11} and S_{12} , and of S_{22} and S_{21} , when generator and load are interchanged	59
Figure B.3	– Schematic diagram for determination of the insertion loss $A_1(f)$	61
Figure B.4	– Schematic diagram for determination of the insertion loss $A_2(f)$	61
Figure C.1	– Network model for $A_{i c}$ calculations	66
Figure C.2	– Equivalent circuit to the network in Figure C.1	66
Figure C.3	– Definition of the mutual couplings, feed-terminal voltages and antenna currents of the antennas above the reflecting plane and their images	67
Figure C.4	– Cascade combination of the baluns and the site two-port network	74
Figure C.5	– Flow chart showing how SIL is obtained by combining the measured balun S -parameters and the NEC calculated S -parameters of the site two-port network	75
Figure F.1	– Field uniformity with height step 1 m to 2,6 m, normalized to field at 1,8 m height; monocone at 15 m range.....	90

Figure F.2 – Averaging of height steps, SAM, B.4.2 in CISPR 16-1-6:2014	91
Table 1 – Summary of site validation methods by subclause number	9
Table 2 – Maximum tolerances for $d = 10$ m	18
Table 3 – Frequency and fixed receive antenna height data for SIL measurements at 24 frequencies, with $h_t = 2$ m and $d = 10$ m [specified in 4.4.2.3 and 4.4.2.4]	22
Table 4 – RSM frequency steps	25
Table 5 (informative) – Antenna heights for SIL measurements.....	26
Table 6 – Antenna set-up for the SIL measurement of the calibration site using horizontally polarized resonant dipole antennas (see also 4.4.4 for SIL at 250 MHz and 300 MHz)	31
Table 7 – Antenna heights	32
Table 8 – Example measurement uncertainty budget for SIL between two monopole antennas.....	36
Table 9 – Example measurement uncertainty budget for FAR validation method at and above 1 GHz.....	41
Table 10 – Example measurement uncertainty budget for the site validation method in 6.1.1	46
Table 11 – Maximum tolerances for validation set-up at $d = 10$ m	49
Table A.1 – Example of fixed-length calculable dipole antennas and their subdivision of the frequency range 30 MHz to 1 000 MHz	51
Table A.2 – Receive antenna heights and centre frequencies	54
Table C.1 – Example numerical (analytical) calculation of L_a, A_{iC} (see C.1.4.2)	69
Table C.2 – Example numerical (analytical) calculation of ΔA_t (see C.1.4.3)	71
Table C.3 – Example numerical (analytical) calculation of h_{rC} and Δh_{rt}	72
Table C.4 – Example numerical (analytical) calculation of f_C and Δf_t	72
Table C.5 – MoM example calculation of A_{iC} for vertical polarization, $h_t = 2$ m, except $h_t = 2,75$ m at 30 MHz, 35 MHz and 40 MHz	78

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
INTERNATIONAL SPECIAL COMMITTEE ON RADIO INTERFERENCE

**SPECIFICATION FOR RADIO DISTURBANCE AND IMMUNITY
MEASURING APPARATUS AND METHODS –**

**Part 1-5: Radio disturbance and immunity measuring apparatus –
Antenna calibration sites and reference test sites for 5 MHz to 18 GHz**

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, Publicly Available Specifications (PAS) 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 itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 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 CISPR 16-1-5 has been prepared by CISPR subcommittee A: Radio-interference measurements and statistical methods.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2003, and its Amendment 1 (2012). It constitutes a technical revision.

It has the status of a basic EMC publication in accordance with IEC Guide 107, *Electromagnetic compatibility – Guide to the drafting of electromagnetic compatibility publications*.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- site validation methods for other sites covered in CISPR 16-1-6 are added;
- smaller step sizes are specified for swept-frequency measurements;
- the minimum ground plane size is increased;
- other miscellaneous technical and editorial refinements are included.

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

FDIS	Report on voting
CISPR/A/1086A/FDIS	CISPR/A/1097/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.

A list of all parts of the CISPR 16 series can be found, under the general title *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods*, on the IEC website.

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

The committee has decided that the contents of this amendment and the base publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "http://webstore.iec.ch" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

INTRODUCTION

This standard describes validation procedures for Calibration Test Sites (CALTS) that are used to calibrate antennas in the frequency range 5 MHz to 18 GHz. The associated antenna calibration procedures are described in CISPR 16-1-6.

Due to problems with suppressing ground reflections in the frequency range 30 MHz to 200 MHz, the main function of a reflecting ground plane is for the calibration of dipole, biconical, and hybrid antennas over the frequency range for which their H-plane patterns are uniform. The free-space antenna factor, F_a , for dipole antennas may be measured in a free-space environment above 200 MHz. Because of the difficulty of reducing reflections from objects that surround an antenna, and in particular the ground surface, a flat metal ground plane is used to ensure reproducibility of results and to enable the ground reflected signal to be precisely removed mathematically.

Requirements for the construction of a CALTS are given in Annex A. The specifications and validation procedures for a CALTS are given in Clause 4. The most precise way of validating a CALTS is to use calculable dipole antennas, which are the basis of the validation procedure in this standard. The design principles of calculable antennas are given in Annex B, and the theory and methods for calculating site insertion loss (SIL) are given in Annex C and Annex D.

Validation procedures for other antenna calibration sites are given in Clause 5 through Clause 7. Where an antenna calibration method utilizes the ground reflection, a CALTS is required. The validation methods are summarized in Table 1 with reference to the associated antenna calibration methods in CISPR 16-1-6.

All site validation methods involve the measurement of SIL between two antennas. It is critical that the validation of the site itself not be unduly compromised by reflections from antenna supports; see A.3 for associated guidance.

Table 1 – Summary of site validation methods by subclause number

Calibration site(s)	CISPR 16-1-5 validation method(s) Subclause	CISPR 16-1-6:2014 calibration method(s) Subclause	Frequency range MHz	Antenna type(s)	Polarization	Notes
1 CALTS for monopoles	4.10	G.1	5 to 30	Monopole	VP	With tolerance of ± 1 dB
2 CALTS or SAC ^a	4, 7.2	8.4	30 to 1000	Biconical, LPDA, hybrid	HP	SSM
3 CALTS or SAC	4	9.2.2	30 to 300	Biconical, hybrid, dipole	HP or VP	At large height or with absorber on ground
4 FAR	5.3.2	9.2.2	30 to 300 60 to 1000	Biconical, hybrid, dipole Biconical, dipole	HP	
5 REFTS CALTS	4.7 4.9	9.3	30 to 300	Biconical, hybrid	VP	
6 Free space	6.1	9.4.2 9.4.3	200 to 18000	LPDA, hybrid, horn	VP	HP with greater height
7 Free space	6.2	9.4.4	200 to 18000	LPDA, hybrid, horn	VP (or HP)	With absorber on ground
8 FAR	5.3.3	9.5	1000 to 18000	Horn, LPDA	HP or VP	
9 FAR	5.3.2	9.2 and 9.4	140 to 1000	LPDA, hybrid	HP or VP	
10 CALTS	4.6	B.4, B.5	30 to 300	Biconical, dipole	HP	
11 Transfer of properties of a validated site to a site not validated by methods in other clauses	7.1 (excluding 5.3 FAR)	A.9.4	30 and above	Any, but not monopole or loop	HP or VP	Use primarily for SAM and FAR, for particular antenna types and frequencies, except 5.3
^a A CALTS is well specified as being free of reflecting obstacles, and if the antenna supports have negligible reflections the ground plane itself is likely to provide results that agree with the theoretical performance to better than 0,5 dB. However for a Semi Anechoic Chamber (SAC), it is important that the entire allowed acceptance criterion of 1 dB is not taken up by wall reflections, leaving no latitude for other uncertainty components such as reducing reflections from masts and cables.						

SPECIFICATION FOR RADIO DISTURBANCE AND IMMUNITY MEASURING APPARATUS AND METHODS –

Part 1-5: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antenna calibration sites and reference test sites for 5 MHz to 18 GHz

1 Scope

This part of CISPR 16 specifies the requirements for calibration sites in the frequency range 5 MHz to 18 GHz used to perform antenna calibrations according to CISPR 16-1-6. It also specifies the requirements for reference test sites (REFTS) that are used for the validation of compliance test sites (COMTS) in the frequency range 30 MHz to 1000 MHz according to CISPR 16-1-4.

It has the status of a basic EMC standard in accordance with IEC Guide 107, *Electromagnetic compatibility – Guide to the drafting of electromagnetic compatibility publications*.

Measurement instrumentation specifications are given in CISPR 16-1-1 [1]¹ and CISPR 16-1-4. Further information and background on uncertainties in general is given in CISPR 16-4 [3], which can also be helpful in establishing uncertainty estimates for the calibration processes of antennas and site validation measurements.

2 Normative references

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

CISPR 16-1-4:2010, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antennas and test sites for radiated disturbance measurements*
CISPR 16-1-4:2010/AMD 1:2012

CISPR 16-1-6:2014, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-6: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – EMC antenna calibration*

IEC 60050 (all parts), *International Electrotechnical Vocabulary* (available at <<http://www.electropedia.org>>)

¹ Numbers in square brackets refer to the bibliography.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	98
INTRODUCTION.....	100
1 Domaine d'application	102
2 Références normatives	102
3 Termes, définitions et abréviations	103
3.1 Termes et définitions	103
3.1.1 Termes relatifs à l'antenne	103
3.1.2 Termes de l'emplacement de mesure.....	105
3.1.3 Autres termes	106
3.2 Abréviations.....	107
4 Spécifications et procédures de validation des CALTS et des REFTS dans la plage comprise entre 5 MHz et 1 000 MHz.....	108
4.1 Généralités	108
4.2 Spécification d'un emplacement d'essai pour l'étalonnage d'une antenne (CALTS).....	109
4.2.1 Généralités.....	109
4.2.2 Spécification normative.....	109
4.3 Spécification de l'antenne d'essai	109
4.3.1 Généralités.....	109
4.3.2 Détails des caractéristiques exigées de l'antenne d'essai	110
4.4 Procédure de validation d'un emplacement d'essai pour l'étalonnage des antennes.....	112
4.4.1 Généralités.....	112
4.4.2 Montage d'essai	113
4.4.3 Fréquences d'essai et hauteurs des antennes de réception	114
4.4.4 Mesures du SIL	115
4.4.5 Mesures du SIL à balayage de fréquence	117
4.4.6 Identification et réduction des réflexions des supports d'antenne.....	121
4.5 Critères d'acceptation de l'emplacement d'essai pour l'étalonnage des antennes.....	121
4.5.1 Généralités.....	121
4.5.2 Incertitudes de mesure	122
4.5.3 Critères d'acceptation	122
4.6 Emplacement d'étalonnage à plan de sol métallique pour les antennes biconiques et les antennes doublets accordées sur une gamme de fréquences comprise entre 30 MHz et 300 MHz	123
4.7 Validation d'un REFTS.....	124
4.7.1 Généralités.....	124
4.7.2 Validation pour la polarisation horizontale.....	124
4.7.3 Validation pour la polarisation verticale.....	125
4.8 Rapport de validation pour le CALTS et le REFTS	126
4.8.1 Généralités.....	126
4.8.2 Exigences pour le rapport de validation	126
4.9 Validation de l'emplacement pour l'étalonnage des antennes biconiques et des antennes doublets, et de la partie biconique des antennes hybrides en polarisation verticale.....	128
4.10 Validation d'un CALTS à l'aide d'une polarisation verticale entre 5 MHz et 30 MHz pour l'étalonnage d'antennes unipolaires.....	129

4.10.1	Généralités	129
4.10.2	Évaluation de l'incertitude	129
5	Méthodes de validation d'une FAR entre 30 MHz et 18 GHz	130
5.1	Généralités	130
5.2	Procédure de validation entre 1 GHz et 18 GHz	131
5.2.1	Transfert de puissance entre deux antennes.....	131
5.2.2	Procédure de mesure pour la validation entre 1 GHz et 18 GHz	131
5.2.3	Analyse des résultats	133
5.2.4	Critère d'acceptation.....	135
5.2.5	Performances de la chambre en fonction de la polarisation	135
5.2.6	Incertitudes.....	135
5.3	Validation d'une FAR pour l'étalonnage des antennes par d'autres méthodes	136
5.3.1	Généralités	136
5.3.2	Validation d'une enceinte complètement anéchoïque entre 30 MHz et 1 GHz	137
5.3.3	Autre validation d'une FAR pour l'étalonnage des antennes LPDA au-dessus de 1 GHz	137
5.3.4	Autre validation d'une FAR appliquant les mesures dans le domaine temporel au-dessus de 500 MHz.....	138
6	Méthodes de validation des emplacements pour l'étalonnage des antennes directives.....	138
6.1	Validation de l'emplacement d'étalonnage en limitant la réflexion sur le sol par une hauteur ≥ 4 m.....	138
6.1.1	Procédure de mesure	138
6.1.2	Incertitudes.....	140
6.2	Validation de l'emplacement d'étalonnage en limitant la réflexion sur le sol à l'aide d'un absorbant.....	141
7	Validation d'emplacement par comparaison des facteurs d'antenne et application de la méthode d'emplacement de référence (RSM) pour évaluer l'incidence d'incertitude d'un emplacement SAC.....	142
7.1	Utilisation de la méthode d'antenne normalisée (SAM) pour la validation d'emplacement par comparaison des facteurs d'antenne.....	142
7.2	Application de la méthode d'emplacement de référence (RSM) pour évaluer l'incidence d'incertitude de mesure d'un emplacement d'étalonnage composé d'une enceinte semi-anéchoïque.....	143
Annexe A (informative)	Caractéristiques et validation du CALTS.....	146
A.1	Généralités	146
A.2	Plan réfléchissant	146
A.2.1	Construction du plan réfléchissant	146
A.2.2	Effets des bords du plan et environnement du plan.....	147
A.3	Matériels associés	148
A.4	Essai de validation rigoureux du CALTS supplémentaire.....	148
A.4.1	Généralités	148
A.4.2	Mesures par balayage en hauteur de l'antenne.....	148
A.4.3	Mesures par balayage en fréquence	150
Annexe B (informative)	Considérations sur l'antenne d'essai	152
B.1	Généralités	152
B.2	Exemple et vérification d'une antenne d'essai	152
B.3	Détermination des propriétés du symétriseur	154
B.3.1	Symétriseur idéal sans perte	154
B.3.2	Relations entre les propriétés du symétriseur et les paramètres S	156

B.3.3	Mesure des pertes d'insertion.....	157
Annexe C (informative)	Théorie des antennes et du SIL.....	159
C.1	Relations analytiques.....	159
C.1.1	Généralités.....	159
C.1.2	Longueur totale de l'antenne d'essai.....	160
C.1.3	SIL théorique.....	161
C.1.4	Exemple de calculs.....	165
C.2	Calculs selon la méthode des moments.....	169
C.2.1	Généralités.....	169
C.2.2	Impédance d'entrée de l'antenne.....	170
C.2.3	Longueur totale de l'antenne d'essai.....	170
C.2.4	Calculs du SIL.....	170
C.2.5	Calculs du facteur d'antenne (FA).....	178
Annexe D (informative)	Programme Pascal utilisé en C.1.4.....	183
Annexe E (informative)	Liste de vérification pour la procédure de validation.....	187
Annexe F (informative)	Éléments démontrant que la conicité du champ de la méthode de validation d'emplacement à polarisation verticale a un effet négligeable sur le facteur d'antenne mesuré.....	189
F.1	Examen de la conicité du champ vertical.....	189
F.2	Étalonnage des antennes biconiques à polarisation verticale.....	189
Bibliographie.....		191
Figure 1 –	Diagramme schématique de l'antenne d'essai.....	110
Figure 2 –	Réglage d'un élément filaire télescopique à la longueur L_{we}	111
Figure 3 –	Détermination de $V_{r1}(f)$ ou $V_{r2}(f)$	115
Figure 4 –	Détermination de $V_S(f)$, les antennes filaires étant dans leur position spécifiée.....	116
Figure 5 –	Exemple de NSIL: polarisation horizontale, hauteur d'antenne de 2 m, séparation de 10 m.....	119
Figure 6 –	NSIL de quatre paires de doublets calculés séparés de 10 m et utilisant les hauteurs alternatives de la paire 600 MHz à 1 000 MHz conformément au Tableau 5.....	120
Figure 7 –	Relation entre les grandeurs utilisées dans le critère d'acceptation du SIL.....	123
Figure 8 –	Montage de validation d'emplacement des étalonnages d'antenne CEM au-dessus de 1 GHz dans une enceinte complètement anéchoïque, montrant également la distance entre les centres de phase des antennes.....	132
Figure 9 –	Exemples de tracé de $[A_{im}(d) - A_{im}(d_3 m)]$ en dB en fonction de la distance en m entre 1 GHz et 18 GHz par incréments de 1 GHz, corrigé pour les centres de phase des antennes LPDA et des antennes à cornet.....	135
Figure 10 –	Exemple de montage d'antenne pour un étalonnage d'antenne LPDA dans la gamme de fréquences au-dessus de 200 MHz.....	139
Figure 11 –	Exemple de SIL par rapport à la hauteur d'antenne mesurée à 200 MHz avec deux antennes LPDA à polarisation verticale, à 2,5 m de distance entre leurs points médians au-dessus du plan de sol réfléchissant d'un OATS.....	140
Figure 12 –	Illustration des distances entre une antenne cornet d'émission et une antenne de réception omnidirectionnelle et un bâtiment réfléchissant, et les chemins de signal A et B.....	140
Figure B.1 –	Exemple d'antenne d'essai.....	154
Figure B.2 –	Diagramme de la mesure de S_{11} et S_{12} , et de S_{22} et S_{21} , lorsque le générateur et la charge sont permutés.....	155

Figure B.3 – Schéma de principe pour la détermination de la perte d'insertion $A_1(f)$	157
Figure B.4 – Schéma de principe pour la détermination de la perte d'insertion $A_2(f)$	157
Figure C.1 – Modèle de réseau pour les calculs de A_{jC}	162
Figure C.2 – Circuit équivalent au réseau de la Figure C.1	162
Figure C.3 – Définition des couplages mutuels, tensions aux bornes d'alimentation et courants dans les antennes, pour les antennes situées au-dessus du plan réfléchissant et pour leurs images	163
Figure C.4 – Combinaison en cascade des symétriseurs et du réseau à deux accès de l'emplacement.....	171
Figure C.5 – Organigramme présentant la manière d'obtenir le SIL en combinant les paramètres S mesurés du symétriseur et les paramètres S calculés par le NEC du réseau à deux accès de l'emplacement.....	173
Figure F.1 – Uniformité du champ à des hauteurs comprises entre 1 m et 2,6 m, normalisée en fonction du champ à 1,8 m de haut. Antenne monoconique à gamme de 15 m	189
Figure F.2 – Moyenne des hauteurs, SAM, B.4.2 de la CISPR 16-1-6:2014.....	190
Tableau 1 – Récapitulatif des méthodes de validation d'emplacement par numéro de paragraphe	101
Tableau 2 – Tolérances maximales pour $d = 10$ m	111
Tableau 3 – Données de fréquence et de hauteur d'antenne de réception fixe pour les mesures du SIL aux 24 fréquences, avec $h_t = 2$ m et $d = 10$ m [spécifiés en 4.4.2.3 et 4.4.2.4]	114
Tableau 4 – Pas de fréquence RSM.....	118
Tableau 5 (informatif) – Hauteurs d'antenne pour les mesures du SIL.....	119
Tableau 6 – Montage de l'antenne pour la mesure du SIL de l'emplacement d'étalonnage à l'aide d'antennes doublets résonantes à polarisation horizontale (voir 4.4.4 pour le SIL à 250 MHz et 300 MHz).....	124
Tableau 7 – Hauteurs d'antenne	125
Tableau 8 – Exemple de budget d'incertitude de mesure du SIL entre deux antennes unipolaires.....	130
Tableau 9 – Exemple de budget d'incertitude de mesure pour la méthode de validation de la FAR à 1 GHz et au-dessus.....	136
Tableau 10 – Exemple de budget d'incertitude de mesure de la méthode de validation d'emplacement de 6.1.1	141
Tableau 11 – Tolérances maximales pour le montage de validation à $d = 10$ m.....	145
Tableau A.1 – Exemple d'antennes doublets calculés de longueur fixe et de la subdivision de leur gamme de fréquences comprise entre 30 MHz et 1 000 MHz	147
Tableau A.2 – Hauteurs et fréquences centrales de l'antenne de réception.....	150
Tableau C.1 – Exemple de calcul numérique (analytique) de L_a , A_{jC} (voir C.1.4.2)	166
Tableau C.2 – Exemple de calcul numérique (analytique) de ΔA_t (voir C.1.4.3).....	168
Tableau C.3 – Exemple de calcul numérique (analytique) de h_{rC} et Δh_{rt}	169
Tableau C.4 – Exemple de calcul numérique (analytique) de f_C et Δf_t	169
Tableau C.5 – Exemple de calcul par la méthode des moments de A_{jC} pour la polarisation verticale $h_t = 2$ m, à l'exception de $h_t = 2,75$ m à 30 MHz, 35 MHz et 40 MHz	176

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
COMITÉ INTERNATIONAL SPÉCIAL DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES

**SPÉCIFICATION DES MÉTHODES ET DES APPAREILS DE MESURE
DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES ET DE L'IMMUNITÉ
AUX PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES –**

**Partie 1-5: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques
et de l'immunité aux perturbations radioélectriques –
Emplacements d'étalonnage d'antenne et emplacements
d'essai de référence pour la plage comprise entre 5 MHz et 18 GHz**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC 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, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC 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 l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 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 l'IEC, 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 l'IEC, 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 l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, 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 l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CISPR 16-1-5 a été établie par le sous-comité A du CISPR: Mesures des perturbations radioélectriques et méthodes statistiques.

Cette seconde édition annule et remplace la première édition publiée en 2003 et son Amendement 1 (2012). Elle constitue une révision technique.

Elle a le statut de publication fondamentale en CEM en accord avec le Guide 107 de l'IEC, *Compatibilité électromagnétique – Guide pour la rédaction des publications sur la compatibilité électromagnétique*.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- des méthodes de validation d'autres emplacements couverts dans le CISPR 16-1-6 sont ajoutées;
- des tailles de pas plus petites sont spécifiées pour les mesures par balayage de fréquence;
- la dimension minimale du plan de sol a été augmentée;
- d'autres améliorations techniques et éditoriales diverses sont incluses.

Le texte de la présente Norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
CISPR/A/1086A/FDIS	CISPR/A/1097/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.

Une liste de toutes les parties du CISPR 16, présentées sous le titre général *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques* peut être consultée sur le site web de l'IEC.

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

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "http://webstore.iec.ch" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

La présente Norme décrit les procédures de validation des emplacements d'étalonnage (calibration test site, CALTS, en anglais) utilisés pour étalonner les antennes dans la gamme de fréquences comprise entre 5 MHz et 18 GHz. Les procédures d'étalonnage d'antenne associées sont décrites dans la CISPR 16-1-6.

Compte tenu des problèmes liés à la suppression des réflexions sur le sol dans la gamme de fréquences comprise entre 30 MHz et 200 MHz, la principale fonction d'un plan de sol réfléchissant concerne l'étalonnage d'antennes doublets, biconiques et hybrides sur la gamme de fréquences pour lesquelles leurs caractéristiques de plan H sont uniformes. Le facteur d'antenne en espace libre, F_a , des antennes doublets peut être mesuré dans un environnement en espace libre au-dessus de 200 MHz. Compte tenu de la difficulté à réduire les réflexions des objets entourant une antenne, et en particulier la surface du sol, un plan de sol métallique plat est utilisé pour assurer la reproductibilité des résultats et permettre d'éliminer précisément et de manière mathématique le signal réfléchi sur le sol.

Les exigences de construction d'un CALTS sont données à l'Annexe A. Les spécifications et procédures de validation d'un CALTS sont données à l'Article 4. Le moyen le plus précis de valider un CALTS consiste à utiliser des antennes doublets calculées, qui sont à la base de la procédure de validation présentée dans cette Norme. Les principes de conception des antennes calculées sont donnés à l'Annexe B, et la théorie et les méthodes de calcul de l'affaiblissement d'insertion de l'emplacement (SIL) sont données à l'Annexe C et à l'Annexe D.

Les procédures de validation des autres emplacements d'étalonnage d'antenne sont données de l'Article 5 à l'Article 7. Si une méthode d'étalonnage d'antenne utilise la réflexion sur le sol, un CALTS est exigé. Les méthodes de validation sont résumées au Tableau 1 avec une référence aux méthodes d'étalonnage d'antenne associées dans le CISPR 16-1-6.

Toutes les méthodes de validation d'emplacement impliquent de mesurer l'affaiblissement d'insertion de l'emplacement entre deux antennes. Il est essentiel que des réflexions provenant de supports d'antenne ne compromettent pas outre mesure la validation de l'emplacement lui-même. Voir A.3 pour les lignes directrices connexes.

Tableau 1 – Récapitulatif des méthodes de validation d'emplacement par numéro de paragraphe

Emplacement(s) d'étalonnage	Méthode(s) de validation CISPR 16-1-5 Paragraphe	Méthode(s) d'étalonnage CISPR 16-1-6:2014 Paragraphe	Gamme de fréquences MHz	Type(s) d'antenne	Polarisation	Notes
1 CALTS pour les unipolaires	4.10	G.1	5 à 30	Unipolaire	PV	Avec une tolérance de ± 1 dB
2 CALTS ou SAC ^a	4, 7.2	8,4	30 à 1 000	Biconique, LPDA, hybride	PH	SSM
3 CALTS ou SAC	4	9.2.2	30 à 300	Biconique, hybride, doublet	PH ou PV	Grande hauteur ou avec absorbant au sol
4 FAR	5.3.2	9.2.2	30 à 300 60 à 1 000	Biconique, hybride, doublet Biconique, doublet	PH	
5 REFTS CALTS	4.7 4.9	9,3	30 à 300	Biconique, hybride	PV	
6 Espace libre	6.1	9.4.2 9.4.3	200 à 18 000	LPDA, hybride, cornet	PV	PH avec hauteur plus importante
7 Espace libre	6.2	9.4.4	200 à 18 000	LPDA, hybride, cornet	PV (ou PH)	Avec absorbant au sol
8 FAR	5.2.2 5.3.3	9,5	1 000 à 18 000	Cornet, LPDA	PH ou PV	
9 FAR	5.3.2	9.2 et 9.4	140 à 1 000	LPDA, hybride	PH ou PV	
10 CALTS	4.6	B.4, B.5	30 à 300	Biconique, doublet	PH	
11 Transfert de propriétés d'un emplacement validé vers un emplacement non validé par les méthodes d'autres articles	7.1 (à l'exclusion de la 5.3 FAR)	A.9.4	30 et au-dessus	Tous, sauf l'unipolaire ou la boucle	PH ou PV	Utilisé principalement pour la SAM et la FAR, pour les types d'antenne et les fréquences particuliers, sauf 5.3

^a Un CALTS est bien spécifié comme étant dépourvu d'obstacles réfléchissants, et si les supports d'antenne présentent des réflexions négligeables, le plan de sol lui-même est susceptible de donner des résultats conformes aux performances théoriques supérieures à 0,5 dB. Toutefois, s'agissant d'une Chambre Semi Anechoïque (SAC), il est important que l'ensemble du critère d'acceptation admis de 1 dB ne soit pas repris par les réflexions murales, ne laissant aucune latitude à d'autres composantes d'incertitude, telles que la réduction des réflexions provenant des mâts et des câbles.

SPÉCIFICATION DES MÉTHODES ET DES APPAREILS DE MESURE DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES ET DE L'IMMUNITÉ AUX PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES –

Partie 1-5: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Emplacements d'étalonnage d'antenne et emplacements d'essai de référence pour la plage comprise entre 5 MHz et 18 GHz

1 Domaine d'application

La présente partie de la CISPR 16 spécifie les exigences relatives aux emplacements d'étalonnage dans la gamme de fréquences comprise entre 5 MHz et 18 GHz utilisée pour étalonner l'antenne conformément à la CISPR 16-1-6. Elle spécifie également les exigences relatives aux emplacements d'essai de référence (REFTS) utilisés pour valider les emplacements d'essais de conformité (COMTS) dans la gamme de fréquences comprises entre 30 MHz et 1 000 MHz conformément à la CISPR 16-1-4.

Elle a le statut de Norme fondamentale en CEM en accord avec le Guide 107 de l'IEC, *Compatibilité électromagnétique – Guide pour la rédaction des publications sur la compatibilité électromagnétique*.

Les spécifications de l'instrumentation de mesure sont données dans la CISPR 16-1-1 [1]¹ et la CISPR 16-1-4. Des informations supplémentaires et générales sur les incertitudes sont données dans la CISPR 16-4 [3], qui peut également être utile pour établir les estimations de l'incertitude pour les processus d'étalonnage des antennes et les mesures de validation d'emplacement.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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).

CISPR 16-1-4:2010, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-4: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Antennes et emplacements d'essai pour les mesures des perturbations rayonnées*

CISPR 16-1-4:2010/AMD 1:2012

CISPR 16-1-6:2014, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-6: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Etalonnage des antennes CEM*

IEC 60050 (toutes les parties), *Vocabulaire électrotechnique international (disponible à l'adresse <<http://www.electropedia.org>>)*

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.