

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Determination of RF field strength and SAR in the vicinity of
radiocommunication base stations for the purpose of evaluating human
exposure**

**Détermination des champs de radiofréquences et du DAS aux environs des
stations de base utilisées pour les communications radio dans le but d'évaluer
l'exposition humaine**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2011 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Determination of RF field strength and SAR in the vicinity of
radiocommunication base stations for the purpose of evaluating human
exposure**

**Détermination des champs de radiofréquences et du DAS aux environs des
stations de base utilisées pour les communications radio dans le but d'évaluer
l'exposition humaine**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XH

ICS 13.280; 17.240

ISBN 978-2-88912-493-0

CONTENTS

FOREWORD.....	7
INTRODUCTION.....	9
1 Scope.....	10
2 Normative references	11
3 Terms and definitions	11
4 Symbols and abbreviated terms.....	17
4.1 Physical quantities	17
4.2 Constants.....	17
4.3 Abbreviations	17
5 Developing the evaluation plan.....	18
5.1 Overview	18
5.2 Key tasks	19
6 Evaluation methods	21
6.1 Overview	21
6.2 Measurement methods	22
6.2.1 Overview of measurement methods	22
6.2.2 RF field strength measurement.....	23
6.2.3 SAR measurement method.....	32
6.3 Computation methods.....	36
6.3.1 Overview and general requirements	36
6.3.2 Basic computation methods.....	38
6.3.3 Advanced computation methods	43
6.4 Extrapolation from the evaluated SAR / RF field strength to the required assessment condition.....	52
6.4.1 Extrapolation method.....	52
6.4.2 Extrapolation to maximum RF field strength using broadband measurements.....	53
6.4.3 Extrapolation to maximum RF field strength for frequency and code selective measurements	53
6.5 Summation of multiple RF fields	54
6.5.1 Applicability	54
6.5.2 Uncorrelated fields	54
6.5.3 Correlated fields	55
6.5.4 Ambient fields.....	55
7 Uncertainty.....	55
7.1 Background	55
7.2 Requirement to estimate uncertainty	55
7.3 How to estimate uncertainty	56
7.4 Uncertainty bounds on measurement equipment influence quantities	56
7.5 Applying uncertainty for compliance assessments	56
8 Reporting	57
8.1 Background	57
8.2 Evaluation report.....	57
8.2.1 General	57
8.2.2 Measurement data sheet	57
8.2.3 Computational data sheet.....	58
8.2.4 Final report.....	58

8.3 Interpretation of results	59
8.3.1 Comparison with limit	59
8.3.2 Comparing results	59
8.3.3 Opinions and interpretations	59
Annex A (normative) Developing the evaluation plan	60
Annex B (normative) Defining the source-environment plane	69
Annex C (informative) Guidance on the application of the standard to specific evaluation purposes	78
Annex D (normative) Evaluation parameters	84
Annex E (normative) RF field strength measurement equipment requirements	88
Annex F (informative) Basic computation implementation	89
Annex G (normative) Advanced computation implementation	97
Annex H (normative) Validation of computation methods	101
Annex I (informative) Guidance on spatial averaging schemes	110
Annex J (informative) Guidance on addressing time variation of signals in measurement	112
Annex K (informative) Guidance on determining ambient field levels	113
Annex L (informative) Guidance on comparing evaluated parameters with a limit value	117
Annex M (informative) Guidance on assessment schemes	119
Annex N (informative) Guidance on specific technologies	127
Annex O (informative) Guidance on uncertainty	151
Annex P (informative) Case studies	165
Bibliography	175
Figure 1 – Overview of evaluation methods	21
Figure 2 – Overview of RF field strength measurement methods	22
Figure 3 – Positioning of the EUT relative to the relevant phantom	33
Figure 4 – Overview of computation methods	37
Figure 5 – Reflection due to the presence of a ground plane	39
Figure 6 – Enclosed cylinder around collinear arrays, with and without electrical downtilt	40
Figure 7 – Directions for which SAR estimation expressions are given	41
Figure 8 – Ray tracing (synthetic model) geometry and parameters	44
Figure B.1 – Source-environment plane concept	69
Figure B.2 – Geometry of an antenna with largest linear dimension L_{eff} and largest end dimension L_{end}	70
Figure B.3 – Maximum path difference for an antenna with largest linear dimension L	75
Figure B.4 – Example source-environment plane regions near a roof-top antenna which has a narrow vertical (elevation plane) beamwidth (not to scale)	77
Figure C.1 – Example of complex compliance boundary	79
Figure C.2 – Example of circular cylindrical compliance boundaries: (a) sector coverage antenna, (b) horizontally omnidirectional antenna	79
Figure C.3 – Example of parallelepipedic compliance boundary	80
Figure C.4 – Example illustrating the linear scaling procedure	80
Figure C.5 – Example investigation process	83

Figure D.1 – Cylindrical, cartesian and spherical coordinates relative to the RBS antenna	84
Figure F.1 – Reference frame employed for cylindrical formulae for field strength computation at a point P (left), and on a line perpendicular to boresight (right)	89
Figure F.2 – Two (a) and three (b) dimensional views illustrating the three valid zones for field strength computation around an antenna.....	90
Figure F.3 – Leaky feeder geometry	95
Figure H.1 – Cylindrical formulae reference results	101
Figure H.2 – Spherical formulae reference results	102
Figure H.3 – Line 4 far-field positions for ray tracing validation example	103
Figure H.4 – Antenna parameters for ray tracing algorithm validation example	104
Figure H.5 – Generic 900 MHz RBS antenna with nine dipole radiators	106
Figure H.6 – Line 1, 2 and 3 near-field positions for full wave and ray tracing validation	106
Figure H.7 – Generic 1 800 MHz RBS antenna with five slot radiators	108
Figure H.8 – RBS antenna placed in front of a multi-layered lossy cylinder	109
Figure I.1 – Spatial averaging schemes relative to foot support level	111
Figure I.2 – Spatial averaging relative to spatial-peak field strength point height.....	111
Figure K.1 – Evaluation locations.....	115
Figure K.2 – Relationship of separation of remote radio source and evaluation area to separation of evaluation points	116
Figure M.1 – Target uncertainty scheme overview	121
Figure M.2 – Evaluation of compliance with limit.....	122
Figure M.3 – Evaluation with confidence that limit is exceeded	123
Figure N.1 – Spectral occupancy for GSM	133
Figure N.2 – Spectral occupancy for CDMA	134
Figure N.3 – Channel allocation for a WCDMA signal.....	137
Figure N.4 – Example of Wi-Fi frames.....	140
Figure N.5 – Channel occupation versus the integration time for 802.11b standard	140
Figure N.6 – Channel occupation versus nominal throughput rate for 802.11b/g standards.....	141
Figure N.7 – Wi-Fi spectrum trace snapshot	141
Figure N.8 – Plan view representation of statistical conservative model	143
Figure N.9 – Binomial cumulative probability function for $N = 24$, $PR = 0,125$	149
Figure N.10 – Binomial cumulative probability function for $N = 18$, $PR = 2/7$	150
Figure O.1 – Probability of the true value being above (respectively below) the evaluated value depending on the confidence level assuming a normal distribution	154
Figure O.2 – Plot of the calibration factors for E (not E^2) provided from an example calibration report for an electric field probe	156
Figure O.3 – Computational model used for the variational analysis of reflected RF fields from the front of a surveyor	161
Figure P.1 – Micro cell case study	166
Figure P.2 – Roof-top case study (a) with nearby apartment buildings (b)	167
Figure P.3 – Roof-top/tower case study (a) in residential area (b)	168
Figure P.4 – Roof-top case study with direct access to antennas	169
Figure P.5 – Roof-top case study with large antennas and no direct access.....	170

Figure P.6 – Cylindrical compliance boundary determination for dual band antenna on building.....	171
Figure P.7 – Tower case study (a) in parkland (b).....	172
Figure P.8 – Multiple towers case study (a) at sports venue (b)	173
Figure P.9 – Office building in building coverage case study.....	174
Table 1 – Checklist for the evaluation plan.....	20
Table 2 – Sample template for estimating the expanded uncertainty of a RF field strength measurement that used a frequency-selective instrument.....	30
Table 3 – Sample template for estimating the expanded uncertainty of a RF field strength measurement that used a broadband instrument	31
Table 4 – Applicability of computation methods for source-environment regions of Figure B.1.....	38
Table 5 – Applicability of SAR estimation formulae	42
Table 6 – Sample template for estimating the expanded uncertainty of a ray tracing RF field strength computation.....	46
Table 7 – Sample template for estimating the expanded uncertainty of a full wave RF field strength computation.....	49
Table 8 – Sample template for estimating the expanded uncertainty of a full wave SAR computation.....	51
Table A.1 – Measurand validity for evaluation points in each source region	62
Table A.2 – Guidance on selecting between computation and measurement approaches.....	63
Table A.3 – Selecting <i>in situ</i> or laboratory measurement from evaluation purpose and RBS category	64
Table A.4 – Guidance on selecting between broadband and frequency-selective measurement.....	65
Table A.5 – Guidance on selecting RF field strength measurement procedures	66
Table A.6 – Guidance on selecting computation methods	67
Table A.7 – Guidance on specific evaluation method ranking	68
Table B.1 – Definition of source regions.....	71
Table B.2 – Default source region boundaries.....	71
Table B.3 – Source region boundaries for antennas with maximum dimension less than $2,5 \lambda$	72
Table B.4 – Source region boundaries for linear/planar antenna arrays with a maximum dimension greater than or equal to $2,5 \lambda$	72
Table B.5 – Source region boundaries for equiphase radiation aperture (e.g. dish) antennas with maximum reflector dimension much greater than a wavelength	73
Table B.6 – Source region boundaries for leaky feeders	73
Table B.7 – Far-field distance r measured in metres as a function of angle β	75
Table D.1 – Dimension variables	85
Table D.2 – RF power variables.....	85
Table D.3 – Antenna variables	86
Table D.4 – Measurand variables.....	87
Table E.1 – Broadband measurement system requirements	88
Table E.2 – Frequency-selective measurement system requirements.....	88
Table F.1 – Definition of boundaries for selecting the zone of computation	91

Table F.2 – Definition of $C(f)$	93
Table H.1 – Input parameters for cylinder and spherical formulae validation	101
Table H.2 – Input parameters for SAR estimation formulae validation	102
Table H.3 – SAR_{10g} and SAR_{wb} estimation formulae reference results for Table H.2 parameters	102
Table H.4 – Ray tracing power density reference results	105
Table H.5 – Validation 1 full wave field reference results	107
Table H.6 – Validation 2 full wave field reference results	108
Table H.7 – Validation reference SAR results for computation method	109
Table M.1 – Examples of general assessment schemes	120
Table M.2 – Determining target uncertainty	122
Table M.3 – Monte Carlo simulation of 10 000 trials both surveyor and auditor using best estimate	125
Table M.4 – Monte Carlo simulation of 10 000 trials both surveyor and auditor using target uncertainty of 4 dB	125
Table M.5 – Monte Carlo simulation of 10 000 trials surveyor uses upper 95 % CI vs. auditor uses lower 95 % CI	126
Table N.1 – Technology specific information	128
Table N.2 – Example of spectrum analyser settings for an integration per service	135
Table N.3 – Example constant power components for specific technologies	136
Table N.4 – CDMA decoder requirements	137
Table N.5 – Signals configuration	138
Table N.6 – CDMA generator setting for power linearity	138
Table N.7 – WCDMA generator setting for decoder calibration	139
Table N.8 – CDMA generator setting for reflection coefficient measurement	139
Table O.1 – Guidance on minimum separation distances for some dipole lengths to ensure that the uncertainty does not exceed 5 % or 10 % in a measurement of E	159
Table O.2 – Guidance on minimum separation distances for some loop diameters to ensure that the uncertainty does not exceed 5 % or 10 % in a measurement of H	160
Table O.3 – Example minimum separation conditions for selected dipole lengths for 10 % uncertainty in E	160
Table O.4 – Standard estimates of dB variation for the perturbations in front of a surveyor due to body reflected fields as described in Figure O.3	162
Table O.5 – Standard uncertainty (u) estimates for E and H due to body reflections from the surveyor for common radio services derived from estimates provided in Table O.4	162

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

DETERMINATION OF RF FIELD STRENGTH AND SAR IN THE VICINITY OF RADIOCOMMUNICATION BASE STATIONS FOR THE PURPOSE OF EVALUATING HUMAN EXPOSURE

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 IEC 62232 has been prepared by IEC technical committee 106: Methods for the assessment of electric, magnetic and electromagnetic fields associated with human exposure.

This publication contains attached files in the form of a CD-ROM for the paper version and embedded files for the electronic version. These files are intended to be used as a complement and do not form an integral part of the standard.

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

FDIS	Report on voting
106/221/FDIS	106/228/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.

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 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 addresses the evaluation of RF field strength or specific absorption rate levels in the vicinity of non-broadcast RF radiocommunication sources (i.e. RBS) intentionally radiating in the frequency range 300 MHz to 6 GHz according to the scope (see Clause 1). It does not address the evaluation of current density which exposure guidelines often do not consider to be relevant when evaluating RF fields in the intended RBS operating frequency range.

This standard defines how a suitably qualified surveyor shall select between the described evaluation methods in order to prepare specific or generic evaluation plans and how to validate their implementation. When using this standard to establish RBS compliance, the full set of limiting conditions needs to be defined. These may include for example limits on human exposure to RF fields; the likelihood that people may have access to a specific location; specific decision rules for interpretation of uncertainty. This standard does not define such limits or the associated requirements for a safety programme. Further, this standard recognises that national regulators (or the test client) may establish rules (termed “assessment schemes”) on how to interpret uncertainty when establishing compliance. However, this standard does provide guidance on how to apply the described evaluation methods consistent with such rules. Additional guidance can be found in Technical Report IEC 62669 [54]¹⁾ which includes a set of worked case studies giving practical examples of the application of this standard.

Clause 2, Clause 3 and Clause 4 address normative references, definitions and abbreviations respectively.

Clause 5, with Annex A, Annex B and Annex C, defines how to select the evaluation methods to be used and how to plan the evaluation task. The standard describes the alternative methods that may be included in the evaluation plan and defines a ranking to be applied in the event of dispute where the higher ranking evaluation takes precedence. Lower ranking evaluations are of course valid within their applicability and may be more practical to implement.

Clause 6 describes the evaluation methods to determine a measurand (SAR or RF field strength) value at a specified point. These cover both laboratory and *in situ* measurement methods for SAR and electric field strength and computation methods for SAR, power flux density, electric field strength and magnetic field strength. Annex C describes how the evaluation methods may be employed for specific purposes. Annex F and Annex G provide information on implementation of computation methods and Annex H with included referenced spread sheets provides computation validation information.

Clause 7 and Annex O address the estimation of uncertainty or the determination that the evaluated value meets a specified confidence level. Annex L and Annex M describe how to address uncertainty when determining compliance with limit values in accordance with relevant national regulatory requirements.

Clause 8 describes reporting requirements for the evaluation.

Other annexes and the bibliography are referenced extensively to provide useful clarifications or guidance.

¹⁾ Numerals in square brackets refer to the Bibliography.

DETERMINATION OF RF FIELD STRENGTH AND SAR IN THE VICINITY OF RADIOCOMMUNICATION BASE STATIONS FOR THE PURPOSE OF EVALUATING HUMAN EXPOSURE

1 Scope

This International Standard provides methods for the determination of radio-frequency (RF) field strength and specific absorption rate (SAR) in the vicinity of radiocommunication base stations (RBS) for the purpose of evaluating human exposure.

This standard:

- a) considers RBS which transmit on one or more antennas using one or more frequencies in the range 300 MHz to 6 GHz;
- b) describes several RF field strength and SAR measurement and computation methodologies with guidance on their applicability to address both the *in situ* evaluation of installed RBS and laboratory-based evaluations;
- c) describes how surveyors with a sufficient level of expertise shall establish their specific evaluation procedures appropriate for their evaluation purpose;
- d) considers the evaluation purposes, namely:
 - 1) product conformity: to establish that a RBS conforms to a defined set of limit conditions under its intended use;
 - 2) compliance boundary: to establish the compliance boundary or boundaries for a RBS in relation to a defined set of limit conditions;
 - 3) to evaluate RF field strength or SAR values at one or more evaluation locations, namely:
 - i) evaluation location(s) at arbitrary locations outside the control boundary to provide information for interested parties;
 - ii) evaluation location(s) at the control boundary to confirm validity of control boundary;
 - iii) evaluation location(s) within the control boundary with the specific conditions relevant to investigate an alleged over-exposure incident;
- e) provides guidance on how to report, interpret and compare results from different evaluation methodologies and, where the evaluation purpose requires it, determine a justified decision against a limit value;
- f) provides informative guidance on how to evaluate ambient RF field strength levels in the vicinity of a RBS from RF sources other than the RBS under evaluation and at frequencies within and outside the range 300 MHz to 6 GHz;
- g) provides short descriptions of the informative example case studies to aid the surveyor given in the companion Technical Report IEC 62669 [54].

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 60215, *Safety requirements for radio transmitting equipment*

IEC 62209-1:2005, *Human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices – Human models, instrumentation, and procedures – Part 1: Procedure to determine the specific absorption rate (SAR) for hand-held devices used in close proximity to the ear (frequency range of 300 MHz to 3 GHz)*

IEC 62209-2:2010, *Human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices – Human models, instrumentation, and procedures – Part 2: Procedure to determine the specific absorption rate (SAR) for wireless communication devices used in close proximity to the human body (frequency range of 30 MHz to 6 GHz)*

ISO/IEC 17025:2005, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

3.1

ambient fields

background electromagnetic fields in the frequency range from 100 kHz to 300 GHz other than the emissions from the EUT in the frequency range 300 MHz to 6 GHz

3.2

antenna factor

ratio of the electromagnetic field strength incident upon an antenna to the voltage (V) that is produced across a specified impedance (e.g. 50 Ω) terminating the line connection of the antenna

3.3

assessment

determination of a decision based on measurand value (e.g. comparison with a relevant limit)

3.4

assessment configuration

set of parameter values which together represent the RBS configuration to be assessed according to the evaluation purpose, e.g. for conformity assessment

3.5

average (temporal) transmitted power

rate of radiated energy transfer expressed in W given by

$$\bar{P}_{\text{avg}} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt$$

where

t_1 is the start time of the observation in seconds;

t_2 is the stop time of the observation in seconds;

$P(t)$ is the instantaneous transmitted power in watts

NOTE The transmitted power is the conducted power applied to the antenna input connector minus the reflected power at the antenna input connector and minus the power dissipated as heat within the antenna.

3.6

average (temporal) absorbed power

ohmic power dissipated in a volume V given by

$$P_A = \int_V \sigma [E(x, y, z)]^2 dV$$

where

$E(x, y, z)$ is the r.m.s. value of the electric field strength in the tissue in volts per metre;

σ is the electric conductivity of the tissue in siemens per metre

3.7

axial isotropy, probe

maximum deviation of the SAR , E^2 or H^2 when rotating around the major axis of the probe enclosure/case while the probe is exposed to a reference wave impinging from a direction along the probe major axis

3.8

basic restriction

restriction on human exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields that is based on the applicable exposure guidelines

NOTE For this standard, the physical quantity used as a basic restriction is the specific absorption rate (SAR) or power flux density (S) depending on the frequency and defined by the relevant compliance standard.

3.9

collinear array (antenna)

antenna consisting of a linear array of radiating elements, usually dipoles, with their axes lying in a straight line

3.10

compliance boundary

surface of arbitrary shape defining a volume outside of which there is an applicable confidence that the applicable limit condition is not exceeded

3.11

control boundary

set of locations which together define where human access to a compliance boundary is controlled either via warnings or physical controls

3.12

detection limits

lower detection limit defined by the minimum quantifiable response of the measuring equipment; upper detection limit defined by the maximum quantifiable response of the measuring equipment

3.13

directivity (of an antenna, in a given direction)

D

ratio of the radiation intensity produced by an antenna in a given direction to the value of the radiation intensities averaged in all directions in space

NOTE 1 If no direction is specified, the direction of maximum radiation intensity from the given antenna is implied.

NOTE 2 The directivity is independent of antenna losses and equal to the absolute gain in the same direction if the antenna has no internal losses.

NOTE 3 The ratio may also be expressed in decibels.

3.14

duty factor

the ratio of (1) the sum of pulse durations to (2) a stated averaging time. For repetitive phenomena, the averaging time is the pulse repetition period

IEC 60050-531:1974, 531-18-15, [67]²⁾

3.15

dynamic range

quotient of the signal from the maximum measurable indication of a quantity by the signal from the minimum measurable value of that quantity

NOTE In some cases the dynamic range may be expressed as an interval of the above-mentioned corresponding values.

IEC 60050-394:2007, 394-40-17, [71]

3.16

equivalent isotropic radiated power (in a given direction)

EIRP

the product of the radiofrequency power supplied to an antenna and the absolute gain of the antenna in a given direction

IEC 60050-712:1992, 712-02-51, [68] modified

3.17

electric field strength

vector field quantity E which exerts on any charged particle at rest a force F equal to the product of E and the electric charge Q of the particle:

$$F = QE$$

IEC 60050-121:1998, 121-11-18, [70]

3.18

evaluation

process of determining a value of a measurand

3.19

evaluation configuration

set of parameter values which together represent the RBS configuration used in the evaluation

3.20

evaluation plan

document defining the specific methodology to be employed for an evaluation case, prepared in advance of the performance of the evaluation, including all methods to be used and which evaluation locations will be investigated using each defined method

3.21

evaluation location

specific physical location at which a single field parameter value has been measured or computed

NOTE In the case of spatial averaging, this is the reference location defined in the averaging scheme.

²⁾ Numerals in square brackets refer to the Bibliography.

3.22

exposure, partial-body

localised exposure of part of the body, producing a corresponding localised SAR, as distinct from a whole-body exposure

3.23

exposure, whole-body

exposure averaged over the whole body

3.24

exposure quotient

EQ

evaluated exposure parameter related to the relevant compliance limit expressed as the power fraction of the related limit at a given frequency

NOTE The exposure quotient may also be expressed as a percentage, i.e. $EQ \% = EQ \text{ (dimensionless)} \times 100 \%$.

3.25

field strength (of a radio transmitter)

the magnitude of the electromagnetic field created at a given point by a radio transmitting system operating at a specified characteristic frequency with specified installation and modulation conditions

IEC 60050-705:1995, 705-08-31, [69]

3.26

frequency response

curve, representing the variations, with respect to frequency, of the indicated level of the measurand as a measuring instrument responds to a constant stimulus level

3.27

gain (of an antenna, in a given direction)

G

ratio of the radiation intensity produced by an antenna in a given direction to the value of the radiation intensities averaged in all directions in space reduced by a factor representing the antenna losses

NOTE 1 If no direction is specified, the direction of maximum radiation intensity from the given antenna is implied.

NOTE 2 The ratio may also be expressed in decibels.

3.28

intended use

reasonably foreseeable use of a RBS for the purpose intended, over its full range of applicable functions, in accordance with the instructions provided by the manufacturer, including installation and operation instructions

3.29

linearity error

deviation from a straight line of the curve representing the output quantity as a function of the input quantity

IEC 60050-394:2007, 394-40-31, [71]

3.30

magnetic field strength

magnetizing field strength

vector quantity obtained at a given point by subtracting the magnetization M from the magnetic flux density B divided by the magnetic constant μ_0 :

$$H = \frac{B}{\mu_0} - M$$

NOTE 1 In vacuum, the magnetic field strength is at all points equal to the magnetic flux density divided by the magnetic constant:

$$H = \frac{B}{\mu_0}$$

NOTE 2 The rotation of the magnetic field strength is the total current density J_t :

$$\text{rot } H = J_t$$

NOTE 3 The magnetic flux density B is sometimes called “magnetic field”, risking confusion with the magnetic field strength H .

IEC 60050-121:1998, 121-11-56, [70]

3.31

measurement drift (power drift)

gradual deviation over time from a reproducible reading of the measured value

3.32

peak spatial-average SAR

maximal value of averaged SAR within a specific mass

3.33

planar array (antenna)

array in which corresponding points of the radiating elements lie in a plane

IEC 60050-712:1992, 712-01-07, [68]

3.34

power flux density

radiant flux density

the power passing through an element of surface normal to the direction of propagation of energy of an electromagnetic wave divided by the area of the element

IEC 60050-705:1995, 705-02-03, [69]

3.35

plane wave equivalent

term associated with any electromagnetic wave with a power density equal in magnitude to the power flux density of a plane wave

3.36

probe isotropy

degree to which the response of an electric field or magnetic field probe is independent of the polarization and direction of propagation of the incident wave

3.37

radiocommunication base station

radio base station

RBS

fixed equipment including the radio transmitter and associated antenna(s) as used in wireless telecommunications networks

NOTE 1 Examples of RBS include roof-top, standalone masts, access point installations, cordless base station etc. that are not normally used in close proximity (i.e. within 20 cm) to the human body.

NOTE 2 Examples of wireless telecommunications networks include those used in cellular communication, wireless local area networks, public safety networks and point-to-point communication and point-to-multipoint communication according to ITU-R F.592-3 [1].

NOTE 3 Radar, TV and radio broadcast services are excluded.

NOTE 4 Fixed implies that the RBS does not move in relation to its intended RF coverage area.

3.38

specific absorption rate

SAR

time derivative of the incremental electromagnetic energy (dW) absorbed by (dissipated in) an incremental mass (dm) contained in a volume element (dV) of given mass density (ρ)

$$SAR = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{\rho dV} \right)$$

SAR can be obtained using the following equation:

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho}$$

where

- SAR is the specific absorption rate in watts per kilogram;
- E is the r.m.s. value of the electric field strength in the tissue in volts per metre;
- σ is the electric conductivity of the tissue in siemens per metre;
- ρ is the density of the tissue in kilograms per cubic metre.

3.39

source-environment plane

conceptual map of the regions around an antenna in terms of source region and environment complexity (cluttered to non-cluttered)

NOTE Evaluation locations (for all sources) are mapped onto the source-environment plane with the source regions on the x axis and the complexities of the environment (scatterer/absorber) on the y axis.

3.40

source region

spatial volume surrounding an antenna, divided into three regions according to the impact the field characteristics have on the evaluation of the RF field strength or SAR

NOTE There are two source regions near the antenna, called source region I and source region II, and one at a larger distance, called source region III.

3.41

surveyor

person(s) responsible for planning, executing and reporting on the evaluation of RF field strength or SAR levels

4 Symbols and abbreviated terms

4.1 Physical quantities

The internationally accepted SI units are used throughout the standard.

Symbol	Quantity	Unit	Dimensions
α	Attenuation coefficient	reciprocal metre	m^{-1}
B	Magnetic flux density	tesla	$\text{T}, \text{V s m}^{-2}$
D	Electric flux density	coulomb per square metre	C m^{-2}
c_h	Specific heat capacity	joule per kilogram per kelvin	$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$
E	Electric field strength	volt per metre	V m^{-1}
f	Frequency	hertz	Hz
H	Magnetic field strength	ampere per metre	A m^{-1}
J	Current density	ampere per square metre	A m^{-2}
T	Temperature	kelvin	K
ε	Permittivity	farad per metre	F m^{-1}
λ	Wavelength	metre	m
μ	Permeability	henry per metre	H m^{-1}
Ω	Resistance	ohm	V A^{-1}
ρ	Mass density	kilogram per cubic metre	kg m^{-3}
σ	Electric conductivity	siemens per metre	S m^{-1}

NOTE 1 In this standard, temperature is quantified in degrees Celsius, as defined by: $T (^{\circ}\text{C}) = T (\text{K}) - 273,16$.

NOTE 2 Annex D defines various symbols and variables used in this standard.

4.2 Constants

Symbol	Physical constant	Magnitude
c	Speed of light in vacuum	$2,997\,9 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
η_0	Impedance of free space	$376,730\,3 \, \Omega$ (Approximately $120\pi \, \Omega$)
ε_0	Permittivity of free space	$8,854\,188 \times 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$
μ_0	Permeability of free space	$4\pi \times 10^{-7} \text{ H m}^{-1}$

4.3 Abbreviations

AMPS	Advanced Mobile Phone System
BCCH	broadcast control channel
CDMA	code division multiple access

CPICH	common pilot channel
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DPCH	dedicated physical channel
EUT	equipment under test
FDD	frequency division duplex
FDMA	frequency division multiple access
FDTD	finite difference time domain
FEM	finite element method
FIT	finite integration technique
GSM	Global System for Mobile communications (originally <i>Groupe Spécial Mobile</i>)
HPBW	half power beamwidth
LTE	Long Term Evolution
MoM	method of moments
NMT	Nordic Mobile Telephone
OFDM	orthogonal frequency division multiplexing
PML	perfectly matched layer
RBS	radiocommunication base station
RF	radio frequency
r.m.s.	root mean square
r.s.s.	root sum square
TDD	time division duplex
TDMA	time division multiple access
TETRA	Terrestrial Trunked Radio
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
USDC	United States Digital Cellular
WCDMA	wideband code division multiple access
Wi-Fi ³⁾	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

5 Developing the evaluation plan

5.1 Overview

This clause defines the evaluation plan which shall be the basis for the assessment. Detailed guidance is provided in the annexes:

- Annex A provides a thorough step-by-step approach to developing the evaluation plan;
- Annex B presents the source-environment plane and describes how to establish where evaluation points lie within the source-environment plane;
- Annex C provides guidance on the application of the evaluation methods to the specific evaluation purposes.

³⁾ Wi-Fi is a trademark of the Wi-Fi Alliance. The term "Wi-Fi" suggests *Wireless Fidelity*, resembling the long-established audio-equipment term *High Fidelity* or "Hi-Fi". *Wireless Fidelity* has been used in an informal way, even by the Wi-Fi Alliance itself, but officially the term does not mean anything. See (<http://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>).

Generic evaluation plans may be developed to cover the purposes and types of work which are commonly performed.

5.2 Key tasks

The following tasks shall be performed:

a) Establish the key evaluation parameters according to the following steps:

- Categorise the evaluation purpose (see A.2.1).
- Categorise the RBS under evaluation (see A.2.2). Note that this standard may be used to evaluate the RF field strength / SAR from low power RBS. IEC 62479 may be applied first to determine if any such evaluation is required in order to comply with the relevant limit.
- Determine the availability of key information (see A.2.3).
- Determine if the evaluation parameters can be controlled (e.g. by setting transmit power) (see A.2.4).
- Establish the evaluation points in relation to the source-environment plane (see A.2.5 and Annex B).

b) Establish if ambient fields need to be considered.

Where the evaluation purpose is to evaluate the combined field from all sources at a given location, ambient fields shall be evaluated (see Annex K).

- Reasonable endeavours shall be applied to identify all RF emissions between 100 kHz and 300 GHz.
- The ambient fields identified from fixed, permanent RF sources shall be considered. Such sources can be identified through visual inspection, consultation of available user database, information from the site owner, as well as broadband or frequency-selective measurements.

c) Select the evaluation method(s) according to the following steps:

- Establish the appropriate measurand (see A.3.2).
- Select computation or measurement approach (see A.3.3) and either
 - select measurement method (see A.3.4), or
 - select computation method (see A.3.5).
- Review the additional considerations (see A.3.6).

d) Review the checklist for completing the evaluation plan (see Table 1).

Table 1 provides a checklist summarising the main aspects which shall be considered when developing a specific evaluation plan.

Table 1 – Checklist for the evaluation plan

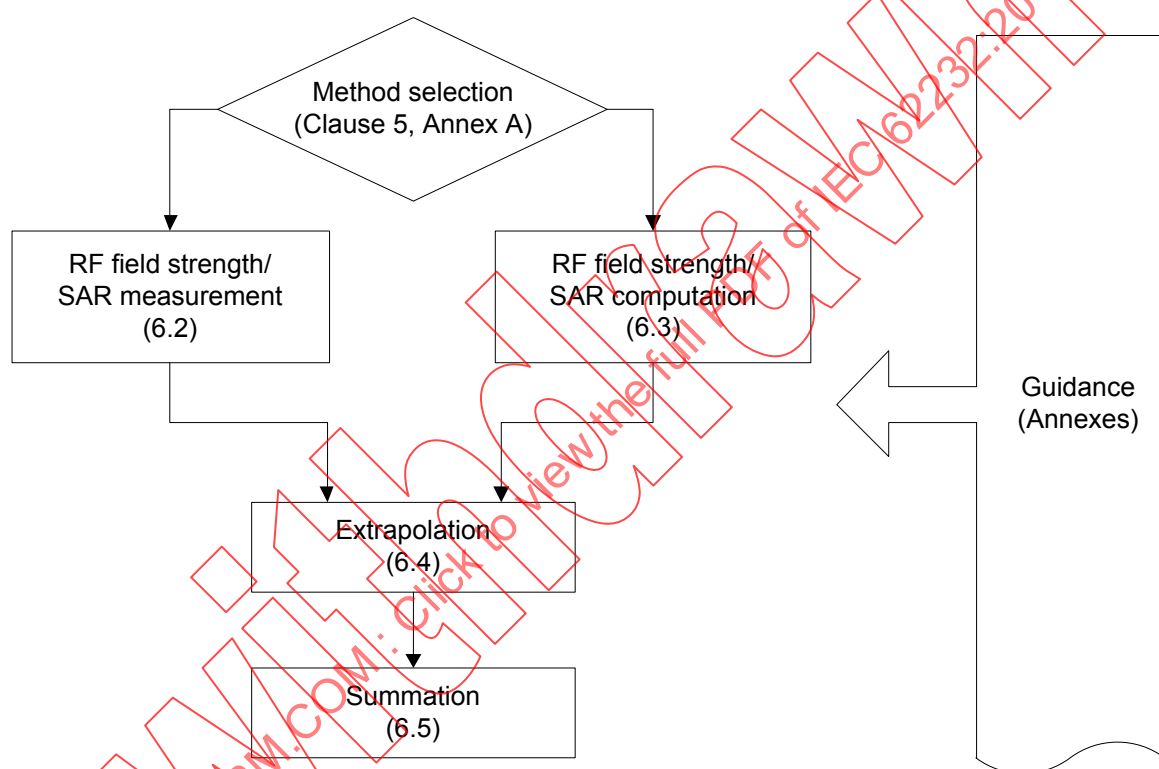
Criteria	Evaluation plan activity	Reference	Check
1) General considerations on safe and practical working on site	Where the evaluation is to be performed on site: - Develop a check sheet to be used on site. - Identify permissions required to work (access) - Consider the safety of the public and people performing the measurements. Ensure that a risk assessment is performed to identify potential hazards and to establish appropriate safety protocols to mitigate them. The procedures and guidance given in IEC 60215 shall be observed where appropriate.	IEC 60215	☐
2) Identify parameters relevant to the evaluation	Record all parameters needed for the evaluation and any actions needed to establish/verify their values. Clearly establish the evaluation configuration and assessment configuration.	Clause 6 and Annex D	☐
3) Evaluation method	Ensure that the selected evaluation method(s) is/are clearly defined together with the reasoning for their selection and clear traceability of their applicability.	Clause 6; Annex D; Annex F; Annex G; Annex I; Annex J; Annex K; Annex N; Annex P; IEC 62669 [54]	☐
4) Evaluation locations	Define the specific evaluation locations required or give sufficient guidance on how these can be established on site. Ensure that it is clear which evaluation methods are used for each evaluation point.	Clause 6; Annex A; Annex B; Annex C ; Annex K	☐
5) Measurement equipment	Identify measurement equipment to be used, its calibration requirements and compile relevant documentation.	Clause 6; Annex E; Annex N	☐
6) Computations	Establish that the computational resources are available. Establish that the appropriate validation work has been completed for the implementation.	Clause 6 and Annex F Clause 6 and Annex H	☐
7) Uncertainty	For any RF field strength or SAR value reported, define where it lies on the uncertainty probability density function e.g. best estimate, upper 95 %, etc. Consider location on source-environment plane if this affects the uncertainty of the evaluation.	Clause 6; Clause 7; Annex O; Annex P Annex B	☐
8) Limit evaluations	If comparison with a limit is required: - Define the relevant limit - Define the assessment scheme to be applied. - Define applicable assessment configuration as well as evaluation configuration.	Annex M Clause 3; Annex D; Annex L	☐
9) Reporting	Establish format for the evaluation report appropriate for the evaluation purpose considering guidance in Clause 8; and, Annex P.	Clause 8 and Annex P	☐

6 Evaluation methods

6.1 Overview

This clause describes alternative evaluation methods to measure or compute RF field strength or SAR. Each method description defines the applicability constraints within which it may be employed, the information required to implement the method and how to characterise the uncertainty of the evaluation.

Figure 1 provides an overview of the evaluation methods. The evaluation method selection is made when developing the evaluation plan (see Clause 5 and Annex A) as an iterative process also considering this Clause 6. For additional information, clarification or justification, the evaluation methods refer to annexes and external references.



IEC 1024/11

Figure 1 – Overview of evaluation methods

The evaluation plan may employ a combination of methods to complete the evaluation.

Extrapolation (see 6.4) is required if the evaluation is performed with RBS parameters (e.g. power output) that do not directly represent the RBS configuration required to be assessed. For example, if the radiated power from the RBS varies over an extended time, extrapolation of the evaluated result is performed to obtain an estimate of the maximum possible RF field strength or SAR (see Annex N and Annex J) as required to establish compliance boundaries around antennas (see Annex C).

Summation, (see 6.5), is required when contributions from multiple sources or frequencies are to be combined.

6.2 Measurement methods

6.2.1 Overview of measurement methods

Figure 2, an expansion of the RF field strength / SAR measurement block from Figure 1, presents an overview of the measurement methods.

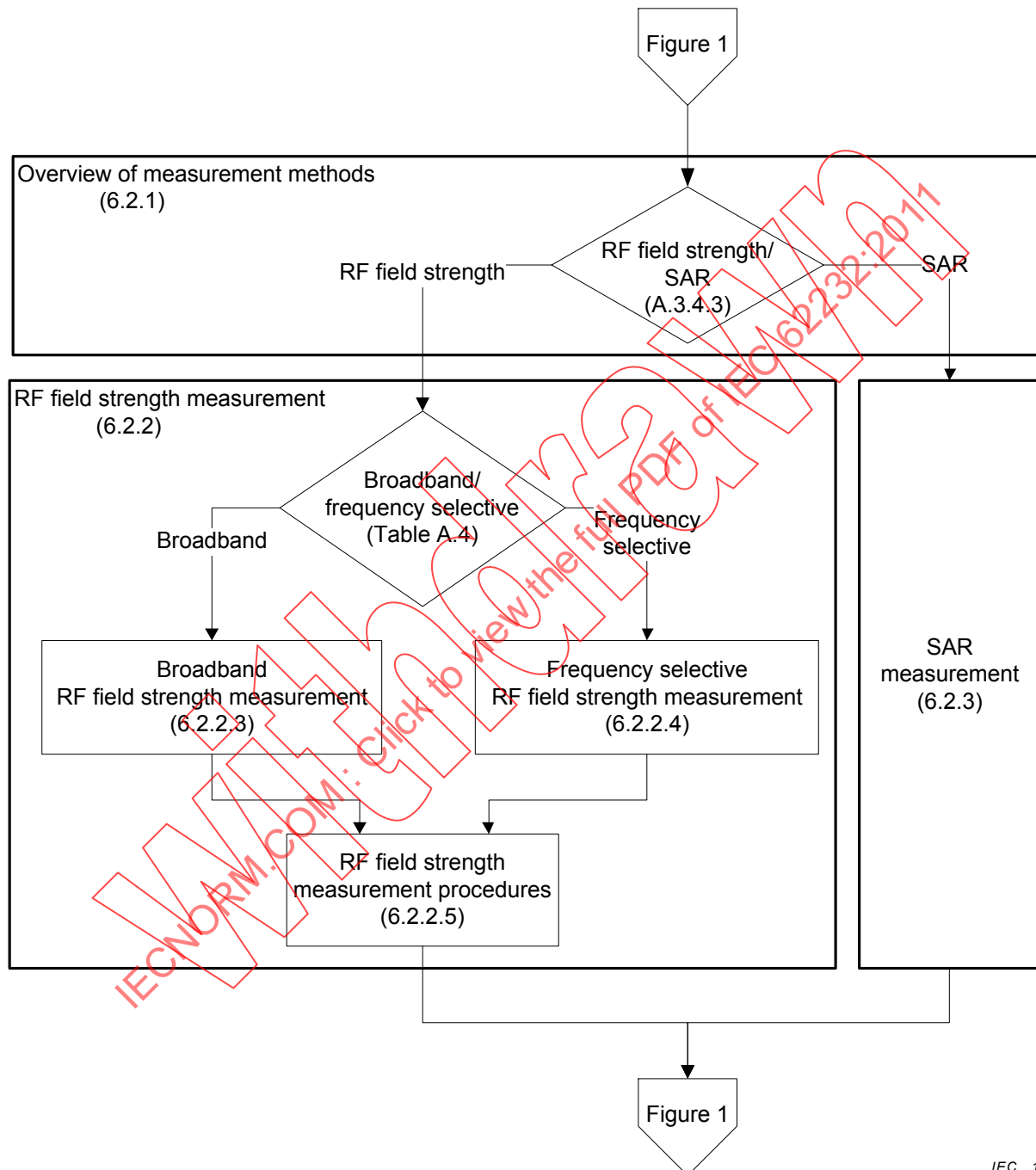


Figure 2 – Overview of RF field strength measurement methods

The peak spatial-average SAR measurement methods described in this standard are performed in a suitable test facility and are generally best suited for product compliance evaluations at up to 0,4 m from the surface of the RBS antenna. The described field strength measurement methods may be used for laboratory or *in situ* evaluations (see Annex A).

6.2.2 RF field strength measurement

6.2.2.1 Applicability of RF field strength measurement

RF field strength measurement is applicable in all source-environment plane regions (see Table A.1 and Annex B).

Frequency-selective measurement is recommended anywhere that there is more than a single signal on one frequency present (see Table A.5).

NOTE Provided the measurement equipment is calibrated at the evaluation frequencies, the RF field strength measurement methods described here may be employed with care also to evaluate RF field strength at frequencies below 300 MHz.

6.2.2.2 General requirements

At least the following checks shall be performed:

- The measurement equipment shall meet the requirements of Annex E.
- Determine as many of the known characteristics of the sources of the RF fields as possible and estimate their likely propagation characteristics.
- Estimate the expected RF field strength using the basic computation methods in 6.3.2.
- Ensure out-of-band and/or strong ambient signals do not create spurious responses in the measurement equipment.

NOTE 1 Co-band sources located adjacent to the EUT, or low frequency fields from high-tension power lines, may affect (especially broadband) instruments.

- Establish if the reading may be measurement equipment noise.
- Determine the optimum measurement equipment settings.

NOTE 2 See Annex N, the measurement equipment manufacturers' specifications, and measurement equipment manufacturers' guidelines.

- Where a shaped frequency response broadband instrument is used, ensure that its summation algorithm and frequency calibration are consistent with the requirements of the relevant standard.
- If more than one measurement antenna or isotropic probe is required to cover a specified frequency range, then the RF field strength shall be determined using:

$$E = \sqrt{\sum_{i=1}^N E_i^2} \quad \text{or} \quad H = \sqrt{\sum_{i=1}^N H_i^2} \quad \text{or} \quad S = \sum_{i=1}^N S_i \quad (1)$$

where:

- E is the electric field strength at the measurement point;
- E_i is the r.m.s. value of the electric field strength measured by the i^{th} measurement antenna or isotropic probe at the measurement point;
- H is the magnetic field strength at the measurement point;
- H_i is the r.m.s. value of the magnetic field strength measured by the i^{th} measurement antenna or isotropic probe at the measurement point;
- N is the number of measurement antennas and isotropic probes;
- S is the plane wave equivalent power flux density at the measurement point;
- S_i is the plane wave equivalent power flux density measured by the i^{th} measurement antenna or isotropic probe at the measurement point.

NOTE 3 For broadband measurement equipment, the above summation may result in a systematic overestimation of the RF field strength if the measurements have overlapping frequencies. This can be avoided by using frequency-selective measurements.

- i) Consider the location of the source and RF propagation path during surveys to minimise the influence of the body on the measurement (see O.4.13). For handheld measurements, the uncertainty due to the scattering of the RF field by the surveyor's body shall be minimised by:
 - holding the probe or antenna away from the surveyor's body (it is recommended that a separation of at least 50 cm be maintained between the measurement antenna or isotropic probe and the surveyor's body);
 - pointing the probe towards the source;
 - ensuring that the surveyor's body is not in the direct line of propagation.
- j) The uncertainty due to mutual coupling between measurement antenna or isotropic probe and physical objects (e.g. walls, floor, ceiling, furniture and other objects) (see O.4.12) shall be considered:
 - Measurements at separation distances of 20 cm or closer are acceptable dependent on the measurement frequency and measurement equipment but at separation distances of less than 50 cm, this influence on the measurement uncertainty shall be included in Table 2 and Table 3 (see 6.2.2.6);
 - Where the size of the receiving elements of the measurement antenna or isotropic probe do not exceed a dimension of 0,4 m, and where a separation distance of 50 cm or greater is maintained, this influence on measurement uncertainty need not be considered.
- k) The uncertainty due to high gradients in the RF field strength (e.g. quasi-static near-field) in proximity to RF radiators or re-radiators (see O.4.11) shall be considered if the minimum separation distance between the measurement antenna or isotropic probe and RF radiators or re-radiators is less than three times the largest dimension of the measurement antenna or isotropic probe.

For additional information see e.g. [2]

6.2.2.3 Broadband RF field strength measurement

6.2.2.3.1 Applicability of broadband RF field strength measurements

Broadband measurements give the sum of all signals over the frequency range of the probe without distinguishing the contribution of different frequencies (whether from the EUT or from ambient sources). These may give an instantaneous or time-averaged field strength value.

The method gives an informative environmental field strength reading as observed at the time of measurement and is adequate for monitoring the RF field.

A broadband measurement is suitable for determining overall levels in the environment and may be helpful in determining if a more comprehensive measurement using the frequency-selective method (see 6.2.2.4) is required.

Broadband measurement results may be extrapolated to estimate the maximum possible RF field strength. However, such extrapolation can result in a vast overestimation depending on the characteristics of the probe and the characteristics of the EUT/ambient signals. Therefore frequency-selective measurements are recommended where accurate extrapolation is required.

6.2.2.3.2 Broadband RF field strength measurement method

Select an isotropic broadband survey instrument that has a measurement range adequate to measure the RF field strength estimated during the pre-evaluation checks (see 6.2.2.2) over the required frequency range and fulfils the requirements in Annex E.

The frequency response of the probe shall either be flat over the required frequency range (Table E.1) or shall be the inverse of the relevant frequency dependent compliance limit to provide a direct read-out expressed in terms of the relevant exposure quotient (see 6.2.2.3.3.2).

To evaluate the highest RF field strength or the RF field strength at discrete points in a region, perform a search using the handheld sweep method (see 6.2.2.5.1), tripod procedure (see 6.2.2.5.2) or automated spatial sweeping procedure (see 6.2.2.5.3).

If required, spatial averaging of the field can be performed (see 6.2.2.5.4).

Investigate temporal variations in the field to ensure a stable indication of the RF field strength (see Annex J) or to fulfil related averaging time requirements for compliance determination (see 6.2.2.5.5).

6.2.2.3.3 Interpreting measurements over multiple frequency bands

6.2.2.3.3.1 Flat frequency response probe

If signals are being radiated over multiple frequency bands (e.g. 900 MHz and 1 800 MHz) and the probe is capable of operating accurately over the aggregate signal band then the lowest applicable compliance limit for the frequencies present shall be used to determine the combined exposure quotient expressed as a fraction/percentage of the relevant compliance limit.

6.2.2.3.3.2 Shaped frequency response probe

The measurement instrument sums the individual measurement levels at the frequencies of the various sources and presents the result in the form of an exposure quotient for example as a percentage of the applicable limit.

6.2.2.4 Frequency-selective RF field strength measurement

6.2.2.4.1 Applicability of frequency-selective RF field strength measurements

These techniques employ spectrum analysis or channel decoding to isolate and identify the RBS source and ambient frequencies. The method shall be used:

- to discriminate signals at different frequencies;
- when ambient fields are comparable to, or may exceed, the level of the RBS source;
- when information is needed to enable the precise extrapolation from the evaluation configuration to the assessment configuration;

NOTE For example, frequency-selective RF field strength measurement is used for the purpose of demonstrating compliance with a limit or exceedance of a limit without the potential overestimation associated with a broadband evaluation.

- for measurements in low RF field strength environments (e.g. public areas) where the higher sensitivity of spectrum analysers/receivers compared with broadband probes makes this method especially suitable.

6.2.2.4.2 Frequency-selective RF field strength measurement method

When using frequency-selective instrumentation, ensure the instrumentation covers the frequency range of the signals to be evaluated (see Annex N). Measurement over a wide range of frequencies may in some cases require more than one measurement antenna.

The RF field strength measurement shall consider contributions from all directions/polarisations. An isotropic antenna is best suited to this. Other antennas may be used in accordance with the following provisions:

- Single-axis (e.g. dipole) can be used to obtain the total RF field strength by positioning the probe in three orthogonal directions and summing the individual measured results.
- A directional measurement antenna or probe can be used to separate contributions from different directions (not source region I). These contributions shall be summed to determine the total field strength. However this value will be an overestimation of the true level.
- A directional antenna may be used for the handheld sweep method provided it is oriented to read the maximum RF field strength value.

Correlation between results obtained using isotropic and non-isotropic antennas may be influenced by the presence of strong multi-path signals.

Perform an initial broad spectrum scan to identify signals of interest for subsequent analysis.

For signals of interest (e.g. high level), increase the measurement resolution by centring on the signal frequency and performing a specific measurement of each signal.

Each of the relevant frequency bands to be investigated shall be analysed to determine the optimum settings for the selective meter. The resolution bandwidth setting shall take into account the RBS signal types and, when appropriate, ambient fields. Annex N provides technology-specific information useful for determining selective meter settings.

Additional processing is required for the measurement of signals that change level with time for example as function of the number of users accessing the communications system. Temporal variations in the field shall be investigated to ensure a stable indication of the RF field strength or to fulfil related averaging time requirements for determining compliance with the relevant limit (see 6.2.2.5.5). Annex J provides additional guidance on evaluating time varying signals.

To evaluate the highest RF field strength or the RF field strength at discrete points in a region, perform a search using a handheld RF field strength measurement procedure (see 6.2.2.5.1); tripod RF field strength measurement procedure (see 6.2.2.5.2); or automated spatial-sweep measurement procedure (see 6.2.2.5.3). Additionally, spatial averaging of the field can be performed (see 6.2.2.5.4) (see Table A.1).

To obtain an estimate of the maximum possible level (see 6.4 and Annex J) extrapolation of the result shall be performed if required. This post-processing is required to determine a time-independent maximum possible RF field strength that in turn can be used to establish compliance boundaries around antennas.

6.2.2.5 RF field strength measurement procedures

6.2.2.5.1 Handheld instrument RF field strength measurements

6.2.2.5.1.1 Determining the RF field strength at fixed points of interest

Measurements shall be made using a measurement antenna or isotropic probe with its antenna factor calibrated as a function of frequency. If a non-isotropic measurement antenna is used, it shall be oriented to read the maximum value (when performing a search for a maximum RF field strength value and/or its location). In the case of single axis probe / measurement antenna, it shall be rotated to obtain the three orthogonal components of the field and the measurement result summed (r.s.s.) to obtain the total RF field strength.

6.2.2.5.1.2 Sweeping a volume to determine a RF field strength of interest and/or its location

The handheld sweep method shall be used *in situ* to:

- determine the locations with the RF field strength of interest that has been identified in the evaluation plan;

NOTE 1 The handheld sweep method may be used to determine locations for subsequent investigation using spatial averaging techniques

- determine the maximum RF field strength in a region without requiring information about location.

NOTE 2 In the case of an uncluttered environment, the maximum RF field strength from a single source is likely to be found in the main beam of the antenna.

The measurement antenna / isotropic probe shall be moved smoothly throughout the region avoiding proximity to objects (see 6.2.2.2). In general, measurements up to a height of 2 m above the floor or walkway are sufficient. The measurement antenna / isotropic probe shall be moved vertically and horizontally throughout the region under test while observing the instrument display. In addition, see 6.2.2.4.2 if a non-isotropic measurement antenna/probe is used. Careful sweeping is necessary around the location where the value of interest is expected.

When searching for the spatial-peak field strength in a region, the displayed/recorded signal trace shall be set to capture the maximum level (i.e. maximum hold). The measurement antenna / isotropic probe shall be swept slowly over the region in order not to miss any maxima.

When using frequency-selective instruments:

- the r.m.s. detector shall be selected,
- the number of sweeps per second of the spectrum analyser shall not be too high and the frequency span shall be sufficiently small to ensure an accurate evaluation of the r.m.s. value of the signal (see Annex N.3).

Where there is more than one frequency of interest, a scan shall be made of the entire frequency range of interest to identify frequency peaks and their respective levels.

NOTE 3 It may be necessary to separate the frequencies into various groups (bands) to identify the levels of emissions from these individual bands.

6.2.2.5.2 RF field strength measurements using tripod-supported instrument/antenna

The measurement equipment and general methodology specified in 6.2.2.5.1 are applicable to the tripod method, however influences of the surveyor's body are reduced. A support/mounting system that is non- or minimally perturbing (e.g. wooden tripod) to the field shall be used to hold the measurement antenna / isotropic probe in position during measurements.

A scan of the region under investigation using the handheld sweep method (see 6.2.2.5.1) shall be performed to determine the locations of significant RF field strength levels and limit the size of the investigative volume. Select an area/volume around these locations and divide it into a suitable measurement grid to enable a finer investigation of the field. The resolution of such a grid shall be suitable to distinguish all field gradients and capture all field peaks.

NOTE The smallest step size may be limited by the dimensions of the measurement antenna / isotropic probe.

6.2.2.5.3 RF field strength measurements using automated spatial positioning equipment

Laboratory-based measurements of the RF field strength shall be performed with automated (or semi-automatic) spatial positioning equipment. The measurement antenna / isotropic probe is mounted on the positioner and automatically swept over a line, area or volume to capture/store RF field strength readings. These values can be processed for example to

obtain the maximum reading and spatially-averaged values over the scanned line/surface/volume.

The positioner shall be constructed in a manner that minimises reflections and perturbation of the field over the frequency range of interest. The scattering effect of the positioner shall be quantified and included in the uncertainty calculation.

6.2.2.5.4 Spatial averaging

6.2.2.5.4.1 Applicability of spatial averaging

Spatial averaging applicability depends on the relevant limit as described in A.3.2.

In a non-plane wave RF field, comparing the maximum RF field strength evaluated at a single point with the compliance limit may overestimate the whole body RF absorption. Spatially averaging the RF field strength in regions that a body occupies provides a better representation of the whole body human exposure. Annex I provides further information and guidance on spatial averaging schemes.

In cases of doubt or to resolve disputes, the reference spatial averaging method is the spatial average over nine points (see Figure I.1).

Where partial body exposure is relevant, (e.g. to establish compliance with a relevant peak spatial-average SAR limit or to compare with a relevant point RF field strength limit) then the maximum RF field strength at any of the measurement points may also need to be considered (see Annex A.3.2).

6.2.2.5.4.2 Spatial averaging measurement method

For each evaluation location, perform measurements as described in 6.2.2.5.1; 6.2.2.5.2; or, 6.2.2.5.3 at measurement points according to the spatial averaging scheme (see Annex I).

The spatially-averaged value of the RF field strength at each evaluation location is determined using:

$$\bar{E} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_p} E_i^2}{N_p}} \quad \text{or} \quad \bar{H} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_p} H_i^2}{N_p}} \quad \text{or} \quad \bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^{N_p} S_i}{N_p} \quad (2)$$

where:

$\bar{E}$ is the spatially-averaged electric field strength at the evaluation location;

E_i is the r.m.s. value of the electric field strength at the i^{th} measurement point;

$\bar{H}$ is the spatially-averaged magnetic field strength at the evaluation location;

H_i is the r.m.s. value of the magnetic field strength at the i^{th} measurement point;

N_p is the total number of measurement points for each evaluation location;

$\bar{S}$ is the spatially-averaged plane wave equivalent power flux density at the evaluation location;

S_i is the plane wave equivalent power flux density at the i^{th} measurement point.

For a frequency-selective measurement, the above formula shall be evaluated separately for each frequency band.

6.2.2.5.5 Time averaging measurement procedure

6.2.2.5.5.1 Applicability of time averaging

Time averaging is applicable where the RF field strength varies over time for example as a result of changing propagation conditions or variations of the transmitter power due to traffic variations or power control or due to push-to-talk transmitter operation.

The relevant exposure standard may specify the applicable time averaging period. Time averaging over periods different to the relevant exposure standard may provide useful information but shall not be used for comparison with the relevant exposure limits.

Time averaging can be employed for push-to-talk (PTT) systems, where the RBS transmits only when the operator keys up the transmitter during simplex communication. Duty cycle data may be considered as a subsequent correction if required for the evaluation purpose.

NOTE 1 Depending on the relevant exposure standard; the instantaneous RF field strength may exceed the relevant limit value provided that its time-averaged value is below the relevant limit (see Annex A.3.2).

NOTE 2 The time-averaged RF field strength can provide a valid result at the time of measurement but may not be indicative of the field conditions at other periods.

NOTE 3 Data on the RF field strength variation over the measurement time can help establish whether such variations can be treated as a measurement uncertainty influence quantity or whether a time averaging measurement method is required for the evaluation (see Annex J).

6.2.2.5.5.2 Time averaging method

The following steps shall be performed:

- a) Determine when to perform the measurement. For example, this may be related to the time of day to ensure evaluation during highest RF field strength conditions – i.e. under maximum traffic.

NOTE 1 Data logging over an extended period (day/week) may be useful in determining when to perform the time-averaged evaluation.

- b) Specify the averaging time, for example, according to the relevant exposure standard.
- c) Specify the evaluation location. For example, use the sweep method (see 6.2.2.5.1.2) to establish the location of spatial-peak field strength.
- d) Perform the evaluation.

NOTE 2 Such measurements may be performed with portable data logging devices adapted to the averaging time of the relevant compliance standard / exposure guideline. These can provide a “sliding” average (i.e. the instantaneous value of the average over a period of time ending at the present time and starting at the appropriate averaging time before the present).

6.2.2.6 RF field strength measurement uncertainty

The sources of uncertainty identified in Table 2 or Table 3 shall be considered in three categories: measurement equipment; measurement methodology; and, source and environment.

- The measurement equipment uncertainty shall be in accordance with Annex E.
- The measurement methodology uncertainty shall be quantified.
- Source and environment factors (e.g. rain, open windows, environmental clutter) may be difficult to quantify but shall at least be described in the report (see Clause 8).

It is recommended that the expanded uncertainty of the measurement equipment and the methodology combined (i.e. excluding all source and environment influence factors) does not exceed 4 dB.

It is recommended that, where practical, the uncertainty of the source and environment factors is quantified.

Table 2 – Sample template for estimating the expanded uncertainty of a RF field strength measurement that used a frequency-selective instrument

[illegible]

Combined standard uncertainty, $u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^N (c_i^2 u_i^2)}$	
Coverage factor for required (e.g. 95 %) confidence interval, k	
Expanded uncertainty, $U = k \times u_c$	
NOTE 1 The value of divisor d for normal probability distribution is for 95 % confidence, see Annex O.2.	
NOTE 2 See Annex O for guidance on the variables in this Table.	

Table 3 – Sample template for estimating the expanded uncertainty of a RF field strength measurement that used a broadband instrument

Source of uncertainty (influence quantity)	Unit	Prob. distrib. type	Uncertainty or semi span a	Divisor d	Sens. coeff. c	Standard uncertainty $u = a/d$	Corr. fact. t	$c^2 u^2$
Measurement equipment								
Calibration of field probe	dB	normal		1,96	1			
Frequency response of field probe	dB	rect.		$\sqrt{3}$	1			
Isotropy of the field probe	dB	rect.		$\sqrt{3}$	1			
Temperature response of the field probe	dB	rect.		$\sqrt{3}$	1			
Linearity deviation of the field probe	dB	rect.		$\sqrt{3}$	1			
Methodology								
Meter reading error of fluctuating signals	dB	triang.		$\sqrt{6}$	1			
Field reflections from surveyor's body	dB	rect.		$\sqrt{3}$	1			
Probe position in high field gradients	dB	rect.		$\sqrt{3}$	1			
Mutual coupling between measurement antenna or isotropic probe and object	dB	rect.		$\sqrt{3}$	1			
Source and environment								
Variation in the power of the RF source from the nominal level	dB	rect.		$\sqrt{3}$	1			
Scattering from nearby objects and the ground	dB	rect.		$\sqrt{3}$	1			
Field reflections from movable large objects near the source	dB	rect.		$\sqrt{3}$	1			

Combined correction factor, $t_c = \sum_{i=1}^N t_i$		N/A
Combined standard uncertainty, $u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^N (c_i^2 u_i^2)}$		
Coverage factor for required (e.g. 95 %) confidence interval, k		
Expanded uncertainty, $U = k \times u_c$		
NOTE 1 The value of divisor d for normal probability distribution is for 95 % confidence, see Annex Q.2.		
NOTE 2 See Annex O for guidance on the variables in this Table.		

6.2.3 SAR measurement method

6.2.3.1 Overview of SAR measurement method

The maximum peak spatial-average SAR (normally averaged over 1 g or 10 g of tissue) can be evaluated by measurements of induced electric fields in an equivalent body model (e.g. flat phantom) exposed to RF electromagnetic fields. Other IEC standards specify SAR measurement methods and procedures for radiocommunication terminals used at the ear (IEC 62209-1) and held near the face or to the body (IEC 62209-2). The methods below are based on, and make reference to IEC 62209-1 and IEC 62209-2.

6.2.3.2 SAR measurement applicability

The SAR measurement procedures described here are applicable for small stand alone equipment/devices and multi-element single-column base station antennas shorter than or equal to 1,5 m. The distance between the phantom and the outer surface of the radiating structure (antenna) shall not exceed 1 000 mm. SAR measurements may be performed in the whole frequency range covered by this standard.

6.2.3.3 SAR measurement requirements

6.2.3.3.1 General requirements

The SAR measurement system is composed of a flat body phantom shell filled with tissue simulating liquid, a device holder, an electric field probe, a probe scanning system and electronic measurement instrumentation. General specifications and requirements on all of these components as well as on the measurement environment are given in IEC 62209-2:2010 (Clause 5) and IEC 62209-1:2005 (Annex B). Other tissue simulating materials (e.g. gel) and electric field strength measurement systems (e.g. grid of fixed probes) may be used provided the general requirements of IEC 62209-1 and IEC 62209-2 are satisfied.

6.2.3.3.2 Phantom selection

The methods described in this standard use two phantoms (See Figure 3):

- For maximum peak spatial-average SAR measurements, the elliptical phantom specified in IEC 62209-2:2010 may be used if the broadside of the EUT can be circumscribed by the ellipse.
- Otherwise the flat box-shaped whole-body phantom [50],[72] shall be used.

- This has lateral dimensions of 1,54 m × 0,339 m.
- The phantom shell thickness shall be up to 2 mm as specified in IEC 62209-2:2010, however, external strengthening fins of a maximum height (thickness) of 3 mm may be used provided that the effect on the local spatial peak SAR is less than 5 %. When the phantom is filled with tissue simulating liquid at the required depth, the sagging shall be less than 2 mm from true flat.

NOTE The effect of strengthening fins on local spatial peak SAR is something that is verified by the phantom manufacturer. One way to do this is to compare the result obtained with results obtained using the elliptical flat phantom in IEC 62209-2:2010. Another way is to use simulations using generic dipole sources to assess the effect in the near field and the plane wave incidence to address effects for far field exposure.

- The depth of the tissue simulating liquid during the measurements shall be at least 0,15 m from the shell-liquid interface.

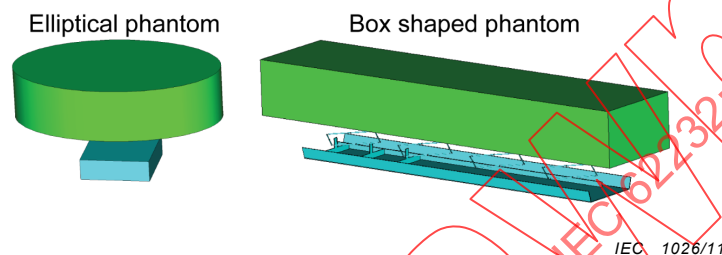


Figure 3 – Positioning of the EUT relative to the relevant phantom

6.2.3.3.3 EUT configuration for SAR measurement

If the EUT is a RBS with integrated antenna(s), it shall use its internal transmitter, the normal power supply, and the original antenna(s). The RBS shall be configured according to the specifications provided by the manufacturer, and the output power and frequency (channel) shall be controlled using an internal test program or by appropriate external equipment. A continuous wave (CW) signal may be used if the average power is adjusted to produce a conservative result.

If the RBS is intended for use with external antenna(s), the same requirements apply, but the RBS may be replaced with any transmitter providing the same antenna input power and frequency as the RBS under evaluation.

6.2.3.3.4 Measurement requirements

If the purpose of the evaluation is to establish product conformity, establish the compliance boundary or confirm the control boundary then the maximum SAR configuration shall be the assessment configuration (see 3.4). The following requirements shall be addressed:

- Maximum peak spatial-average SAR and whole-body SAR shall be considered.
- The measurement should be performed at the highest output power level, as specified by the manufacturer or the network operator. Alternatively, the measurement may be performed at a known lower power level and the result scaled to the highest power level numerically (see 6.4 and Annex L) and documented in the test report.
- The RF transmission characteristics of the EUT shall be taken into account, i.e. operating modes, operating bands and antenna configurations. Where there are multiple modes, bands or antenna configurations, they shall all be evaluated, at the corresponding specified power levels.
- If the EUT is capable of simultaneous multiple transmission (e.g. GSM 900 and GSM 1800), this mode shall also be evaluated.
- To determine the maximum SAR, the evaluation shall be performed with the antenna, or the side of the device where the antenna is located, facing the phantom. The antenna or device shall be positioned so as to obtain the highest possible SAR, which for many situations imply that the antenna's main lobe direction shall be orthogonal to the phantom surface.

- f) During the measurements the centre of the EUT/antenna shall be placed below the centre of the relevant (see 6.2.3.3) phantom (see Figure 3). To avoid that an antenna element is positioned close to an edge of the phantom, small adjustments of the positioning may be made. The EUT positioning shall be documented in the test report.
- g) To establish the validity of a control boundary, if the user instructions provided by the manufacturer or site safety instructions/signage specify a minimum separation distance (or several separation distances) between the device/antenna and the body of a person, the test shall be performed at a separation distance (or separation distances) between the device/antenna and the tissue simulating liquid that corresponds to the specified minimum separation distance(s). In the absence of any such instructions/signage, the measurement shall be performed at 5 mm.
- h) To establish the compliance boundary, testing shall be performed at different separation distances between 5 mm and up to 1 000 mm from the tissue simulating liquid to determine the compliance distance, i.e. the distance at which the SAR value is below the appropriate SAR limit for the assessment configuration. Measurements in a number of positions may be needed. For guidance on compliance boundary evaluation see Annex C.3.

Control boundaries and compliance boundaries for different power levels may be obtained by linear scaling of a SAR versus separation distance curve (see Annex C.3).

6.2.3.4 SAR measurement description

6.2.3.4.1 General method

The SAR evaluation protocol is described below. The applicable parts (see NOTE) of the following subclauses of IEC 62209-2:2010 shall be applied:

- 6.1.1 General preparation;
- 6.1.2 System check;
- 6.1.4. Position of the device under test in relation to the phantom;
- 6.1.5 Test frequencies;
- 6.2.4 Fast SAR evaluations;
- 6.3 Measurement procedure;
- 6.4 Post-processing.

NOTE IEC 62209-2 specifies localized SAR measurement procedures for wireless communication devices used in close proximity to the human body. Therefore the IEC 62209-2 subclauses listed above are not relevant in their entirety for the localized and whole-body SAR measurements relating to radio base stations. General specifications concerning measurement preparation are applicable for both localized and whole-body SAR measurements. Parts of the fast SAR evaluations, measurement procedure, and post-processing are only applicable for localized SAR assessments (evident from its context).

6.2.3.4.2 Maximum peak spatial-average SAR measurement description

For each of the measurement configurations required in 6.2.3.3, the maximum peak spatial-average SAR shall be evaluated in four steps:

- a) Use the measurement procedures specified in IEC 62209-2:2010 subclause 6.3 to determine an initial measured peak spatial-average SAR, $SAR_m(d)$, using the relevant phantom (see 6.2.3.3.2).
- b) Determine the correction factor, $CF_1(d)$, to be applied to take into account a possible increase in maximum peak spatial-average SAR due to a tissue layering effect using the following formula:

$$CF_1(d) = \begin{cases} 1 & d < 200 \text{ mm} \\ \frac{d}{200} & 200 \text{ mm} \leq d < 400 \text{ mm} \\ 2 & 400 \text{ mm} \leq d \leq 1\,000 \text{ mm} \end{cases} \quad (3)$$

NOTE 1 For EUT distances above 200 mm, the maximum peak SAR in an actual human body may exceed the maximum SAR obtained from measurements in the specified flat phantom. At 400 mm distance or above, the real SAR can be up to a factor of 2 higher than the phantom SAR. The correction factor $CF_1(d)$ has been introduced to account for this effect.

- c) Determine the correction factor, $CF_2(d)$, to account for a possible increase in maximum peak spatial-average SAR for small phantom-antenna separations related to effects of varying antenna element load conditions [73] using the following formula:

$$CF_2(d) = \begin{cases} 2 & d \leq \frac{\lambda}{4} \quad \text{AND } N_e > 1 \\ -\frac{4d}{7\lambda} + \frac{15}{7} & \frac{\lambda}{4} < d < 2\lambda \quad \text{AND } N_e > 1 \\ 1 & d \geq 2\lambda \quad \text{OR } N_e = 1 \end{cases} \quad (4)$$

NOTE 2 For example, $CF_2(d)$ has a value of 1 for single element antennas

NOTE 3 In the interpolation function in equation (4), d and λ shall both be measured in the same units (e.g. mm or m).

- d) Determine maximum peak spatial-average SAR using the following formula

$$SAR_{psa}(d) = SAR_m(d) \times CF_1(d) \times CF_2(d) \quad (5)$$

where

d is the EUT distance (mm) measured from the liquid surface

N_e is the number of elements in the antenna array

$SAR_m(d)$ is the uncorrected measured peak spatial-average SAR averaged over either 1 g (SAR_{1g}) or 10 g (SAR_{10g})

$SAR_{psa}(d)$ is the evaluated maximum peak spatial-average SAR over either 1 g (SAR_{1g}) or 10 g (SAR_{10g}) according to the averaging used in step a) for the measurement configuration

6.2.3.4.3 Whole-body SAR measurement description

For each of the measurement configurations required in 6.2.3.3, the whole-body SAR measurement is performed in two steps:

- a) First determine the average (temporal) absorbed power, P_A , in the phantom at a given separation distance from the antenna by measuring the electric field strength in the volume defined by the area of the phantom and bounded by the planes $z = 0$ to $z = 0,09$ m (where $z = 0$ is the shell-liquid interface) [50],[72]. The measurement procedures in subclause 6.3 of IEC 62209-2:2010 shall be applied whenever applicable using the following grid spacing:
- The maximum horizontal grid spacing shall be 20 mm for frequencies below 3 GHz and $(60/f_{GHz})$ mm for frequencies of 3 GHz and greater.
 - The grid step in the vertical direction for a uniform spacing shall be $(8 - f_{GHz})$ mm or less but not more than 5 mm (IEC 62209-2:2010).
 - If a variable spacing is used in the vertical direction, the maximum spacing between the two closest measured points to the phantom shell shall be $(12/f_{GHz})$ mm or less but not more than 4 mm. The spacing between farther points shall increase by a factor not exceeding 1,5 (IEC 62209-2:2010). When variable spacing is used, extrapolation routines shall be tested with the same spacing as used in measurements.
 - To reduce the time needed to perform whole-body SAR measurements, procedures based on measurements in one or more planes may be used in combination with various techniques for numerical field propagation (e.g. [75]), provided that
 - the procedure has been thoroughly verified with volumetric measurements, and

– the uncertainty has been quantified.

b) The second step is to evaluate the whole body SAR, SAR_{wb} , using the following formula:

$$SAR_{wb}(d) = \frac{P_A(d) \times 1,8}{M} \quad (6)$$

where:

$P_A(d)$ is the average temporal absorbed power (watts) in the phantom measured at a distance d , the EUT distance (mm) measured from the liquid surface

M is the mass of the body measured in kilograms. For determining a compliance boundary or confirming a control boundary it is recommended that for adults M should be 46 kg ([50],[72]), and for children M should be 12,5 kg (corresponding to the 3rd percentile body weight data for a 4-year old girl [74]).

NOTE The multiplicative correction factor of 1,8 (2,5 dB) accounts for the tissue layering effect ([50], [72]).

6.2.3.5 SAR measurement uncertainty

Measurement uncertainty shall be estimated using the specifications in Clause 7 of IEC 62209-2:2010. For whole-body SAR measurements the uncertainty estimation shall be made in terms of absorbed power. The SAR measurement procedure has been designed to produce results which are located on the conservative side of the probability distribution.

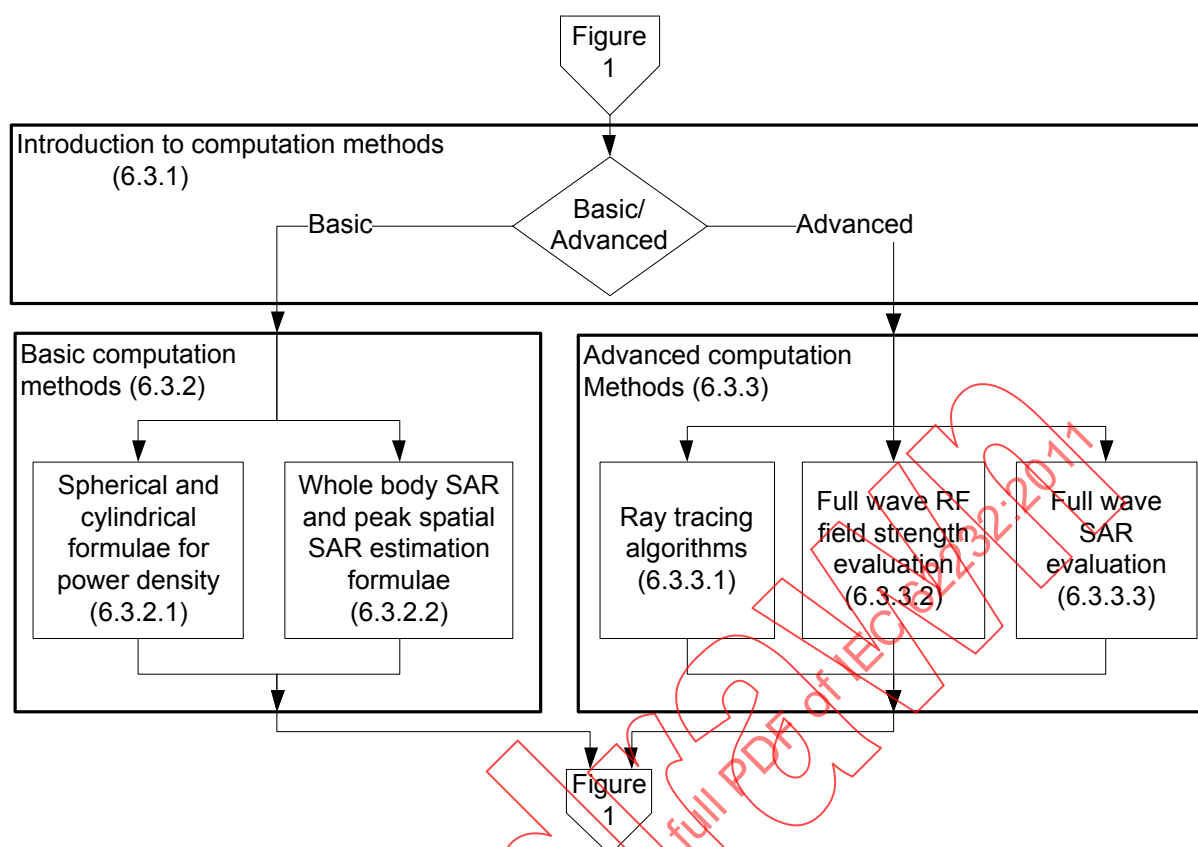
6.3 Computation methods

6.3.1 Overview and general requirements

Computing RF field strength and SAR can be less labour intensive than measurements and can play a useful role in the RF field evaluations at RBS sites. Figure 4, an expansion of the RF field strength / SAR computation block from Figure 1, presents an overview of computation methods described in this standard.

When considering which computation method to select, the simplest applicable method should be used that gives the required level of precision for the required measurand. A more comprehensive (advanced) evaluation method will usually take much longer to perform; however, the results obtained can be more precise and may take precedence when compared to the results of a quick and easy evaluation - see the evaluation ranking Table A.7. Table A.6 provides further guidance on how to select the appropriate computation method.

Each computation method shall be validated before it is used. As a minimum, the described computation methods shall be verified against the results presented in Annex H. These results have been obtained from computational codes that have been verified extensively against canonical problems as well as measurements in the published literature. These reference results have been produced by experienced users of computational techniques. For methods or cases not covered in Annex H, validation shall be completed against measured data.



IEC 1027/11

Figure 4 – Overview of computation methods

Table 4 provides a summary of applicable computation methods (basic and advanced) in the source-environment plane (see Figure B.1).

**Table 4 – Applicability of computation methods
for source-environment regions of Figure B.1**

	Applicable methods ^a		
	Source Region I	Source Region II	Source Region III
Environment Region M	1. Full wave – Field strength (see 6.3.3.2) 2. Full wave – SAR (see 6.3.3.3)	1. Ray tracing algorithm (see 6.3.3.1) 2. Full wave – Field strength (see 6.3.3.2) 3. Full wave – SAR (see 6.3.3.3)	1. Ray tracing algorithm (see 6.3.3.1) 2. Full wave – Field strength (see 6.3.3.2) 3. Full wave – SAR (see 6.3.3.3)
Environment Region 1	1. Full wave – Field strength (see 6.3.3.2) 2. Full wave – SAR (see 6.3.3.3)	1. Cyl.-spherical formula (see 6.3.2.1) 2. Ray tracing algorithm (see 6.3.3.1) 3. Full wave – Field strength (see 6.3.3.2) 4. Full wave – SAR (see 6.3.3.3)	1. Cyl.-spherical formula (see 6.3.2.1) 2. Ray tracing algorithm (see 6.3.3.1) 3. Full wave – Field strength (see 6.3.3.2) 4. Full wave – SAR (see 6.3.3.3)
Environment Region 0	1. SAR estimation formulae (see 6.3.2.2) 2. Full wave – Field strength (see 6.3.3.2) 3. Full wave – SAR (see 6.3.3.3)	1. SAR estimation formulae (see 6.3.2.2) 2. Cyl.-spherical formula (see 6.3.2.1) 3. Ray tracing algorithm (see 6.3.3.1) 4. Full wave – field strength (see 6.3.3.2) 5. Full wave – SAR (see 6.3.3.3)	1. SAR estimation formulae (see 6.3.2.2) 2. Cyl.-spherical formula (see 6.3.2.1) 3. Ray tracing algorithm (see 6.3.3.1) 4. Full wave – field strength (see 6.3.3.2) 5. Full wave – SAR (see 6.3.3.3)
^a Methods are listed in order of recommendation for the specific source-environment plane geometry under consideration.			

- **Basic computations (see 6.3.2):** The basic computation formulae presented in 6.3.2 are conservative formulae for the estimation of RF field strength, power density or SAR. The formulae are easy to implement and may be adequate for RF field strength and SAR evaluation. No uncertainty estimations are required when using these formulae but there is clear guidance on where and when these formulae are applicable. The basic computation formulae can only be employed in limited applications as defined in 6.3.2.
- **Advanced computations (see 6.3.3):** For some scenarios more accurate evaluation may be required, for example field evaluation in the near-field of an antenna or SAR evaluations to the side of a RBS antenna. The advanced computation techniques are presented in 6.3.3, with specific guidance on how these methods shall be employed (typically, but not necessarily, using commercially available software). If an advanced method is selected, a full uncertainty analysis shall be performed. The subclauses on uncertainty related to each advanced computation method present the minimum uncertainty parameters that shall be considered.

6.3.2 Basic computation methods

6.3.2.1 Spherical and cylindrical formulae for power density

6.3.2.1.1 Overview of spherical and cylindrical formulae

For the sector or omnidirectional linear array configurations with arbitrary polarizations widely employed in wireless communications infrastructure, the fields in the near-field of the RBS antenna have a cylindrical character [3], [4] which gradually converts to spherical in the far-field. Simple formulae can be used to predict the fields radiated by these linear arrays.

This subclause discusses the conditions under which these estimation formulae can be applied.

6.3.2.1.2 Applicability of spherical formulae

The far-field spherical formulae can be used to evaluate the spatial-peak and spatially-averaged RF field strengths. The spatially-averaged and spatial-peak equivalent power densities can be evaluated as follows:

$$S = \frac{\bar{P}_{\text{avg}} \cdot G_{\theta,\phi}}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \quad (7)$$

The associated r.m.s. electric field strength E and magnetic field strength H can be evaluated as follows:

$$E = \frac{\sqrt{30 \cdot \bar{P}_{\text{avg}} \cdot G_{\theta,\phi}}}{r} \quad (8)$$

$$H = \frac{E}{\eta_0} \quad (9)$$

The far-field spherical formulae shall only be used considering the following limitations:

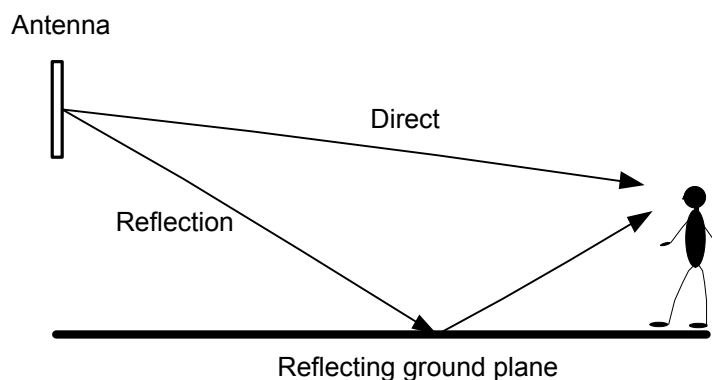
- $r \geq \frac{2L^2}{\lambda}$, where L is the maximum dimension of the antenna.
- For the estimate of S , E or H to be conservative, $\bar{P}_{\text{avg}}$ and $G_{\theta,\phi}$ values shall be the upper bounds of the uncertainty.
- Reflecting surfaces/objects, a ground plane and mounting structures are not allowed in the general direction of the evaluation point if the above equations are to be used.

If a reflecting ground plane is present (e.g. see Figure 5), use the equation:

$$S = (1 + |\Gamma|)^2 \cdot \frac{\bar{P}_{\text{avg}} \cdot G_{\theta,\phi}}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \quad (10)$$

with reflection coefficient $|\Gamma| = 1$ for the theoretical highest field strength scenario of a perfectly conducting ground plane (e.g. flat metallic roof) or with reflection coefficient $|\Gamma| = 0,6$ for typical [46] ground reflection conditions.

See Annex D for definition of variables.



IEC 1028/11

Figure 5 – Reflection due to the presence of a ground plane

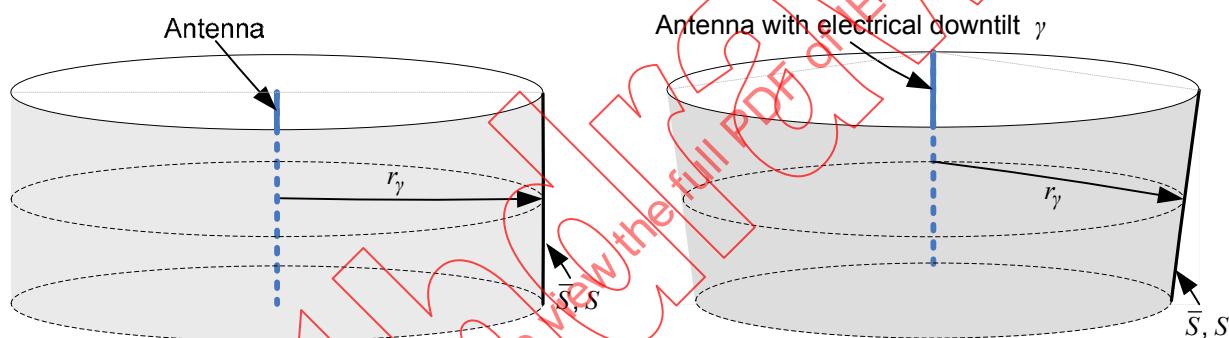
The adjusted spherical formulae presented in F.2 [53] can be employed inside parts of source regions I and II (spatial-peak and spatial-average field strength) but evaluations are limited to the zones detailed in Figure F.2. The advantage in using the adjusted spherical formulae is to obtain conservative but realistic RF field strength evaluations much closer to the antenna than with the classical far-field formulae referenced above.

Another set of relatively basic adjusted spherical formulae that can be used in source region II (radiating near-field) is presented in [51], [52] which details the limitations of the technique.

6.3.2.1.3 Applicability of cylindrical formulae

The cylindrical formulae presented in F.2 can be used to calculate

- the spatial-peak power flux density, S , in those parts of all source regions (see Annex B) limited to the enclosed cylinder of the antenna array (see Figure 6); and,
- the power flux density spatially-averaged over the length of the antenna, $\bar{S}$, within those parts of source region III limited to the enclosed cylinder of the antenna array (see Figure 6).



IEC 1029/11

Figure 6 – Enclosed cylinder around collinear arrays, with and without electrical downtilt

Limitations for applying the cylindrical formulae:

- The electrical tilt angle, γ , of the linear array shall be less than or equal to 10° . The cylindrical formulae do not take into account the formation of grating lobes near end-fire, whose power content typically becomes significant for electrical tilt angles greater than 10° .
- The presence of reflecting surfaces/objects, reflecting ground planes and mounting structures (mast, tower, wall, etc) in the general direction of the evaluation point is not allowed.

6.3.2.1.4 Procedures to follow when applying the spherical and cylindrical formulae

The following procedure shall be followed when performing an evaluation using the spherical or cylindrical formulae:

- a) Ensure that the evaluation will be valid considering the restrictions and limitations of the different methods.
- b) Implement the formulae presented above, in Annex F or in the relevant referenced technical papers.

NOTE A basic spreadsheet or mathematics modelling package implementation would be sufficient.

- c) Validate the implementation by comparing example results to known or published results. For the adjusted spherical formulae and cylindrical formulae given in Annex F, validation shall be performed by comparing against results presented in H.1.

- d) Establish input parameters (see 6.3.2.1.5).
- e) Perform the field evaluation(s) using the formulae.
- f) Report on the evaluation using the guidelines presented in Clause 8 (also see Clause 7, Annex L, and, Annex M).

6.3.2.1.5 Input requirements

To apply the far-field spherical formulae the following information is required:

- $\bar{P}_{\text{avg}}$, $G_{\theta,\phi}$, η_0 , and r (see 4.2, Annex D and Annex F.2.1);

In addition, the adjusted spherical formulae require the following information:

- G , $G_{\text{side lobe}}$, $\phi_{3\text{dB}}$, $\theta_{3\text{dB}}$, γ , and λ (see Annex D)

To apply the cylindrical formulae L and r_γ (see Annex F.2) are also required.

6.3.2.2 Whole body SAR and peak spatial-average SAR estimation formulae

6.3.2.2.1 Applicability

The formulae in this subclause can be used to estimate the peak spatial-average SAR and whole-body SAR for RBS antennas where the driven elements of the antenna lie on the same vertical axis. Estimation formulae are given for three main directions: front (main beam), axial, and back according to Figure 7.



IEC 1030/11

Figure 7 – Directions for which SAR estimation expressions are given

Table 4 summarizes recommended and permitted applications for the SAR estimation formulae ([49], [50]) in terms of the source-environment plane regions. Further constraints on the applicability of the estimation formulae are summarized in Table 5.

Table 5 – Applicability of SAR estimation formulae

Directions of validity	Antenna types	Frequency range (MHz)	Estimation value provided	Additional restrictions
Front	Directional (vertically polarized and cross-polarized) and omnidirectional RBS antennas	300 to 5 000	Upper bounds of localized and whole-body SAR within the main beam of the antenna	Phantom to antenna separation distance, d greater than 20 cm. Formulae applicable for adult RF exposure evaluation
Back	Directional (vertically polarized and cross-polarized) RBS antennas	700 to 2 700	Upper bound of localized SAR in a plane behind the antenna oriented perpendicular to the back direction	N/A
Axial	Directional (vertically polarized and cross-polarized) and omnidirectional RBS antennas	700 to 2 700	Upper bound of localized SAR in a plane above (or below) the antenna oriented perpendicular to the axial direction	N/A
NOTE The frequency range is limited based on completed validation. Extension of the applicable frequency range and directions of validity requires further study.				

The method may be employed for multiple sources (multiple antennas operating at the same or different frequencies), see 6.5.

6.3.2.2.2 Using the SAR estimation formulae

The following procedure shall be followed when employing the SAR estimation formulae:

- Ensure that the evaluation will be valid considering the restrictions and limitations of the method.
- Implement the formulae presented in F.3.
- Validate the implementation against the results presented in H.2.
- Establish input parameters (see 6.3.2.2.3).
- Perform the SAR evaluation(s) using the validated implementation.
- Report on the evaluation using the guidelines presented in Clause 8 (also see Clause 7, Annex L, and Annex M).

6.3.2.2.3 Input parameters

To apply the SAR estimation formulae the following information is required:

- Frequency bands for all transmitters;
- $\bar{P}_{\text{avg}}$, N_e , $\phi_{3\text{dB}}$, $\theta_{3\text{dB}}$, G , (see Annex D);
- L , the physical antenna array length for each band measured in metres.

6.3.2.2.4 SAR estimation formulae uncertainty

The SAR estimation formulae will give a conservative estimate (≥ 95 % confidence level) of localized and whole-body SAR provided that the input parameters are chosen within their range so as to maximize the estimated value.

6.3.3 Advanced computation methods

6.3.3.1 Ray tracing algorithms

6.3.3.1.1 Applicability of ray tracing algorithms

Various ray tracing algorithms have been developed (e.g. [3] [4], [5], [6], [7], [8], [9]) and implemented in commercial computer codes, for the evaluation of RF field strength in all directions around RBS antennas. The specific application of ray tracing for RBS antennas usually involves obtaining the electric field strength at an observation point using a vector sum of a number of small “patches” of the antenna treated as separate sources. This is also known as the synthetic model. These ray tracing algorithms are suited to evaluations in the far-field (source region III) and radiating near-field (source region II). Table 4 summarizes recommended and permitted applications for ray tracing methods. Typical implementations involve one, two or multi-rays. Applicability of each of these is discussed below.

a) Ray tracing – one-ray is commonly used for:

- Evaluation of RF field strength in the far-field or radiating near-field of one or more sources with **no or negligible** environmental reflectors (source-environment plane regions III-0 and II-0), for example towers, masts & poles.
- Can also be used in more complex environments but a more comprehensive uncertainty analysis is then required.
- Alternatively, the method can be enhanced by employing a factor to account for average ground reflection, for example as done in US FCC OET Bulletin 65 [46], where the factor is 1,6 for RF field strength (2,56 for power density) (source-environment plane II-1 and III-1).

b) Ray tracing – two-ray is commonly used for:

- Evaluation of RF field strength in the far-field or radiating near-field (source-environment plane II-1 and III-1) of one or more sources with **one** environmental reflector, for example roof-top reflection or ground reflection in open and semi-built up areas.
- Can also be used in more complex environments but a more comprehensive uncertainty analysis is then required.

c) Ray tracing – multi-ray is commonly used for:

- Evaluation of RF field strengths in the far-field or radiating near-field of one or more sources with **more than one** environmental reflector (source-environment plane regions II-M and III-M), for example complex roof-tops, or complex build up areas.
- This method would theoretically provide more accurate results than the one-ray or two-ray techniques, but for this to be the case very detailed and accurate information is required on the multiple environmental objects. In practice, one-ray or two-ray methods with appropriate uncertainty analysis taking possible multiple environmental reflectors into account would suffice.

6.3.3.1.2 Input requirements for ray tracing algorithms

The input data requirements for ray tracing techniques are listed below:

- transmitter power;
- RF transmission system losses;
- antenna gain;
- antenna aperture;
- antenna pattern;
- antenna mounting height, position and orientation;
- environmental clutter data (ground, buildings);
- topography.

If one or more of the input data values are unknown, ray tracing may still be used but the uncertainty estimation shall then include additional sources of uncertainty relating to the estimated data values.

6.3.3.1.3 Description of ray tracing algorithms

Ray tracing algorithms employ a simple approach which uses antenna pattern synthesis and spherical free-space wave propagation to calculate approximate field values in the radiating near-field as well as the far-field of antennas (source-environment plane regions II-* and III-*). The antenna parameters (gain, horizontal and vertical far-field radiation pattern cuts) are typically obtained from manufacturers published data. The methodology is widely understood and can be employed to evaluate multiple sources and different frequencies. Technical details for implementing ray tracing algorithms can be found in e.g. [3], [4], [5], [6], [7], [8], and [9].

Figure 8 shows the typical geometry and parameters to apply ray tracing with the synthetic model where r_1 to r_5 represent the direct path from the centre of the five individual radiating elements in the array to the point of interest and r'_5 represents the two-ray path from the lowest element of the array reflecting from the ground to the point of interest.

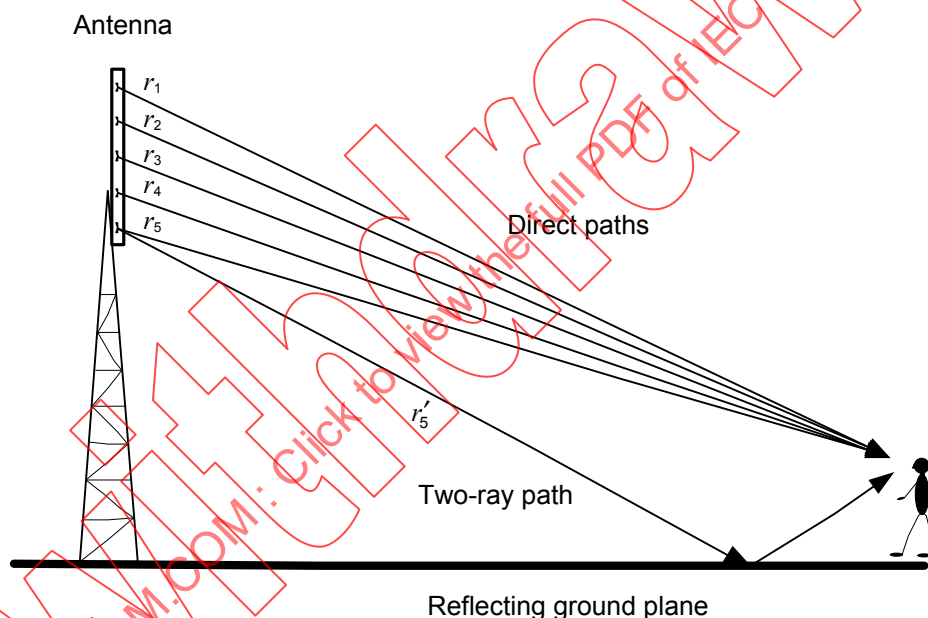


Figure 8 – Ray tracing (synthetic model) geometry and parameters

Ray tracing algorithms typically overestimate the RF field strength due to absorption of RF energy in the ground, building walls and other man-made structures that are not taken into account with basic implementations. This overestimation shall form part of the uncertainty analysis.

The following procedure shall be followed when employing ray tracing algorithms:

- Ensure that the evaluation will be valid considering the restrictions and limitations of the method.
- Select commercial code or implement algorithms.
- Validate using pre-calculated examples (see Annex H.3).
- Establish input parameters (see 6.3.3.1.2).
- Perform evaluation (apply ray tracing algorithm).
- Perform uncertainty analysis (see 6.3.3.1.4).

- g) Apply uncertainty for result interpretation (see Clause 7; Annex L; and, Annex M);
- h) Report on evaluation (see Clause 8).

6.3.3.1.4 Ray tracing uncertainty parameters

Uncertainty factors for ray tracing fall into three categories namely transmitter system, modelling technique and environmental uncertainties. Table 6 identifies the main uncertainty factors for these three categories. The surveyor shall work through these to make sure that he understands and tests for each applicable source of uncertainty.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 62232:2011

Table 6 – Sample template for estimating the expanded uncertainty of a ray tracing RF field strength computation

[illegible]

6.3.3.2 Full wave RF field strength computation

6.3.3.2.1 Full wave RF field strength computation applicability

Full wave analysis techniques (i.e. methods requiring Maxwell's equations to be solved anywhere) are essentially used when high accuracy is desired for the evaluation of RF fields for example for RBS RF field strength or SAR evaluation in source region I (the reactive near-field of the antenna(s)) where ray tracing methods cannot be employed with sufficient accuracy. An accurate and realistic numerical model of the antenna shall be created for a full wave field analysis. Multiple antennas (sources) at multiple frequencies can be modelled.

Full wave methods can also be employed in the source region II (~ radiating near-field) and source region III (~ far-field) but the increase in effort to create an accurate model together with the increase in required computational resources may not warrant the small increase in accuracy obtained in these regions, compared to ray tracing techniques. Table 4 summarizes recommended (1) and permitted (2 to 4) applications for full wave field evaluations. If any of the full wave techniques are used for analysis in the source region I (~ reactive near-field) with one or more reflectors present inside source region I, then geometrical details of the reflector/reflectors are required to be included in the model.

Full wave analysis in source regions II and III (~ radiating near-field or ~ far-field regions) are permitted. For these scenarios the antennas, and possibly one ground plane, can be included in the full wave analysis. For more environmental reflectors (environment region M) an extended uncertainty analysis is required to take these reflections into account.

6.3.3.2.2 Full wave RF field strength computation requirements

Computational resources needed to carry out full wave analysis vary greatly with the complexity and size of the structure to be analyzed as well as with the analysis method that is chosen. To be able to model an antenna and evaluate the RF field strength at least the following data is required:

- transmitter power;
- RF transmission system losses;
- detailed description of the antenna geometry;

NOTE 1 However, the model can be simplified to reduce the computational cost e.g. omit unnecessary detail which will not influence the results such as the feed network, or approximate an uneven metal plane with variations much smaller than a wavelength with an even plane. Detail such as screws and joints can be omitted and holes much smaller than the wavelength ($\lambda/20$ of the highest frequency) e.g. screw holes can be closed. Additionally, dielectric radome structures can typically be omitted in base station antenna simulations.

- antenna element excitation;
- antenna mounting height, position and orientation.

Additionally, for verification purposes the following manufacturer data are required:

- antenna gain;
- antenna pattern.

Environment clutter data (ground, buildings) and topography data is required, or shall be accounted for, in the uncertainty analysis/reporting.

NOTE 2 Environment data is not a requirement for product conformity assessments if it is assumed that the antenna is transmitting in free space.

6.3.3.2.3 Full wave RF field strength computation description

The main methods to use with full wave analysis are the Method of Moments (MoM) ([15], [35], [10], [11], [48]) the finite element method (FEM) ([12], [13], [14], [15], [48]) and the finite

difference time domain (FDTD) ([10], [16], [17], [18], [19], [48]) method. These methods are complex and difficult to implement. Nonetheless, various commercial software packages (as well as numerous in-house research codes) are available that can be used for full wave field analysis. Other techniques are also available and used in commercial software packages, which are closely related to the three methods mentioned above.

Each of the three main methods has strengths and weaknesses of its own. Method specific information about full wave field evaluation can be found in Annex G.

When performing full wave field analysis, either with a commercial package or an in-house implementation of any of the three techniques, the following procedure shall be followed:

- a) Ensure that the evaluation will be valid considering the restrictions and limitations of the method.
- b) Select commercial code or implement method.
- c) Validate 3D code against reference results (see Annex H.4).
- d) Prepare detailed antenna models and verify against measurements for evaluations in source region I.
- e) Perform field evaluation for each antenna (see Annex G).
- f) Study convergence for each antenna (see Annex G).
- g) Validate converged results against antenna specifications (each antenna).
- h) Perform field calculation for all antennas (see Annex G).
- i) Perform uncertainty analysis (see 6.3.3.2.4).
- j) Use uncertainty analysis for result interpretation (see Clause 7; Annex L; and, Annex M).
- k) Report of evaluation (see Clause 8).

6.3.3.2.4 Full wave RF field strength computation uncertainty

Various parameters shall be taken into account when estimating the expanded uncertainty associated with a full wave field solution. Table 7 is an uncertainty estimation template listing uncertainty parameters that shall be considered when using full wave RF field strength analysis - also see Annex O.5.

Table 7 – Sample template for estimating the expanded uncertainty of a full wave RF field strength computation

Source of uncertainty (influence quantity)	Unit	Prob. distrib. type	Uncertainty or semi span a	Divisor d	Sens. coeff. c	Standard uncertainty $u = a/d$	Corr. fact t	$c^2 u^2$
System								
Variation in the power of the RF transmitter from its nominal level	dB	rect.		$\sqrt{3}$	1			
Cable/connector losses	dB	normal		1,96	1			
Mismatch between antenna and its feed	dB	U		$\sqrt{2}$	1			
Antenna model	dB	normal		1,96	1			
Technique uncertainties								
Including computational assumptions, limitations, interpolation and extrapolation.	dB	normal		1,96	1			
Environmental uncertainties								
Scattering from nearby objects and the ground	dB	rect.		$\sqrt{3}$	1			
Using electric field strength evaluations to estimate magnetic field strength, or vice versa	dB	rect.		$\sqrt{3}$	1			
Combined correction factor, $t_c = \sum_{i=1}^N t_i$								N/A
Combined standard uncertainty, $u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^N (c_i^2 u_i^2)}$								
Coverage factor for required (e.g. 95 %) confidence interval, k								
Expanded uncertainty, $U = k \times u_c$								
NOTE 1 The value of divisor d for normal probability distribution is for 95 % confidence, see Annex O.2.								
NOTE 2 Numerical rounding errors are usually negligible compared to the other listed influence quantities.								
NOTE 3 A conservative alternative approach to estimating the standard uncertainty for antenna mismatch is to assume a perfect match.								
NOTE 4 See Annex O for guidance on the variables in this Table.								

6.3.3.3 Full wave SAR computation

6.3.3.3.1 Applicability of full wave methods for SAR evaluation

The strength of full wave techniques is that in addition to field evaluation they can also be used to evaluate SAR and therefore enable a comparison to be made with the relevant SAR

compliance limit. Subclause 6.3.3.2.1 gives information on different methods and their applicability for electromagnetic field evaluation in the near-field region of an antenna. All of the issues discussed in 6.3.3.2.1 shall be considered when performing full wave SAR analysis because it relates to the accurate numerical modelling of the antenna(s) which would serve as the source(s) for full wave SAR calculations. There are additional points to consider for numerical SAR evaluations. These points are described in this subclause in general. Method specific information can be found in Annex G. Table 4 (see 6.3.1) summarizes the applications for full wave SAR evaluations.

6.3.3.3.2 Full wave SAR computation methods requirements

In addition to the items listed in 6.3.3.2.2 it is necessary to have a phantom or human body model with data on electrical material parameters (permittivity and conductivity applicable to the frequency under investigation) and mass density. Any phantom can be employed for the evaluation however a full uncertainty analysis (see 6.3.3.3.4) shall be performed.

6.3.3.3.3 Full wave SAR computation methods description

The most commonly used method for full wave SAR evaluation is the finite difference time domain (FDTD) method ([15], [35], [10], [16], [12], [13], [17], [14]). This method can be used for modelling the source (RBS antenna) as discussed in 6.3.3.2 and is ideal for modelling of the inhomogeneous human body. Both the finite element method (FEM) ([15], [35], [10], [16], [12], [13], [17], [14]) and method of moments (MoM) ([15], [35], [10], [16], [12], [13], [17], [14]) as well as hybrids of these techniques have been used successfully for full wave SAR analysis. Various commercial software packages (and in-house research codes) are available that can be used for full wave SAR analysis.

When performing full wave SAR analysis, either with a commercial package or an in-house implementation of any of the three techniques, the following procedure shall be followed:

- a) Ensure that the evaluation will be valid considering the restrictions and limitations of the method.
- b) Select commercial code or implement method.
- c) Complete source antenna validation (see 6.3.3.2).
- d) Validate 3D code against reference results (see Annex H.5).
- e) Prepare detailed antenna models (see 6.3.3.2) and verify against measurements for evaluations in source region I.
- f) Prepare full model with selected phantom (see Annex G).
- g) Perform SAR calculations (see Annex G).
- h) Study convergence for SAR results (see Annex G).
- i) Perform uncertainty analysis (see 6.3.3.3.4).
- j) Use uncertainty analysis for result interpretation (see Clause 7; Annex L; and, Annex M).
- k) Report on evaluation (see Clause 8).

6.3.3.3.4 Full wave SAR computation uncertainty

For full wave SAR computation, the uncertainty analysis consists of the uncertainties associated with the source (antenna) modelling as well as the uncertainty parameters associated with the phantom and phantom simulations. Table 8 presents a list of parameters that shall be considered, see Annex O.5 and Annex O.7 and also [61] and [76]. Separate SAR uncertainty estimation tables are required for SAR_{wb} , SAR_{10g} (limbs or head/trunk), SAR_{1g} (limbs or head/trunk).

When employing the heterogeneous virtual man phantom [56], the corresponding uncertainty information ([57], [58], [59], [60], and [72]) can be used to estimate the expanded uncertainty. If a different phantom is selected, the relevant uncertainty a values shall be determined for that specific phantom.

Table 8 – Sample template for estimating the expanded uncertainty of a full wave SAR computation

Source of uncertainty (influence quantity)	Unit	Prob. distrib. type	Uncertainty or semi span a	Divisor d	Sens. coeff. c	Standard uncertainty $u = a/d$	Corr. fact t	$c^2 u^2$
System								
Variation in the power of the RF transmitter from its nominal level	dB	rect.		$\sqrt{3}$	1			
RF transmission system losses	dB	normal		1,96	1			
Mismatch between antenna and its feed	dB	U		$\sqrt{2}$	1			
Antenna model	dB	normal		1,96	1			
Technique uncertainties								
Analysis technique	dB	normal		1,96	1			
Model resolution (errors associated with finite discretization)	dB	normal		1,96	1			
Interpolations / Extrapolation	dB				1			
Steady state (FDTD)	dB	rect.		$\sqrt{3}$	1			
For FDTD/FEM: Efficiency of absorbing boundary condition	dB	rect.		$\sqrt{3}$	1			
For FDTD: Inaccuracy related to truncation of the simulation time	dB	rect.		$\sqrt{3}$	1			
Environmental uncertainties								
RF propagation - multiple reflections, scatterers and clutter losses	dB	rect.		$\sqrt{3}$	1			
Uncertainties associated with phantom								
Phantom position and posture	dB				1			
Phantom rotation	dB				1			
Phantom shape and size	dB				1			
Electrical material parameter estimations	dB				1			
Correction factor for homogeneous phantom (if applicable)	dB				1			
Uncertainties associated with SAR calculations								

Source of uncertainty (influence quantity)	Unit	Prob. distrib. type	Uncertainty or semi span a	Divisor d	Sens. coeff. c	Standard uncertainty $u = a/d$	Corr. fact t	c^2u^2
Whole body and local peak SAR algorithm uncertainties. This could be particularly large for local peak SAR calculations	dB				1			
Errors due to finite discretization of the human phantom model	dB				1			
In the reactive near-field, the errors introduced in the antenna element power division due to the presence of the phantom and the effect thereof on the re-active feed network [20].	dB				1			
Combined correction factor, $t_c = \sum_{i=1}^N t_i$								N/A
Combined standard uncertainty, $u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^N (c_i^2 u_i^2)}$								
Coverage factor for required (e.g. 95 %) confidence interval, k								
Expanded uncertainty, $U = k \times u_c$								
NOTE 1 The value of divisor d for normal probability distribution is for 95 % confidence, see Annex O.2.								
NOTE 2 Numerical rounding errors are negligible compared to any of the other uncertainties listed above.								
NOTE 3 A conservative alternative approach to estimating the standard uncertainty for antenna mismatch is to assume a perfect match.								
NOTE 4 See Annex O for guidance on the variables in this table.								

6.4 Extrapolation from the evaluated SAR / RF field strength to the required assessment condition

6.4.1 Extrapolation method

When the EUT evaluation configuration differs from the required assessment configuration, either a single measurement can be made reporting that it is an instantaneous measurement most likely being lower than the potential maximum RF field strength / SAR, or a correction factor (the extrapolation factor) shall be applied to the evaluated RF field strength or SAR.

The extrapolation shall be performed in the following steps:

- Establish the values of the parameters which define the RBS configuration as evaluated (the evaluation configuration) and the RBS configuration to be assessed (the assessment configuration). If required, consider relevant criteria to define the potential maximum RF field strength case (see 6.4.2 and 6.4.3). Identify the relevant parameters that affect the RF field strength or SAR.
- Establish the case-specific extrapolation factor F_{ext} (see Annex N) considering all relevant parameters.
- Determine the RF field strength or SAR for the assessment configuration by applying the extrapolation factor F_{ext} to the evaluated RF field strength / SAR as follows:

$$E_{\text{asmt}} = E_{\text{eval}} \times \sqrt{F_{\text{ext}}} \quad (11)$$

$$H_{\text{asmt}} = H_{\text{eval}} \times \sqrt{F_{\text{ext}}} \quad (12)$$

$$S_{\text{asmt}} = S_{\text{eval}} \times F_{\text{ext}} \quad (13)$$

$$SAR_{\text{asmt}} = SAR_{\text{eval}} \times F_{\text{ext}} \quad (14)$$

where:

- E_{asmt} is the assessment electric field strength (V m^{-1});
- E_{eval} is the evaluated electric field strength (V m^{-1});
- H_{asmt} is the assessment magnetic field strength (V m^{-1});
- H_{eval} is the evaluated magnetic field strength (V m^{-1});
- S_{asmt} is the assessment power flux density (W m^{-2});
- S_{eval} is the evaluated power flux density (W m^{-2});
- SAR_{asmt} is the assessment SAR (W kg^{-1});
- SAR_{eval} is the evaluated SAR (W kg^{-1});

EXAMPLE 1 Depending on the specific technology, the measured RF field strength of a stable part of the transmitted signal (e.g. a “control channel”) may be used to determine the corresponding RF field strength for the RBS in the relevant assessment condition. For example, such extrapolation may be used to estimate the RF field strength if the RBS were to transmit at its maximum output power (i.e. operating at full capacity with all transmit channels engaged at the respective maximum power settings) if that were the requirement for a compliance decision.

EXAMPLE 2 A temporary RBS may be evaluated as a preliminary stage to final deployment. The transmitted RF power level and antenna directivity of the temporary RBS may differ from the proposed final RBS. An estimate of the maximum RF field strength can be made based on knowledge of the relevant antenna gain (considering orientation to evaluation locations) and transmitted power parameters of the temporary and final RBS.

6.4.2 Extrapolation to maximum RF field strength using broadband measurements

Only under the following measurement conditions can broadband measurements be accurately extrapolated to determine the maximum RF field strength:

- the EUT parameters at the time of measurement are known (especially the transmitted power);
- there are no significant ambient signals (see Annex K); and
- the EUT transmissions are in a single (known) frequency band.

In all other conditions, the following assumptions are required resulting in an overestimation of the maximum field strength:

- the EUT (and any relevant ambient signals) are operating at the lowest transmit power – for example, only the time invariant component of the signals is present (see Annex N);
- apply the highest extrapolation factor of all active systems in the vicinity of the measurement location;
- when evaluating the exposure quotient, if the relevant limit is frequency dependent, apply the lowest limit value for the frequency range of the measured RF fields;

The extent of the overestimation shall be considered and reported.

6.4.3 Extrapolation to maximum RF field strength for frequency and code selective measurements

To extrapolate time variant signals to the maximum possible output power conditions, a time invariant component of the signal (e.g. the pilot channel or control channel, see Annex N) is evaluated. The ratio between maximum possible signal and the time invariant component of

the signal is determined based on knowledge of the technology and the specific RBS configuration. This ratio is used to determine the extrapolation factor. Examples for some common technologies (e.g. TDMA [GSM, TETRA] and WCDMA) are given in Annex N.

If it is not possible to isolate the RF field strength from the time invariant part of the signal (e.g. pilot channels – see Annex N), then an approach which overestimates the maximum RF field strength is still to apply the established ratio but assume that the evaluated levels (E_{eval} , H_{eval} , and S_{eval}) are only from the invariant part of the signal. The uncertainty due to the measurement and the extrapolation shall be estimated and reported.

EXAMPLE Consider the case of a GSM RBS capable of transmitting simultaneously at 10 W on each of four frequencies including the time invariant component (BCCH) i.e. $F_{\text{ext}} = 4$. Consider the case where at the time of measurement the average (temporal) transmitted power $\bar{P}_{\text{avg}}$ was equivalent to 25 W. If the electric field strength of the BCCH can be discriminated then $E_{\text{eval}} = E_{\text{BCCH}}$ and E_{asmt} can be accurately determined from $E_{\text{asmt}} = E_{\text{eval}} \times \sqrt{4}$. If it was not possible to discriminate the electric field strength from the BCCH $E_{\text{eval}} = \sqrt{\frac{25}{10}} \times E_{\text{BCCH}}$, an extrapolation based on $E_{\text{asmt}} = E_{\text{eval}} \times \sqrt{4}$ overestimates E_{asmt} by a factor of $\sqrt{\frac{25}{10}}$. The extent of the overestimate is therefore dependent on the ratio $\frac{E_{\text{eval}}}{E_{\text{BCCH}}}$. Estimation of the overestimate uncertainty depends on knowledge of the probability distribution in time of $\bar{P}_{\text{avg}}$ between, in this case, 10 W and 40 W, i.e. +0 dB to +6 dB assuming no other ambient RF fields.

6.5 Summation of multiple RF fields

6.5.1 Applicability

Summation of RF fields for a combined RF field strength or SAR value is required under the following circumstances:

- when the RBS emits RF fields on multiple carrier frequencies and/or on multiple frequency bands;
- when evaluating RF fields from multiple sources.

Technical report IEC 62630 [55] provides guidance on how to sum these fields depending on whether they are correlated or uncorrelated in time. Correlation in time is relevant since the field summation method and the associated measurement instrumentation depend significantly on field correlation. In particular, fields at distinct frequencies are necessarily uncorrelated in time, as it happens in many practical instances featuring sources that operate in different bands (e.g. GSM and Wi-Fi).

6.5.2 Uncorrelated fields

For uncorrelated signals, under the hypotheses made in [55] which are generally met for common wireless communication systems, SAR and power flux density can be summed algebraically at any point in space according to the following formulae in the case of N field sources producing individual SAR distributions $[SAR_k(x, y, z)]$ or power flux density distributions $[S_k(x, y, z)]$:

$$SAR_T(x, y, z) = \sum_{k=1}^N SAR_k(x, y, z) \quad (15)$$

$$S_T(x, y, z) = \sum_{k=1}^N S_k(x, y, z) \quad (16)$$

NOTE When frequency-dependent power density limits, $S_{\text{lim}}(f)$, apply, as required by some international exposure guidelines, the power flux density summation should be expressed in terms of exposure quotients:

$$EQ_T(x, y, z) = \sum_{k=1}^N EQ_k(x, y, z) = \sum_{k=1}^N \frac{S_k(x, y, z)}{S_{\text{lim}}(f_k)} \quad (17)$$

where f_k are the field frequencies and the subscript T is used to indicate total.

It follows that scalar field probes (e.g., miniature diode-detector dipoles), which are already extensively employed in RF field strength measurements, are also suitable to perform uncorrelated fields summation.

6.5.3 Correlated fields

Correlated fields feature necessarily overlapping frequency bands [55]. The summation of multiple correlated fields involves the vector-sum of the individual fields:

$$|e(x, y, z)|_{\text{r.m.s.}}^2 = \left| \sum_{k=1}^N e_k(x, y, z) \right|_{\text{r.m.s.}}^2 = \sum_{w=x,y,z} \left| \sum_{k=1}^N e_k^w(x, y, z) \right|_{\text{r.m.s.}}^2 \quad (18)$$

where $e_k = \hat{x}e_k^x + \hat{y}e_k^y + \hat{z}e_k^z$, $k = 1 \dots N$ and the caret-symbol indicates a unit vector.

This rigorous approach may increase measurement complexity significantly since vector sensors capable of measuring magnitude and phase of each field component would be required. For this reason, it is desirable to allow the use of widely-available scalar field sensors when summing multiple correlated fields and, therefore, two conservative approaches allowing the use of scalar sensors are introduced in [55].

6.5.4 Ambient fields

The above considerations on field summation apply to known field sources as well as unknown ones producing ambient fields. For ambient fields, often only a little information is available and frequently the ambient fields they produce are at a very low level, with occasional exceptions for example near broadcast stations. Therefore, these fields should be treated as uncorrelated in time relative to other fields.

7 Uncertainty

7.1 Background

No matter how carefully performed every measurement or calculation of RF field strength or SAR will always entail a certain amount of random error. With careful analysis, the bounds of this error can be statistically quantified and presented as an uncertainty estimate. Providing uncertainty estimates for an evaluation gives a measure of its quality and engenders confidence in its reliability. Providing uncertainty estimates is particularly important when determining compliance with limits.

NOTE For example, a cautious motorist may travel slightly slower than the prevailing speed limit in order to account for an uncertain error in his speedometer. Conversely, when adjudicating on speeding infringements, it is common practice to allow slightly higher speeds than the allowable limit in order to account for an overestimation of the motorist's speed from a police radar or speed camera.

7.2 Requirement to estimate uncertainty

Where an evaluation method is designed to provide only a “conservative” value, the sources of uncertainty shall be recorded and evaluated to the extent required to demonstrate that the relevant uncertainty constraints have been met.

Otherwise, uncertainty shall be estimated for every measured and calculated RF field strength or SAR evaluation performed sufficient to provide the relevant data according to the relevant assessment scheme (see Annex M).

NOTE Typically for measurements, the uncertainty estimate will specify the best (i.e. most likely) estimate of the measurand value, as well as the upper and lower uncertainty bounds for a 95 % confidence interval (CI) of the evaluation e.g. ± 3 dB.

7.3 How to estimate uncertainty

In general, the estimation of uncertainty will entail the following four tasks:

- identification of all of the sources of uncertainty (i.e. influence quantities) that may reasonably be expected to cause significant variation or uncertainty in the evaluation. (see Table 2; Table 3; Table 6; Table 7; and, Table 8);
- for each source of uncertainty, an estimation of the probability distribution type and parameter;
- specification of how the sources of uncertainty are combined to provide a total uncertainty value (i.e. a mathematical model which defines how the influence quantities are combined or added);
- determination of the best estimate of the evaluation and expanded uncertainty for a 95 % CI.

NOTE Depending upon the assessment scheme (see Annex M) employed, the best estimate may not be the appropriate comparator value.

There are many good published references on how to estimate uncertainty, including ISO/IEC Guide 98-3:2008. Annex O provides specific informative advice on how to estimate uncertainty for RF exposure evaluations.

7.4 Uncertainty bounds on measurement equipment influence quantities

Annex E specifies normative restrictions on the magnitude of the standard uncertainty for various measurement equipment influence quantities for RF field strength evaluations.

7.5 Applying uncertainty for compliance assessments

There are many possible ways to use uncertainty when determining or checking compliance of an evaluated RF field strength or SAR with the relevant limit, the assessment scheme (see Annex M).

Commonly, two approaches are used to deal with uncertainty (see Figure O.1) i.e.:

- Shared risk approach, where the best estimate value is compared to the relevant limit and the expanded uncertainty shall not exceed a defined maximum value; and,
- Conservative approach, where the upper 95 % confidence value is compared to the relevant limit.

In both cases, the expanded uncertainty is commonly estimated for a confidence interval of 95 %.

To understand the likelihood of agreement between the decisions of two independent compliance determinations, for each determination it is necessary to consider how uncertainty is addressed, the assessment scheme (see Annex M).

NOTE For example, a surveyor might use the 95 % CI upper bound of his evaluation when setting a compliance boundary, and conversely a second surveyor, the auditor, auditing the original evaluation might use the lower 95 % CI bound when checking compliance at the surveyor's boundary. Alternatively, the surveyor and auditor may both simply apply the best estimates of their evaluations.

This standard recognises that the specification of the assessment scheme is a matter that rests with the relevant regulatory authority or client. However, in choosing an appropriate assessment scheme, it is recommended that due consideration is given to the following questions:

- a) What is the probability of a non-compliance determination, i.e. an auditor finds that the RF field strength or SAR at the surveyor's compliance boundary is non-compliant with the relevant limit?
- b) What is the probability of a compliance error, i.e. an auditor decides that a surveyor's compliance boundary is compliant with the relevant limit when it really isn't?
- c) What is the probability of a non-compliance error, i.e. an auditor decides that the surveyor's compliance boundary is non-compliant with the relevant limit when it really is compliant?
- d) What is the penalty factor to be applied when comparing the evaluation with the relevant compliance limit?

More information on assessment schemes is provided in Annex M. Annex L provides guidance on the application of assessment schemes for determining compliance with a limit.

8 Reporting

8.1 Background

The two main goals of the reporting are: that another skilled person has all the information necessary to repeat the assessment; and, to present the results of the assessment.

The reporting typically consists of:

- Evaluation data sheets - used to record equipment set up and measured or calculated results.
- Final report – a detailed technical report and executive summary. The executive summary is usually provided to the customer or client and may vary considerably depending on the requirements of the client.

The technical report shall record all aspects of the assessment in accordance with this standard (see Annex P and [54]).

8.2 Evaluation report

8.2.1 General

The evaluation report shall follow the general requirements of 5.10 of ISO/IEC 17025:2005.

All relevant information used to generate the evaluation report shall be recorded on a data sheet - this may be in paper or electronic format.

8.2.2 Measurement data sheet

- Instrumentation used
- Method used such as frequency-selective or broadband, spatial averaging or peak, etc.
- Any other information that will allow repeatability and reproducibility of the measured results
- Units and post data processing needs for the unprocessed data
- Actual measured data
- Others as indicated in 5.10 of ISO/IEC 17025:2005

8.2.3 Computational data sheet

- Input parameters used in model
- Validation traceability
- Model selected (full wave, ray tracing, etc.)
- Any other information that will allow repeatability and reproducibility of the calculated results
- Units for the unprocessed data
- Actual calculated data
- Others as indicated in 5.10 of ISO/IEC 17025:2005

8.2.4 Final report

The format shall be designed to accommodate each type of evaluation carried out and to minimise the possibility of misunderstanding or misuse. Example reports are presented as case studies in [54].

NOTE 1 Attention should be given to the lay-out of the test report or calibration certificate, especially with regard to the presentation of the test or calibration data and ease of assimilation by the reader.

NOTE 2 The headings should be standardized as far as possible.

The report itself should have but is not limited to the following:

- a) a title (e.g. "Evaluation Report");
- b) the name and address of the laboratory, and the location where the measurements/computations were carried out, if different from the address of the laboratory;
- c) unique identification of the report (such as the serial number), and on each page an identification to ensure that the page is recognized as a part of the test report, and a clear identification of the end of the test report;
- d) the name and address of the client;
- e) a description of, the condition of, and unambiguous identification of the item(s) evaluated;
- f) the date(s) of performance of the evaluation;
- g) the locations at which the RF field strength / SAR were evaluated;
- h) conditions that may influence evaluated data:
 - for exterior surveys, a description of the terrain, soil, ground cover, site elevation, location coordinates, and position of scattering objects (trees, buildings, power facilities, weather, atmospheric conditions, etc);
 - for interior surveys, structural descriptions including building materials; dimensions of floors, walls, and ceilings; window dimensions and locations; type of insulation; lighting fixtures; electrical raceways; air ducts; number and elevation of floors; and photographs;
 - conditions generally regarded as special test conditions (proximity of antennas to absorbing, scattering, or re-radiating structures located above, on, or beneath the surface; extreme weather conditions, and unusual or uncontrollable human movement in the survey area);
- i) the evaluation methods employed (either explicitly described or by referencing the document describing the evaluation method);
- j) the evaluation results with, where appropriate, the units of measurement; for example, for spectrum surveys, plots, or tabulations of RF field strength versus frequency;
- k) measurement equipment used:
 - lists of instrumentation, measurement antennas etc.;

- measurement antenna/probe used (its height, orientation information, antenna factor/gain, type, and frequency range);
 - cable loss between the measurement antenna/probe and associated equipment, unless it is included in the antenna factor/gain;
 - all gains or losses of measurement system components – for example, amplifiers, attenuators, power splitters, filters, etc.;
 - any internal attenuator setting;
 - frequency or frequencies being measured;
 - bandwidth used for the evaluation;
 - detector functions selected and characteristics – for example, time constants, channel decoding;
 - post detector filter characteristics such as bandwidth;
 - type of output – for example, log, linear, and characteristics (for example, range) ;
 - signal and noise levels measured;
 - confirmation of traceable calibration;
- l) the name(s), function(s) and signature(s) or equivalent identification of person(s) performing the evaluation and authorizing the evaluation report;
- m) where relevant, a statement to the effect that the results relate only to the items tested;
- n) where relevant, a statement to the effect that the evaluation takes into consideration the intended use of the RBS;
- o) uncertainty analysis;
- p) where relevant, the assessment scheme used (see Clause 5, Annex M).

8.3 Interpretation of results

8.3.1 Comparison with limit

Annex L provides informative options on how to compare the measurand with relevant limit values taking into account the applicable assessment scheme (see Annex M).

8.3.2 Comparing results

Clause 6 and Annex A provide guidance on how to establish relevant ranking of two evaluations.

Subclause M 4 provides guidance on interpretation of multiple assessments.

8.3.3 Opinions and interpretations

When opinions and interpretations are included, the laboratory shall document the basis upon which the opinions and interpretations have been made. Opinions and interpretations shall be clearly marked as such in the evaluation report.

Opinions and interpretations included in an evaluation report may comprise, but not be limited to, the following:

- where appropriate, an opinion on the statement of compliance/exceedance of the results with limit requirements;
- fulfilment of contractual requirements;
- recommendations on how to use the results;
- guidance to be used for improvements.

For additional guidance see ISO/IEC 17025.

Annex A (normative)

Developing the evaluation plan

A.1 Overview

This annex describes how to develop the evaluation plan defining all methods to be employed for the evaluation case, and which evaluation locations will be investigated using each defined method.

The evaluation plan shall:

- define the evaluation method(s) based on the purpose of the evaluation relative to the RBS categories of small stand-alone device, simple RBS, or complex RBS. More than one evaluation method may be used. In general the evaluation plan should select the simplest evaluation method which meets the evaluation purpose;
- take into account the validity of the measurand based on the position of the evaluation points in relation to the source-environment plane regions (see Annex B);
- take into account the relevant practical considerations and benefits of performing an evaluation by computation versus measurement;
- confirm the proposed evaluation method is applicable; the data is available (for both the evaluation and the uncertainty calculations); the measurement instruments / computation resources are available; and, that the surveyor has competence to undertake the evaluation;
- consider relevant national requirements.

A.2 Establishing the key evaluation parameters

A.2.1 Evaluation purpose

The evaluation shall be categorised according to one or more of the following purposes:

- To establish that a RBS conforms to a defined set of limit conditions under its intended use.
- To establish the compliance boundary or boundaries for a RBS in relation to a defined set of limit conditions.
- To provide RF field strength / SAR information for interested parties at arbitrary locations outside the control boundary.
- To confirm the validity of a RBS control boundary.
- To provide RF field strength / SAR information at evaluation location(s) within the RBS control boundary for example with the specific conditions relevant to investigate an alleged over-exposure incident.

A.2.2 RBS category

The RBS under evaluation shall be categorised as one of the following:

- Small stand alone equipment/device: Select this category for low power devices, for example, equipment intended to be supplied to the general public such as small Wi-Fi or cordless phone base unit; femto cell / pico cell / micro cell antenna for indoor or localised coverage.

- Simple RBS: Select this category if the RBS is a stand-alone site without additional co-located RF sources or if the evaluation purpose does not require evaluation of the RF field strengths from those sources.
- Complex RBS: Select this category where the evaluation needs to consider more than one radiating RBS antenna whether from the same or multiple operators.

A.2.3 Information availability

The information required for an evaluation depends on the evaluation method(s) used. The information needed to perform the selected method shall be available. Otherwise, another suitable method shall be selected.

NOTE Example information is antenna gain, beamwidth, orientation, directivity, dimensions, technology (air-interface), frequencies, transmitted power (i.e. RF power at antenna terminals and not reflected), distance of source(s) to evaluation location, scattering objects, accessibility.

In the case where the evaluation configuration is different from the assessment configuration, information shall be available for both configurations.

A.2.4 Control of the evaluation parameters

It shall be established if the RBS parameters can be controlled for the evaluation.

NOTE If the evaluation includes a measurement, the ability to control the RBS parameters (or at least know the precise parameters at time of evaluation) may be a deciding factor in the applicability of some evaluation methods. If the transmit power and transmit frequencies for the evaluation can be set, this can enable laboratory and broadband measurement techniques to be employed.

A.2.5 Establish where evaluation points are on the source-environment plane

It shall be established in which source-environment plane regions (see Annex B) the evaluation points lie.

A.3 Evaluation method selection

A.3.1 Overview

The evaluation method shall be selected based on the guidance in this annex considering the key evaluation parameters (see Annex A.2) and the applicability of the evaluation methods (see Clause 6). More than one evaluation method may be valid. In the event of dispute, the higher ranking evaluation method takes precedence (see Table A.7). However, lower ranking evaluations are valid within their applicability and may be more practical to implement.

Any evaluation method may be employed within the constraints of its applicability. The guidance here shall be applied to select the evaluation method(s) (see Clause 6).

More than one evaluation method may be required to complete the evaluation task (for examples see case studies in [54]).

Select the evaluation method(s) according to the following steps:

- a) establish the appropriate measurand (see A.3.2);
- b) select computation or measurement approach (see A.3.3) and either
 - select measurement method (see A.3.4), or
 - select computation method (see A.3.5);
- c) review the additional considerations (see A.3.6).

A.3.2 Establish the measurand

Table A.1 gives the measurand (field strength, power flux density, SAR) validity and ranking based on where the evaluation point lies in the source-environment plane (see Annex B) and the relevant limit.

Table A.1 – Measurand validity for evaluation points in each source region

Ranking	Evaluation measurand validity (Measured/computed) ^a		
	Source region I	Source region II	Source region III
1	Localised and whole body SAR ^{b, c, f}		
2	Electric field strength and magnetic field strength ^{d, f}	Electric field strength or magnetic field strength / Plane wave equivalent power flux density ^{e, f}	

^a The measurand may be expressed as a value or exposure quotient.

^b Some international safety standards and guidelines state SAR as the basic restriction, thereby giving SAR priority over RF field strength exposure metrics.

^c SAR evaluation in source region III is not supported in this standard.

^d The reactive power components are not negligible so both electric field strength and magnetic field strength need to be evaluated (see Annex B).

^e The ranking of spatial averaging depends on the relevant limit according to two cases:

Case i) The relevant compliance standard or exposure guidelines define different spatial-peak and spatially-averaged RF field strength limits (both conditions to be met): In this case, the spatially-averaged RF field strength has a higher ranking than the spatial-peak RF field strength when comparing with the spatially-averaged limit. The spatially-averaged RF field strength shall not be compared with the spatial-peak limit.

Case ii) The relevant compliance standard or exposure guidelines define a single limit addressing both spatial-peak and spatially-averaged evaluations: In this case, the spatially-averaged RF field strength has higher ranking than the spatial-peak RF field strength except where the spatial-peak RF field strength is greater than or equal to the relevant limit.

^f Where the relevant compliance standard or exposure guidelines specifies a time averaging period, a relevant time-averaged evaluation has a higher evaluation ranking than a non-time-averaged evaluation.

A.3.3 Select between computation or measurement approaches

Table A.2 provides guidance on selecting between computation and measurement methodologies based on a number of practical considerations.

Table A.2 – Guidance on selecting between computation and measurement approaches

Computation (6.3)		Measurement (6.2)
Unable to access area to be evaluated. For example, due to safety considerations or due to not having right of access by building / land owner.	←	
	→	Insufficient information available to perform computation.
Requirement is to present a comprehensive field visualisation.	←	
	→	Requirement is to cover specific limited routes/locations e.g. access route, nominated locations.
	→	Client requires measurement
Client requires computation.	←	
Requirement includes an evaluation in locations where, or at times when, the RBS is not radiating (e.g. prior to construction).	←	
	→	Requirement is for a physical demonstration to interested people.
NOTE The scales symbol is used to imply application of balance in determining the method. The arrow presents which column is suggested considering the applicability of the cases described in the cells.		

If measurement is selected then the next step is A.3.4. Otherwise, if computation is selected then the next step is A.3.5.

A.3.4 Select measurement method

A.3.4.1 Selection stages

Determine the measurement method in the following stages:

- determine if a laboratory or *in situ* measurement is appropriate (see A.3.4.2);
- determine if SAR or RF field strength measurement is appropriate (see A.3.4.3);
- select either broadband or frequency-selective measurement approach (see A.3.4.4);
- determine which measurement procedures are applicable (see A.3.4.5).

A.3.4.2 Selecting between laboratory or *in situ* measurement approaches

Determine if a laboratory or *in situ* measurement is appropriate according to Table A.3 considering the evaluation purpose and RBS category.

Table A.3 – Selecting *in situ* or laboratory measurement from evaluation purpose and RBS category

	<i>In situ</i> or laboratory measurement	
Evaluation purpose (see A.2.1)	RBS category: Small stand-alone equipment/device (see A.2.2)	RBS category: Simple or complex RBS (see A.2.2)
To establish that a RBS conforms to a defined set of limit conditions under its intended use.	Laboratory ^b	Not applicable ^a
To establish the compliance boundary or boundaries for a RBS in relation to a defined set of limit conditions.		In situ
To confirm validity of a RBS control boundary.		
To provide RF field strength / SAR information at evaluation location(s) within the control boundary with the specific conditions relevant to investigate an alleged over exposure incident.		
To provide RF field strength / SAR information for interested parties at arbitrary locations outside the control boundary.	In situ	
^a In this case, redefine purpose either to establish compliance boundary and/or to confirm validity of RBS control boundary.		
^b <i>In situ</i> measurement may be used as an alternative.		

A.3.4.3 Selecting between field and SAR measurement approaches

For any *in situ* measurement, and in environment regions *-1 and *-M (* means I or II or III, see Annex B), RF field strength measurement is applicable.

For laboratory measurements (see A.3.4.2) in source-environment plane regions I-0 and II-0 (see Annex B), either RF field strength measurement (see 6.2.2) or SAR measurement (see 6.2.3) may be selected. SAR measurement is recommended for region I-0 and where the key consideration is in obtaining the most accurate results for example with smallest volume enclosed within a compliance boundary. RF field strength measurement may be selected where it is simpler to implement.

NOTE Generally, the spatial-peak RF field strength relates closely to the local SAR [72]

A.3.4.4 Selecting between broadband and frequency-selective measurement

Determine if broadband or frequency-selective measurement is appropriate according to Table A.4.

Table A.4 – Guidance on selecting between broadband and frequency-selective measurement

Broadband (see 6.2.2.3)		Frequency-selective (see 6.2.2.4)
<u>Indication of total field:</u> A broadband measurement can provide a simple means to indicate the total field and may be used with care in certain circumstances provided the results are correctly interpreted and presented: • No frequency discrimination required • Precise knowledge/control of evaluation parameters • As indicative evaluation - for example, an initial scan to find the peak field using a broadband probe can be followed by a more detailed measurement using a frequency-selective instrument.	↔	<u>Indication of total field:</u> frequency-selective measurement is required when frequency discrimination is required for example: • to evaluate constant part of transmitted signal for extrapolation (see Annex N.4); • to evaluate frequency weighting for exposure quotient.
<u>Comparison with a limit:</u> Where the field strengths are significantly below the relevant limit; Where the RBS is the single dominant source and either an “as observed” evaluation without extrapolation is required; or, the output power of the RBS is controlled during the measurement.	↔	<u>Comparison with a limit:</u> Identifying and evaluating single and multi-frequency signals for comparison with a limit. Where extrapolation is required from a constant level part of the signal in the presence of other signals.
	→	<u>Limit exceedance:</u> In case of any doubt, or when the purpose is to confirm that a limit has been exceeded, the frequency-selective method is recommended.
	→	<u>Signal discrimination:</u> A frequency-selective method is essential for evaluating individual frequency bands or signal types. This includes identifying ambient fields for either inclusion or exclusion from final processing and reporting of results.
	→	<u>Low level fields:</u> Identifying and measuring signals in low RF field strength environments (e.g. public areas).
NOTE 1 The term “frequency-selective” is used rather than “narrow band” to imply the ability to discriminate between frequencies. The term “broadband” is used when a wide spectrum range is measured simultaneously without frequency discrimination. An instrument which can indicate the RF field strength from a logical channel (e.g. using a channel decoder) is also deemed to be “frequency-selective”. NOTE 2 The scales symbol is used to imply application of balance in determining the method. The arrow presents which column is suggested considering the applicability of the cases described in the cells.		

A.3.4.5 Selecting RF field strength measurement procedures

Select appropriate measurement procedures according to Table A.5.

Table A.5 – Guidance on selecting RF field strength measurement procedures

Measurement procedure	Guidance on selection
Handheld – Fixed point of interest (see 6.2.2.5.1.1)	Convenient and time efficient method to identify fields at specific points of interest.
Handheld – Sweeping a volume to determine a RF field strength value of interest and/or its location (see 6.2.2.5.1.2)	Convenient and time efficient method to identify location where a specific RF field strength level is observed. For example, this procedure is useful for establishing a control boundary. Convenient and time efficient method to identify spatial-peak RF field strength in a volume. For example this procedure is useful in public areas to demonstrate low field strengths, or to establish locations where more precise evaluation is required when comparing with a limit value.
Tripod – (see 6.2.2.5.2)	Where one or more of the following are important: • measurements at fixed or nominated points in space are required; • monitoring of fields over long time periods; • minimise influence of body during measurement;
Automated Scanning – (see 6.2.2.5.3)	Where the RF field strength is being evaluated in laboratory conditions.
Spatial averaging – (see 6.2.2.5.4.2)	Where a spatially-averaged value is required to establish the representative average RF field strength over the area of a human body in complex field conditions (Environment regions 1 and M).
Time averaging – (see 6.2.2.5.5)	To establish time-averaged field strength For example for information purposes, or to establish value for more representative comparison with limit value defined as an average over time.

A.3.5 Select computation method

Select appropriate computation procedures according to Table A.6.

Table A.6 – Guidance on selecting computation methods

Basic computation methods (see 6.3.2)		Advanced computation methods (see 6.3.3)
Where the main requirement is simplicity of evaluation. Minimal source or environment information required/available.		Where the main requirement is to obtain the most accurate results for example with smallest volume compliance boundary. Where the required significant source and environment information is available.
		
Basic – Cylindrical-spherical formulae (see 6.3.2.1) Simple field better suited to source regions II and III. Select the cylindrical-spherical formulae for a quick and simple power density evaluation. The calculations are easy to perform without the complexity/expense of advanced calculations, but at the expense of accuracy. I.e., the simple cylindrical-spherical formulae will usually result in quick but over-conservative power density evaluations.		Advanced – Ray tracing (see 6.3.3.1) Advanced field - Well suited for accurate power density evaluations in source regions II and III. The algorithm is relatively easy to implement and verify, alternatively, commercial software packages exist. When an implementation / software package is available, this method can be very powerful in producing quick, accurate and visually informative power density evaluations for simple or complex RBS sites.
Basic - SAR estimation formulae (see 6.3.2.2) Simple SAR better suited to source regions I and II. Select the SAR estimation method for quick and simple SAR evaluation. The SAR estimation method is faster than the more advanced methods at the price of a being somewhat conservative. When it comes to establishing compliance boundaries the method will probably produce boundaries enclosing a smaller volume compared with techniques based on power density evaluations.		Advanced – Full wave RF field strength (see 6.3.3.2) Advanced field - Well suited for very accurate power density evaluations in source regions I and II. Very complex and time consuming to implement and verify these algorithms but a good number of commercial software packages are available. Even with these software packages available, the user shall be proficient with the use of such packages and the time in setting up and verifying accurate antenna models should not be under estimated. However, the power density results obtained with such an evaluation will be very accurate in both regions I and II.
		Advanced – Full wave SAR (see 6.3.3.3) Advanced SAR – Well suited for very accurate SAR evaluations in source regions I and II. Very complex and time consuming to implement and verify these algorithms but a good number of commercial software packages are available. Even with these software packages available, the user should be proficient with the use of such packages and the time in setting up and verifying accurate antenna AND human phantom models should not be under estimated. However, the SAR results obtained will be the most accurate and authoritative evaluation possible for regions I and II.
NOTE The scales symbol is used to imply application of balance in determining basic or advanced approach based on the top row. The twin-headed arrow presents which column is suggested based on the most applicable cell description. Having determined basic or advanced approach, the relevant advanced/basic down arrow indicates the set of methods described in the standard. The description that best matches the specific task required guides the selection of the specific method.		

A.3.6 Additional considerations

A.3.6.1 Simplicity

Generally, select the simplest evaluation method which satisfies the evaluation purpose. For example, a simple peak RF field strength evaluation, which is conservative, may be used with care to demonstrate compliance.

NOTE Compared to simple evaluations, more complex evaluations are likely to be able to confirm compliance with a given limit closer to the RBS antenna. For example, a SAR evaluation might confirm the smallest volumes around an antenna wherein limits may be exceeded.

A.3.6.2 Evaluation method ranking

Where the results of one evaluation are being compared with a second evaluation, the highest ranking evaluation method shall take precedence subject to both being applicable for the specific evaluation purpose and conditions.

The highest ranking evaluation method with valid applicability is the reference method for that measurand.

Table A.7 ranks the evaluation methods included in this standard.

Table A.7 – Guidance on specific evaluation method ranking

Evaluation measurand (see Table A.1)	Evaluation method ranking (1 is highest rank)				
	1	2	3	4	5
SAR (whole body & localised)	Measurement (localised)	Full wave	SAR estimation formulae		
Power flux density; electric field strength; magnetic field strength	Frequency- selective measurement ^a	Broadband measurement ^{a, b}	Full wave	Ray tracing	Spherical / cylindrical formulae
^a Frequency-selective measurement has the highest RF field strength evaluation ranking. ^b Under very limited evaluation conditions where all relevant information is known to enable accurate interpretation/extrapolation (see Clause 6), broadband measurements are suitable. Otherwise, broadband measurements can result in a systematic overestimation of the RF field strength and are ranked 6.					

A.3.6.3 Applying multiple methods for compliance determination

More than one valid evaluation method may be used sequentially or simultaneously to evaluate the field near to a RBS antenna. Provided there is a valid demonstration that the relevant limit value is not exceeded (see Annex L) by any means not contradicted by a higher ranking evaluation, the one demonstrating compliance closest to the antenna may be used.

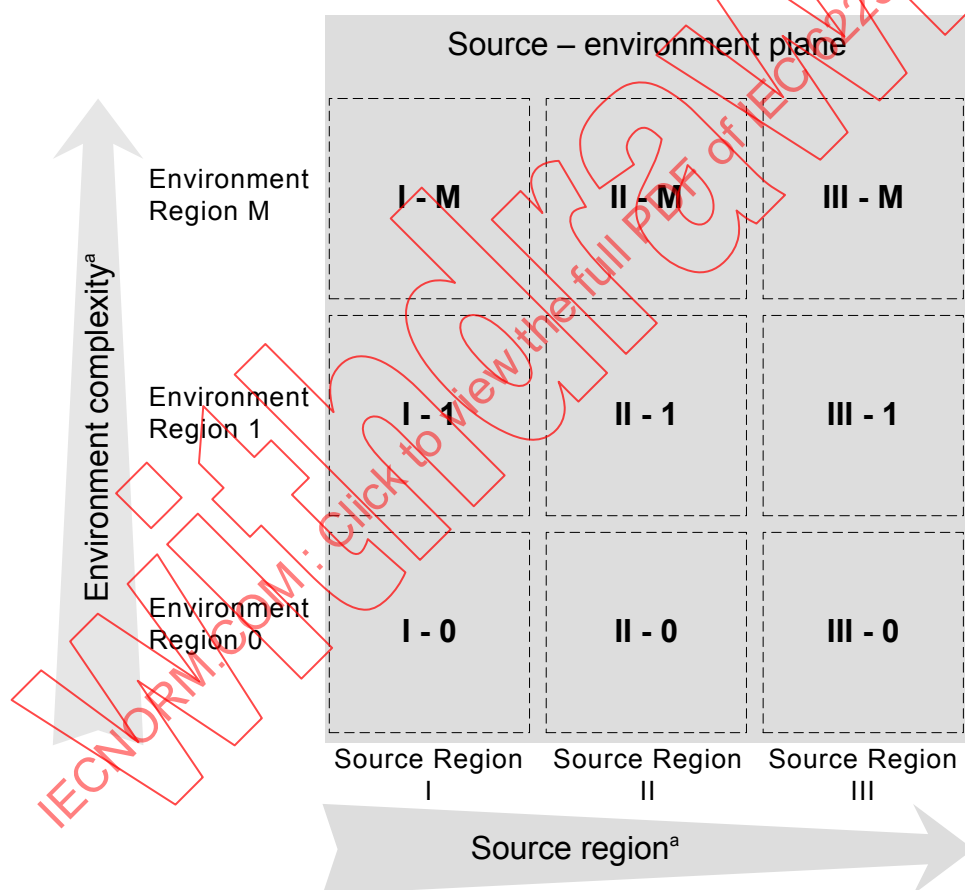
NOTE This can be used to establish the smallest volume enclosed by a compliance boundary. For example, a SAR measurement around a micro cell antenna or a SAR modelling around a larger base station antenna is likely to provide the smallest enclosed volume.

Annex B (normative)

Defining the source-environment plane

B.1 Overview

This annex defines the source-environment plane concept for characterising evaluation points where nine regions are defined. The positive “x-axis” represents increasing distance from a source located at the coordinate-system origin, and the positive “y-axis” represents increasing scattering effects contributing to total fields at observation points (see Figure B.1). See B.5 for an example characterisation. Evaluation methods may be limited to some regions. Uncertainty influence factors may have different relevance in the different source-environment plane regions.



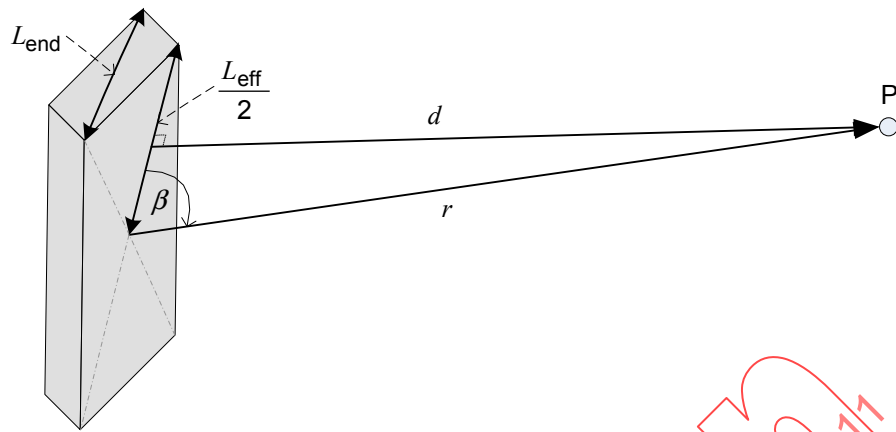
IEC 1032/11

^a In this standard if a * replaces the environment region character, this means any environment region (i.e. 0, 1 or M) applies. If a * replaces the source region character it means any source region (i.e. I, II or III) applies.

Figure B.1 – Source-environment plane concept

B.2 Source regions

Figure B.2 presents the geometry of an antenna configuration.



IEC 1033/11

Figure B.2 – Geometry of an antenna with largest linear dimension L_{eff} and largest end dimension L_{end}

In this annex, the following variables are used:

r	is the distance from the centre point on the major axis of the antenna to a point P specifically:
r_{III}	is the minimum distance measured in metres to the source region II to source region III boundary
d	is the minimum distance from the surface of the antenna to a point P specifically:
d_{I}	is the minimum distance measured in metres to the source region I to source region II boundary
d_{III}	is the minimum distance measured in metres to the source region II to source region III boundary
d_{end}	defines a surface according to Table B.4 considering L_{end}
d_{r}	defines a surface according to Table B.4 considering L_{eff}
λ	is the wavelength measured in metres
β	is the angle between the main axis of the antenna and the line from the origin of the antenna to a point (e.g. on the source region II to source region III boundary)
L_{end}	is the maximum end dimension measured in metres orthogonal to front face of the antenna
L_{eff}	is the maximum dimension measured in metres between two points on the front face of the antenna

Table B.1 defines the source regions.

Table B.1 – Definition of source regions

Source Region I $0 \leq d < d_I$	Source Region II $d_I \leq d < d_{III}$ or $d \geq d_I$ and $r < r_{III}$	Source Region III $d_{III} \leq d < \infty$
In region I, reactive power components are not negligible. The power density oscillates and depending on the evaluation location, lower values might be obtained closer to the antenna in contrast to higher values further away.	Antenna pattern according to the specifications of the manufacturer is not yet valid.	Far-field conditions
Where distances d_I, d_{III} and r_{III} are defined in Tables B.2, B.3, B.4 and B.5 according to antenna classification: • Default source region boundaries – see Table B.2. • Antennas with maximum dimension less than $2,5 \lambda$, – see Table B.3. • Linear/planar antenna arrays of small elements aligned linearly, normally along a vertical axis, and with more elements on the vertical axis than horizontally and with the maximum dimension greater than $2,5 \lambda$, – see Table B.4. • Equiphase radiating apertures (e.g. parabolic dish antenna) with maximum dimension $\gg \lambda$, – Table B.5. • Leaky feeders – see Table B.6. NOTE Some evaluation methods described in this standard specify additional constraints defining where the method may be employed. The evaluation zones may therefore differ from the source regions.		

The default source region boundaries (see Table B.2) shall be used when there is any doubt as to the classification of the source antenna. For common antenna classifications, Tables B.3, B.4 and B.5 define the source region boundaries.

Table B.2 – Default source region boundaries

Source region I to source region II boundary ^a	Source region II to source region III boundary ^a
In [23] CENELEC recommends the source region I to source region II boundary: $d_I = \max \left(\begin{array}{l} \lambda \\ L_{\text{eff}} \\ \frac{L_{\text{eff}}^2}{4\lambda} \end{array} \right)$	In [23] CENELEC recommends the source region II to source region III boundary: $d_{III} = \max \left(\begin{array}{l} 5\lambda \\ 5L_{\text{eff}} \\ \frac{0,6L_{\text{eff}}^2}{\lambda} \end{array} \right)$
NOTE The distance limits of the default source regions are smaller than those proposed in textbooks covering exact descriptions of antennas. The textbook distance limits were reduced based on not noticeably influencing the uncertainty of the RF field strength evaluation [46]. ^a These distance limits of the regions are applicable generally. Antennas exist for which these limits are conservative, for example for source region I, λ or less may be sufficient even if L_{eff} or $L_{\text{eff}}^2/(4\lambda)$ are larger. However, unless these cases are included in Annex B, they shall be supported by sustainable proof.	

**Table B.3 – Source region boundaries for antennas
with maximum dimension less than $2,5 \lambda$**

Source region I to source region II boundary ^a	Source region II to source region III boundary
$d_I = \lambda$	In [26], the source region II to source region III boundary surface is a sphere radius r_{III}, centred at the middle of the antenna: $\eta_{III} = \begin{cases} 1,6\lambda & L_{eff} < 0,3\lambda \\ 5L_{eff} & 0,3\lambda \leq L_{eff} < 2,5\lambda \end{cases}$
^a It is acceptable to measure either E or H down to $\lambda/4$ when considering (a) the increase in uncertainty (see Annex B.3.2.1) and (b) lower power density values may be obtained closer to the antenna in contrast to higher values further away.	

**Table B.4 – Source region boundaries for linear/planar antenna arrays
with a maximum dimension greater than or equal to $2,5 \lambda$**

Source region I to source region II boundary ^a	Source region II to source region III boundary
$d_I = \lambda$	The source region II to source region III boundary is specified by an examination of two surfaces surrounding the antenna evaluated from functions of L_{eff} and L_{end}: A large surface described by r, centred on the middle of the antenna: $r = \frac{2L_{eff}^2}{\lambda} \sin^2 \beta + \frac{L_{eff}}{2} \cos \beta - \frac{\lambda}{32}$ From which the corresponding distance, d_r to the surface of the antenna can be determined: $d_r = r \sin \beta $ A smaller surface described by d_{end}, considering the end dimensions of the antenna: $d_{end} = \begin{cases} 1,6\lambda & L_{end} < 0,3\lambda \\ 5L_{end} & 0,3\lambda \leq L_{end} < 2,5\lambda \\ \frac{2L_{end}^2}{\lambda} & L_{end} \geq 2,5\lambda \end{cases}$ $d_{III} = \max \begin{pmatrix} d_r \\ d_{end} \end{pmatrix}$
^a It is acceptable to measure either E or H down to $\lambda/4$ when considering (a) the increase in uncertainty (see Annex B.3.2.1) and (b) lower power density values may be obtained closer to the antenna in contrast to higher values further away.	

Table B.5 – Source region boundaries for equiphase radiation aperture (e.g. dish) antennas with maximum reflector dimension much greater than a wavelength

Source region I to source region II boundary	Source region II to source region III boundary
Within the main beam before the first null is reached: $d_I = \frac{L_{\text{eff}}^2}{4\lambda}$ Outside the main beam and after the first null is reached ^a: $d_I = \max\left(\frac{\lambda}{L_{\text{eff}}}\right)$	$d_{III} = \frac{0,6 L_{\text{eff}}^2}{\lambda}$
^a Outside the main beam and after the first null is reached, it is acceptable to measure either <i>E</i> or <i>H</i> down to $\lambda/4$ when considering (a) the increase in uncertainty (see Annex B.3.2.1) and (b) lower power density values may be obtained closer to the antenna in contrast to higher values further away.	

Table B.6 – Source region boundaries for leaky feeders

Source region I to source region II boundary	Source region II to source region III boundary
$d_I = \frac{\lambda}{4}$	d_{III} is not usefully definable since leaky feeder lengths are typically tens to hundreds of metres, thus much greater than the evaluation point distance from the radiating structure

B.3 Basis for the source region boundaries (informative)

B.3.1 Background

This clause contains additional background to, and justification for, the source region boundaries specified in this annex.

The space surrounding an antenna is conventionally divided into two principal regions, one near the antenna called the near-field region and one at a larger distance called the far-field region. The near-field region is usually subdivided into the reactive and the radiating near-field regions. Usually, the far-field region is defined as that region of the field of the antenna where the angular field distribution is essentially independent of the distance from a specified point in the antenna region while the reactive near-field region is defined as that portion of the near-field region immediately surrounding the antenna, wherein the reactive field predominates [21].

Antenna field regions are often described in textbooks from the basis of:

- reactive/radiating near-field boundary that can be defined in a number of ways, for example, where the reactive and radiating fields have the same magnitude or where the radiating fields dominate by a defined amount;
- far-field, that can be defined based on how far from the antenna it is possible to accurately evaluate the directivity as would be observed from a long way away from the antenna.

For the purposes of this standard, the important issue for the source region is how to evaluate within a reasonable uncertainty a RF field strength / SAR value at any distance/orientation.

According to purpose, the evaluation may also need to establish that the field strength will be no higher when observed further away from the antenna. In this standard, the important *application* of the source regions is as follows:

- source region I is where evaluation of both electric field strength and magnetic field strength may be required (or *SAR*);
- source region II is where evaluation of either electric field strength or magnetic field strength is acceptable (or *SAR*, or *S*) and for computation, some near-field correction algorithm is required rather than simply using far-field antenna pattern data;
- source region III is where evaluation of either electric field strength or magnetic field strength is acceptable (or *SAR*, or *S*) and for computation, the far-field antenna pattern data may be used.

B.3.2 Boundary between source regions for RBS antennas with small elements e.g. dipoles/slots/loops

B.3.2.1 Boundary between source region I and source region II

The boundary between source regions I and II relate to the extent of the reactive near-field region which in detail depends on the antenna geometry.

Considering the region within which the maximum RF field strength may be found a d_1 value of λ is appropriate.

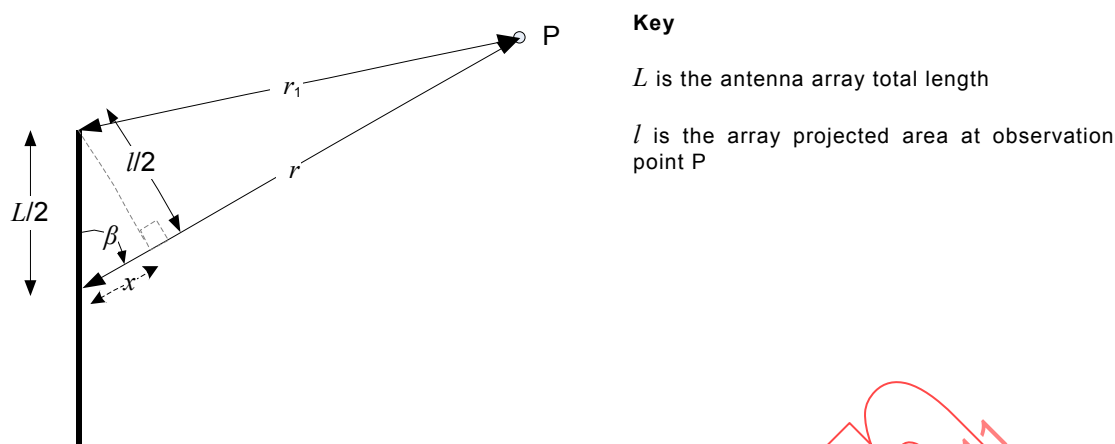
Considering the requirement to measure both electric field strength and magnetic field strength (or *SAR*):

- a) For dipole type antennas, prevalent in many RBS antenna designs, an analysis was performed in [22] based on the analytical expressions for fields radiated by a short linear element. By calculating the ratio of the total power density to the radiated power density for a few simple array antennas, as well as for a single dipole element, it was found that the effective maximum difference between the total and the radiated power density would be 10 %, 0,4 dB, or less for distances larger than a quarter of a wavelength.
- b) In [24], [47] the measurement error is stated to be less than 1 dB for a distance of a quarter of a wavelength.
- c) In [25], localised and whole-body SAR is given as function of distance for a number of scenarios with different RBS antennas showing the gradual transition between different field regions.

For the purposes of this standard, measurement of either electric field strength or magnetic field strength at distances down to $\lambda/4$ from the surface of the antenna is acceptable provided the increased uncertainty is considered.

B.3.2.2 Boundary between source region II and source region III for maximum antenna dimension $L \geq 2,5 \lambda$ and elements in a linear configuration

A commonly used requirement for when far-field conditions can be said to apply is when the maximum phase error (phase difference between fields emanating from the centre and the edge of the antenna) is smaller than $\pi/8$ [27]. Translated to distance this corresponds to a path difference of $\lambda/16$ between the observation point and the current sources in the extremities of the antenna array.

**Key**

L is the antenna array total length

l is the array projected area at observation point P

IEC 1034/11

Figure B.3 – Maximum path difference for an antenna with largest linear dimension L

Consider the general configuration of Figure B.3 with an antenna of length L and an evaluation at point P. The path length represented by x is constant for all r and helps define the far-field directivity. The $\lambda/16$ constraint therefore applies to the difference in path lengths between paths $r-x$ and r_1 .

From geometry and [28],

$$x = \frac{L}{2} |\cos \beta| \quad \text{and} \quad r_1^2 = r^2 + \frac{L^2}{4} - rL |\cos \beta|$$

For constraint $r_1 - (r-x) = \lambda/16$:

$$r = \frac{2L^2}{\lambda} \sin^2 \beta - \frac{\lambda}{32} + \frac{L}{2} |\cos \beta| \quad (\text{B.1})$$

For the special case of $\beta = 90^\circ$ (main beam), and ignoring the $\frac{\lambda}{32}$ term, this simplifies to the often quoted $r = \frac{2L^2}{\lambda}$. However, note that for other values of β , Equation (B.1) gives smaller far-field distances, e.g. see Table B.7.

Table B.7 – Far-field distance r measured in metres as a function of angle β

β	10°	30°	60°	90°	120°	150°	170°
r	1,8 m	7,5 m	20,5 m	26,7 m	20,5 m	7,5 m	1,8 m

NOTE This is for the case where $L = 2$ m and $\lambda = 0,3$ m (i.e. 1 GHz)

B.3.3 Source regions for equiphase radiating aperture (e.g. parabolic dish) antennas

This class of antennas includes parabolic dish antennas where, when observed in the main beam, a significant cross-sectional area of reflector is reflecting the radiated energy from the feed source into a narrow beam.

Within the main beam, apply the criteria when the oscillation of the power density stops for increasing distance as shown by ETSI TR 102 457 [62], and as used in FCC OET 65 [46]. Additional discussion is provided in [29].

Outside the main beam and after the first null is reached, the “equiphase” conditions do not apply and so the source regions can be based on Table B.2 and considering B.3.2.1 using the projected dimensions (see Figure B.3) of the antenna.

B.4 Defining the environment regions

The environment regions are based on the proximity to, or effects from, scattering objects in the vicinity of the source, in the vicinity of the evaluation point or that otherwise affect the RF field strength between the antenna and the evaluation point.

– Environment region 0

In this region, there is no obstruction between the source antenna and the evaluation point and the levels from any reflections are small enough not to affect materially the evaluated level within the uncertainty of the evaluation.

NOTE 1 For example this includes areas without any object in the line-of-sight between the antenna and the evaluation point and where the path length source-reflector-evaluation point is more than five times the distance to the source-evaluation point.

– Environment region 1

In this region, there is no obstruction between the source antenna and the evaluation point and there is just one clearly dominant reflector e.g. the ground. Other reflectors meet the environment region 0 criteria.

NOTE 2 For example: evaluating in front but below the antenna on a roof-top; evaluating on the ground, in a large open area in the line-of-sight to the source.

– Environment region M

Where there is an obstruction between the source antenna and the evaluation point and/or where there are two or more reflectors.

NOTE 3 For example evaluating on the ground next to one or more walls or evaluating within a building.

B.5 Example source-environment plane characterisation (informative)

Figure B.4 presents an example of the Figure B.1 source-environment regions for a typical building roof-top installation. It shows a side view of a narrow vertical beamwidth antenna mounted on a building lift-motor room. The antenna is in black and the main beam is shown in the lighter shade. Figure B.4 provides a visual reference of how the regions vary as the distance from the antenna increases and reflections are considered.

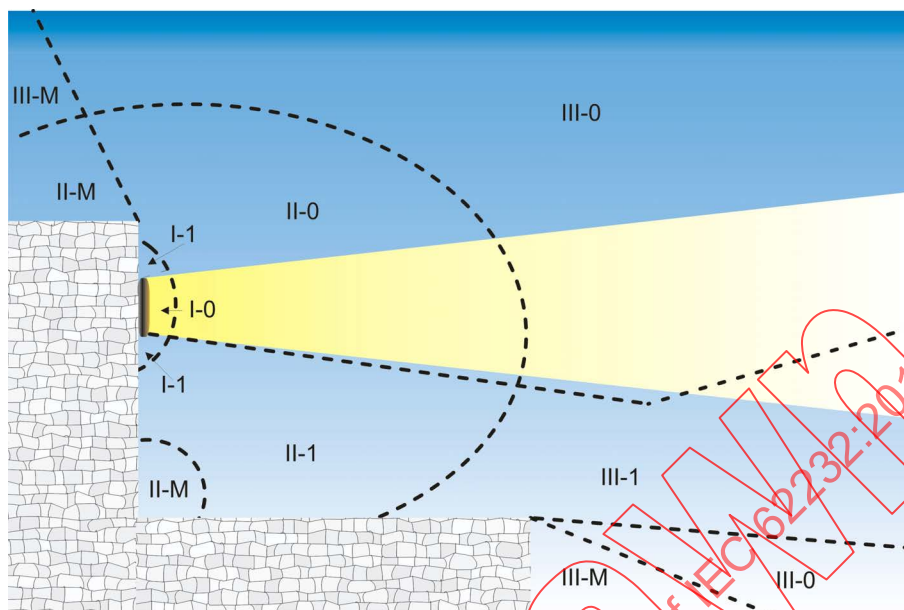


Figure B.4 – Example source-environment plane regions near a roof-top antenna which has a narrow vertical (elevation plane) beamwidth (not to scale)

Depending on frequency and dimensions, the source regions progress from region I to III. In Figure B.4, the environment regions are classified as follows:

- In most of the main beam (light shading), reflections are not relevant, so environment region 0 applies.
- Outside the main beam, immediately next to antenna, there is a single reflector (the vertical wall) making environment region 1 applicable.
- Along the walkway below the antenna, the significant reflector is the walkway roof-top making environment region 1 applicable.
- In the corner of the roof-top, both wall and walkway are reflectors (although well away from the main beam) making this environment region M.
- In the volumes beyond the roof (above and below the antenna) line-of-sight to the antenna is obscured by the building making them both environment region M.
- In line-of-sight to the antenna and below the roof-top there is a volume where the roof-top reflections are not relevant and so environment region 0 applies.

Annex C (informative)

Guidance on the application of the standard to specific evaluation purposes

C.1 Overview

This informative annex provides guidance on how to apply the evaluation methods in this standard to common evaluation purposes. This can help the evaluation plan to be developed.

C.2 Product conformity

Product conformity can be demonstrated in several ways. If the requirement is to provide a compliance boundary, see Annex C.3. If the requirement is to verify compliance with an exposure limit at locations at specified separation distances from the RBS, use the methods in Clause 6.

C.3 Establishing compliance boundaries

C.3.1 Overview to establishing compliance boundaries

This subclause provides guidance on how to define a boundary beyond which the specific source is deemed not to give rise to non-compliance with defined limit values using the evaluation methods described in the normative clauses.

In principle, any evaluation method may be used to define a compliance boundary provided it is designed to give a clear decision based on demonstrating non-exceedance of a defined limit (Annex L). Indeed, it is acceptable to apply a range of such methods to develop a single boundary. This implies that, at any given point on a proposed compliance boundary, if there is a valid evaluation method demonstrating compliance, this takes precedence over other methods which may fail to demonstrate compliance at that point.

While each method is described individually in this annex, it is fully acceptable to combine methods to establish the smallest compliance boundary.

This annex only includes some examples of compliance boundary determination due to the range of evaluation methods included in this standard.

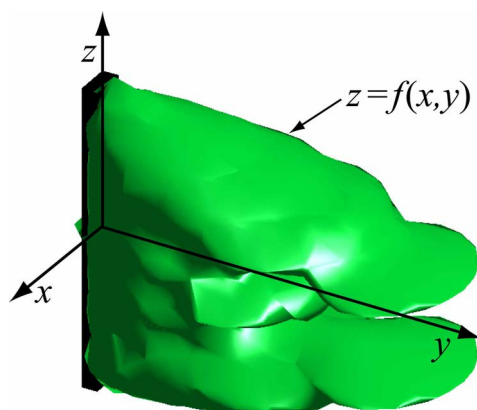
The simplest way to address ambient fields is to determine an allowance based on the exposure quotient for the ambient fields. The relevant compliance limit value for the RBS compliance boundary is then effectively reduced accordingly.

Given a set of data describing the RF field strength or induced SAR values in a region surrounding a RBS antenna, compliance boundaries may be defined in several ways ranging from very complex to quite simple. Some examples of compliance boundaries are specified next.

C.3.2 Compliance boundary examples

C.3.2.1 Complex compliance boundaries

The most accurate (smallest) compliance boundary is obtained as the iso-surface, with the iso-surface value given by the pertinent compliance limit (see Figure C.1).



IEC 1036/11

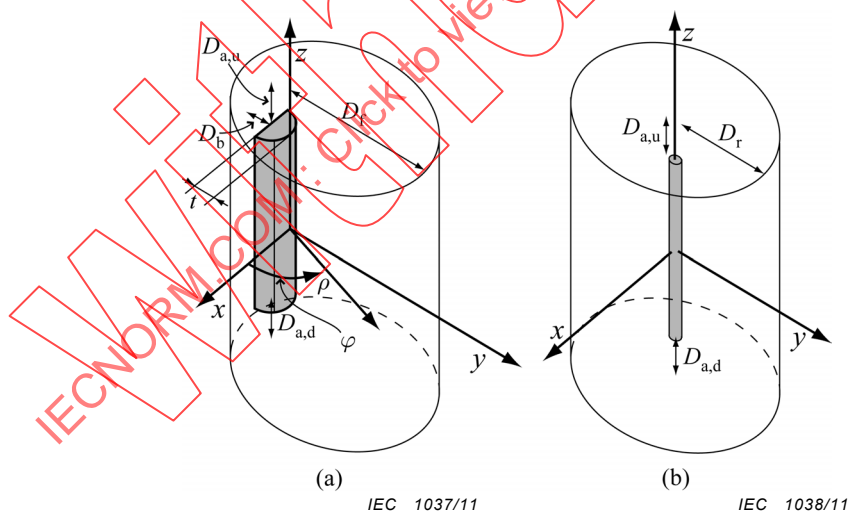
Figure C.1 – Example of complex compliance boundary

In this case the shape of the compliance boundary should be accurately described, e.g. in terms of a mathematical function $z = f(x, y)$.

C.3.2.2 Simple compliance boundaries

By inscribing the aforementioned iso-surface in various solids, simple and more conservative compliance boundaries can be generated.

In Figure C.2 cases (a) and (b) two circular cylindrical compliance boundaries are illustrated for a sector coverage antenna and a horizontally omnidirectional antenna, respectively.



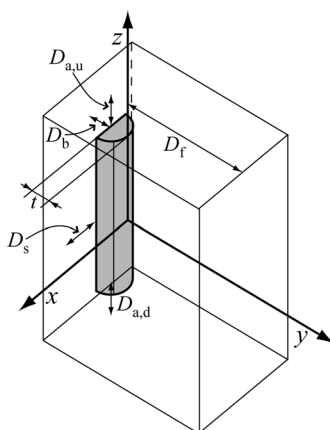
IEC 1037/11

IEC 1038/11

Figure C.2 – Example of circular cylindrical compliance boundaries: (a) sector coverage antenna, (b) horizontally omnidirectional antenna

The compliance boundary for the sector coverage antenna is described in terms of D_f , D_b , $D_{a,d}$, $D_{a,u}$, and the antenna height and thickness according to Figure C.2. Note that for the sector coverage antenna the distances D_f and D_b shall be determined so that the aforementioned iso-surface will be completely inscribed by the cylinder. In a similar way, the compliance boundary for the horizontally omnidirectional antenna is described in terms of D_r , $D_{a,d}$, $D_{a,u}$, and the height and radius of the antenna.

Another possibility is to use the parallelepipedic compliance boundary shown in Figure C.3. In this case the boundary is described in terms of D_f , D_b , $D_{a,d}$, $D_{a,u}$, D_s , and the dimensions of the antenna.



IEC 1039/11

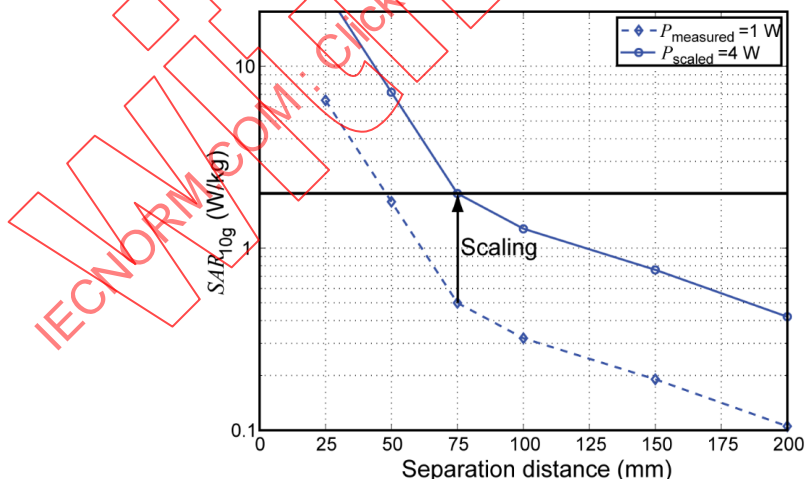
Figure C.3 – Example of parallelepipedic compliance boundary

C.3.3 Establishing compliance boundary using RF field strength measurements

Cylindrical or parallelepipedic compliance boundaries can be generated by measuring the RF field strength in suitable directions with respect to the transmitting antenna (e.g. front, back, side, and above/below), and then comparing the obtained RF field strength with relevant compliance limits.

C.3.4 Establishing compliance boundary using SAR measurement

Cylindrical or parallelepipedic compliance boundaries can be generated by measuring *SAR* for suitable antenna orientations as function of distance using the measurement procedure in 6.2.2. By linear scaling of the *SAR* versus separation distance curve, compliance distances for different power levels can be obtained by comparing the results with relevant compliance limits as illustrated in Figure C.4



IEC 1040/11

NOTE Scaling to determine the compliance distance at a power level of 4 W, when the SAR measurements were performed at a power level of 1 W for a compliance limit of 2 W/kg.

Figure C.4 – Example illustrating the linear scaling procedure

The scaled *SAR* values are computed from the measured by multiplying with the ratio between the scaled and the measured power levels. The compliance distance is then obtained from the figure by determining where the scaled *SAR* curve intersects with the pertinent *SAR* limit value. In the example in Figure C.4, the *SAR* limit was assumed to be 2 W/kg resulting in a compliance distance of 75 mm.

C.3.5 Establishing compliance boundary using cylindrical-spherical formulae

The power density should be calculated in a region surrounding the base station antenna for the maximum possible transmitted power using the procedure in 6.3.2.1. An iso-surface compliance boundary can then be obtained in a post processing step by using the relevant compliance limit as the iso-surface value. Simpler and more conservative compliance boundaries can be obtained by inscribing the obtained iso-surface in various solids as discussed in C.3.2.2.

C.3.6 Establishing compliance boundary using SAR estimation formulae

Cylindrical compliance boundaries (see Figure C.2) can be generated for sector coverage and horizontally omnidirectional antennas operating in the frequency range 700 MHz to 2 700 MHz by using the SAR estimation formulas of 6.3.2.2 and pertinent compliance limits according to the procedure described in [49]. For sector coverage antennas, the diameter of the cylinder is determined by the compliance distances in the front and back directions together with the antenna thickness t (see Figure C.2(a)). For horizontally omnidirectional antennas, the radius of the cylinder is determined by the main beam compliance distance and the radius of the antenna. The height of the cylinder is obtained by first multiplying the axial compliance distance with a factor of 2 (above and below antenna) and then adding the height of the antenna.

C.3.7 Establishing compliance boundary using full wave analysis

After an accurate numerical model has been created following the procedure in 6.3.3.2, the fields surrounding the base station antenna should be calculated for the maximum possible transmitted power. An iso-surface compliance boundary can then be obtained in a post processing step by using the relevant compliance limit as the iso-surface value. Simpler and more conservative compliance boundaries can be obtained by inscribing the obtained iso-surface in various solids as discussed in C.3.2.2.

C.4 Confirming control boundary

RF field strength measurement offers a practical way to establish control boundaries but except in special laboratory conditions does not offer a practical solution to establishing complex compliance boundaries.

Some pre-analysis is required to establish allowances for ambient fields and extrapolation factors. The assessment scheme also needs to be considered to establish whether an additional factor is required to address measurement uncertainty. Consider these factors, and determine the target RF field strength for the stable part of the RBS signal which will correspond to the relevant limit value.

Starting some distance away, approach the antenna using handheld sweep method across the whole body area to measure the level of the stable part of the RBS signal. When the target RF field strength is reached, perform a tripod evaluation to confirm field strength.

Where the RBS RF field includes multiple carrier frequencies and/or multiple frequency bands from a single antenna, the combined value needs to be considered. This is most easily achieved using a suitable frequency-selective instrument with a suitable inbuilt summation function.

To confirm an existing control boundary, establish where people have access and then use the handheld sweep method to identify high-field points on the control boundary. Also consider evaluating outside the control boundary at the closest locations to the antenna where people may enter the antenna main beam. At identified high-field points, conduct a more detailed RF field strength evaluation e.g. using a tripod.

Consider the interpretation of the evaluated field strengths using Annex L.

C.5 Overexposure evaluation

C.5.1 Overview to guidance on overexposure evaluation

This subclause provides guidance on how to apply RF field strength and SAR evaluations according to this standard for use in evaluating the RF exposure of a person who claims to have entered within a RBS control boundary. Depending on the evaluation protocol and assessment scheme used to define the control boundary, it is not necessarily the case that over a specific time period a person within the control boundary will have been exposed above the relevant limit.

C.5.2 Approach to overexposure evaluation

A key difference between this evaluation purpose and others described in this standard is that it is an investigation of a specific incident which actually has happened in the past rather than anticipated situations which may happen at sometime in the future or are observed at the time of the evaluation.

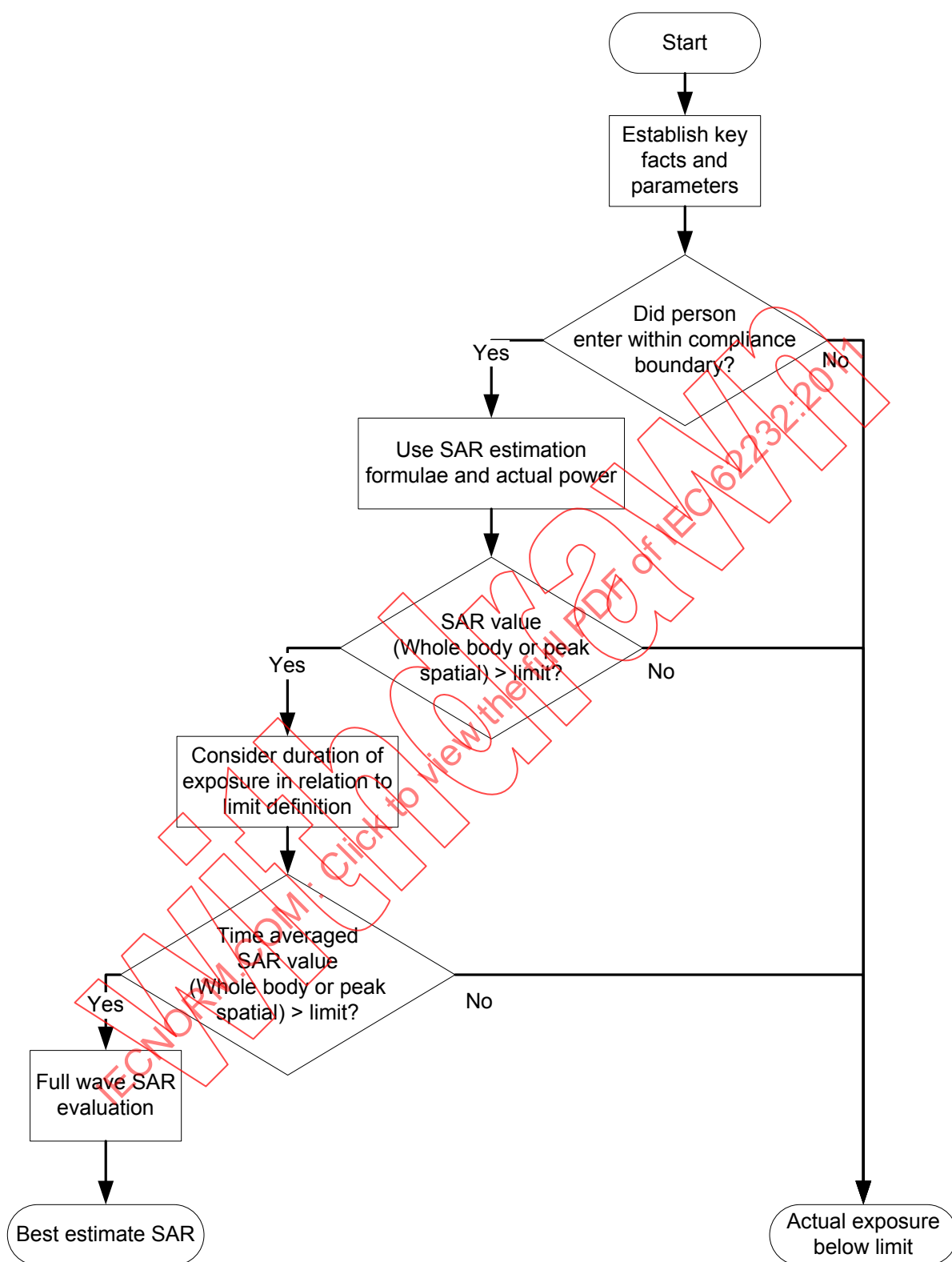
An important first step is to establish the specific parameters for the RBS at the time of the incident and the exposure duration and locations. The more that is known, the more opportunity there is to apply the evaluation protocols in this standard.

If simple evaluation protocols using the RBS parameters at the time of the incident can demonstrate that the person was not exposed over the relevant limit, then this is a significant result, i.e. initially a report can state that with greater than e.g. 95 % confidence the person was exposed at less than Y % of the relevant limit.

If the simple “conservative” protocol can only give confidence that a value somewhat above the relevant limit has not been exceeded, then the next step is to consider the duration of the exposure incident in relation to the applicable limit averaging time. For example, if the evaluated value is twice (power or SAR ratio) the limit value and the incident exposure was only one third of the limit averaging time, then this result can be used to conclude that, conservatively the exposure was below the limit. Alternatively, this approach may be used to report that the exposure is less than some factor times the limit.

Finally, it may be appropriate to perform a reference investigation using full wave SAR evaluation to estimate the SAR more precisely.

Figure C.5 provides an example investigation process following these principles.

**Figure C.5 – Example investigation process**

Annex D (normative)

Evaluation parameters

D.1 Overview

This annex defines the coordinate systems and the main evaluation parameters used within this standard.

D.2 Coordinate systems

According to the evaluation method, coordinates may be defined in cylindrical, Cartesian or spherical coordinates according to Figure D.1.

The reference axes are defined by:

- x the direction in front of the antenna; or $\theta = \pi/2$, $\phi = 0$ radians in the spherical coordinate system; or, $z = 0$ m, $\phi = 0$ radians in the cylindrical coordinate system. The front of the antenna shall be defined, for instance as the line orthogonal to the plane in which the elements are configured or by the centre of the symmetrical horizontal beam pattern.
- y the direction to the left of the antenna looking out from the front of the antenna along the x axis, or $\theta = \pi/2$, $\phi = \pi/2$ radians the angle in the spherical coordinate system.
- z the direction “up” (often orthogonal to the centre of the main beam), or $\theta = 0$ radians in the spherical coordinate system.

The origin of the coordinate system shall be defined, for instance by the centre of the back panel in case of panel antennas, and the centre of the antenna in case of omnidirectional antennas.

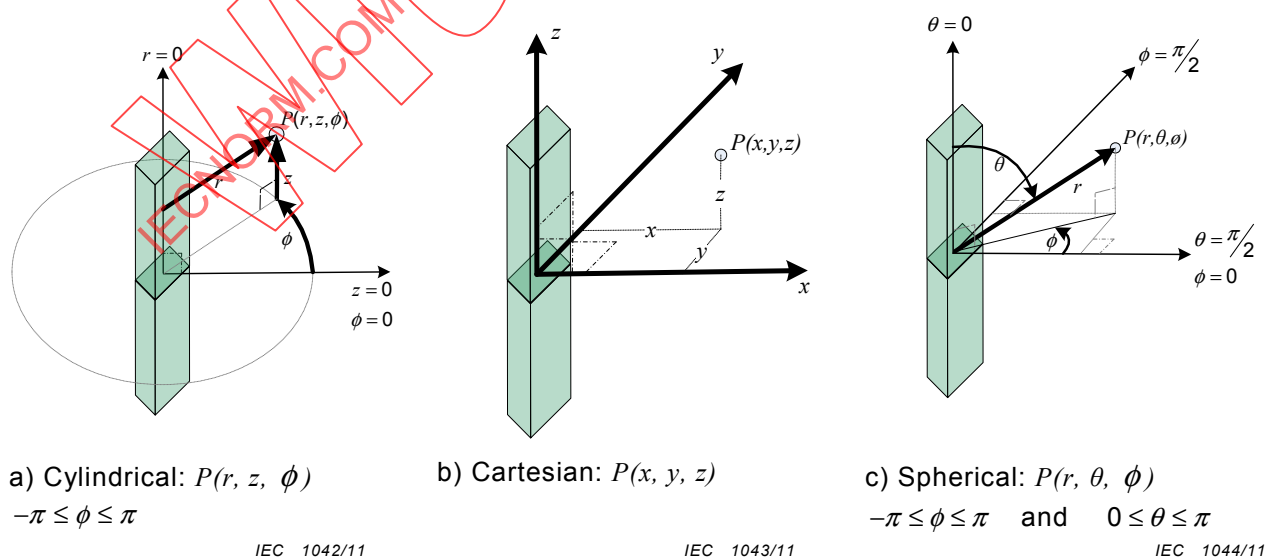


Figure D.1 – Cylindrical, cartesian and spherical coordinates relative to the RBS antenna

D.3 Reference points

For fully enclosed sources (e.g. desktop box with internal antenna) where there is no external indication of antenna – use the surface of the enclosure.

Where there is a clear antenna (e.g. desktop unit with external antenna or where the RBS antenna has exposed radiating elements), use the antenna but clarify according to the evaluation method if the origin is the centre or nearest point of the antenna also clearly distinguishing if needed between passive elements/reflectors and active elements.

For the evaluation point when spatial averaging is used see Annex I.

D.4 Variables

Table D.1 defines the dimension variables.

Table D.1 – Dimension variables

Variable	Default Unit	Description
d_{xxx}	m	Distance where subscript xxx is used to define the end points for the specific case.
r_{xxx}	m	Radius from point of origin where subscript xxx may be used to define the end points for the specific case.
L_{xxx}	m	Dimension of an antenna, phantom or other object where subscript xxx may be used to define specific case.

Table D.2 defines the variables relating to the RF power.

Table D.2 – RF power variables

Variable	Unit	Description	Notes
$\bar{P}_{avg}$	W	Average (temporal) transmitted power (see Clause 3)	This is time-averaged conducted power applied to the antenna input connector minus the reflected power from the antenna input connector and minus the power dissipated as heat within the antenna. In the absence of additional information, assume no power is dissipated in the antenna and no power reflected.
$\bar{P}_{net}$	W	Net average (temporal) power transferred into the antenna port.	This is the time-average conducted forward power minus the reflected power at the antenna input connector. In the absence of additional information, assume no power is reflected.

The value of the power ($\bar{P}_{avg}$ or $\bar{P}_{net}$) to be used in an evaluation depends on the method and purpose.

- Maximum RBS RF power (for each frequency band) shall be used as the assessment configuration for compliance either directly by computation or in developing extrapolation factors for measurements. This shall be the maximum conducted power anticipated under operating conditions time-averaged over relevant averaging period. A lower maximum

value may be used if there is justification based on a detailed knowledge of the constraints on specific system parameters.

- Practical evaluation RBS RF power (for each frequency band) defines a practical evaluation condition to be used to extrapolate measurand values to the assessment configuration for example with maximum RBS RF power. There shall be a known relationship between the reference RBS RF power and the required assessment configuration.

NOTE Depending on the technology (see Annex N), there is some part of the signal that remains substantially constant in amplitude e.g. for GSM, the BCCH; For UMTS, a pilot channel.

The power may be established:

- by using manufacturer's data, in which case the uncertainty shall be as stated by the manufacturer; or,
- by direct measurement, in which case the uncertainty shall be the uncertainty of the measurement combined with the manufacturer's uncertainty if extrapolated to other operating frequencies and environmental conditions.

Table D.3 defines the antenna variables.

Table D.3 – Antenna variables

Variable	Unit	Description	Notes
D	Linear ratio	Peak directivity of the antenna (see Clause 3) at the frequency under evaluation.	Obtain from manufacturer's data.
$D_{\theta,\phi}$	Linear ratio	Directivity of antenna in direction specified in spherical coordinates at the frequency under evaluation.	For source region III, Obtain from manufacturer's data ^a . For source region I or II, determine according to evaluation method.
G	Linear ratio	Peak antenna gain (see Clause 3) at the frequency under evaluation.	Obtain from manufacturer's data. In the absence of additional information, assume no power is dissipated in the antenna.
$G_{\theta,\phi}$	Linear ratio	Antenna gain in direction specified in spherical coordinates at the frequency under evaluation.	For source region III, obtain from manufacturer's data. ^a For source region I or source region II, evaluate according to evaluation method. In the absence of additional information, assume no power is dissipated in the antenna.
$G_{\text{side lobe}}$	Linear ratio	Gain of the maximum side lobe in the vertical gain pattern at the frequency under evaluation.	Obtain from manufacturer's data.
$\phi_{3\text{dB}}$	Radians	Azimuth HPBW at the frequency under evaluation.	Obtain from manufacturer's data.
$\theta_{3\text{dB}}$	Radians	Vertical HPBW at the frequency under evaluation.	Obtain from manufacturer's data.
γ	Radians	Electrical downtilt angle of the antenna main beam from x-y plane at the frequency of evaluation. Down is positive and up is negative.	Obtain from manufacturer's data
N_e	Integer number	The number of antenna elements at the frequency of evaluation.	Obtain from manufacturer's data

^a Manufacturer's data is often limited to some bearings on a surface through the main beam and factors on an orthogonal slice. This limitation introduces an uncertainty that is likely to be greatest at the "poles" of the antenna pattern, [75].

Table D.4 defines the measurand variables

Table D.4 – Measurand variables

Variable	Unit	Description	Notes
S	$W m^{-2}$	Plane wave equivalent power flux density value over the longer period of either the modulation or the pulse waveforms.	Time averaging to address modulation and pulses or to be consistent with relevant $\bar{P}_{avg}$ or $\bar{P}_{net}$
S_{avg}	$W m^{-2}$	Time-averaged plane wave equivalent power flux density.	Time averaging e.g. as defined by relevant regulation or international exposure standard
$\bar{S}$	$W m^{-2}$	Spatially-averaged plane wave equivalent power flux density.	Spatial averaging defined by spatial averaging scheme
E	$V m^{-1}$	R.M.S. electric field strength over the longer period of either the modulation or the pulse waveforms.	Time averaging to address modulation and pulses or to be consistent with relevant $\bar{P}_{avg}$ or $\bar{P}_{net}$
E_{avg}	$V m^{-1}$	Time-averaged r.m.s. electric field strength.	Time averaging e.g. as defined by relevant regulation or international exposure standard
$\bar{E}$	$V m^{-1}$	Spatially-averaged r.m.s. electric field strength.	Spatial averaging defined by spatial averaging scheme
H	$A m^{-1}$	R.M.S. magnetic field strength over the longer period of either the modulation or the pulse waveforms.	Time averaging to address modulation and pulses or to be consistent with relevant $\bar{P}_{avg}$ or $\bar{P}_{net}$
H_{avg}	$A m^{-1}$	Time-averaged r.m.s. magnetic field strength.	Time averaging e.g. as defined by relevant regulation or international exposure standard
$\bar{H}$	$A m^{-1}$	Spatially-averaged r.m.s. magnetic field strength.	Spatial averaging defined by spatial averaging scheme
SAR_{wb}	$W kg^{-1}$	Specific absorption rate averaged over the whole body.	Time averaging to address modulation and pulses or to be consistent with relevant $\bar{P}_{avg}$ or $\bar{P}_{net}$
SAR_{10g}	$W kg^{-1}$	Peak spatial-average specific absorption rate in 10 g.	Time averaging to address modulation and pulses or to be consistent with relevant $\bar{P}_{avg}$ or $\bar{P}_{net}$
SAR_{1g}	$W kg^{-1}$	Peak spatial-average specific absorption rate in 1 g.	Time averaging to address modulation and pulses or to be consistent with relevant $\bar{P}_{avg}$ or $\bar{P}_{net}$

Annex E (normative)

RF field strength measurement equipment requirements

This annex defines the basic constraints on measurement equipment for the frequency range from 300 MHz to 6 GHz.

The measurement equipment shall be calibrated at a sufficient number of frequencies to achieve the declared uncertainty of the equipment over the measurement frequency range. This may be achieved as a whole system or by calibration of all the individual parts of the system. For signals with high crest factors or combinations of several signals, additional calibration may be necessary to assess uncertainty.

Where specific demodulation capabilities are used, measurement equipment shall also be calibrated for the parameters of interest (e.g. for WCDMA the CPICH signal and signal to noise ratio, see Annex N).

Table E.1 summarises the performance requirements for a broadband measurement system.

Table E.1 – Broadband measurement system requirements

Frequency response	Minimum detection level	Dynamic range	Linearity	Probe isotropy ^a
900 MHz to 3 GHz ± 1,5 dB	< 2 mW/m ² (i.e. 1 V/m or 0,003 A/m)	> 40 dB	± 1,5 dB	< 2,5 dB for isotropic probe
< 900 MHz and > 3 GHz ± 3 dB for the frequencies to be measured				
^a Probes and measurement antennas with isotropic response are recommended. Single-axis (e.g. dipole) and directional measurement antennas are permitted provided that the measurements are post processed to obtain the total field strength (equivalent to a measurement with an isotropic probe / measurement antenna).				

Table E.2 summarises the performance requirements for the frequency-selective measurement system.

Table E.2 – Frequency-selective measurement system requirements

Frequency response	Minimum detection level	Dynamic range	Linearity	Probe isotropy ^a
900 MHz to 3 GHz ± 1,5 dB	< 0,01 mW/ m ² (i.e. 0,05 V/m)	> 60 dB	± 1,5 dB	< 900 MHz: < 2 dB
< 900 MHz and > 3 GHz ± 3 dB for the frequencies to be measured	Signal to noise ratio of at least 10 dB in the measurement bandwidth			900 MHz to 3 GHz: < 3 dB > 3 GHz: < 5 dB
^a Probes and measurement antennas with isotropic response are recommended. Single-axis (e.g. dipole) and directional measurement antennas are permitted provided that the measurements are post processed to obtain the total field strength (equivalent to a measurement with an isotropic probe / measurement antenna).				

Annex F (informative)

Basic computation implementation

F.1 Overview

This annex defines the formulae discussed in 6.3.2 and their applicability.

The coordinate system is defined according to Figure D.1.

The reference frame relative to an array antenna axis employed in the analytical prediction formulae for the spatially-averaged power density, $\bar{S}$, and the spatial-peak power density, S , are illustrated in Figure F.1.

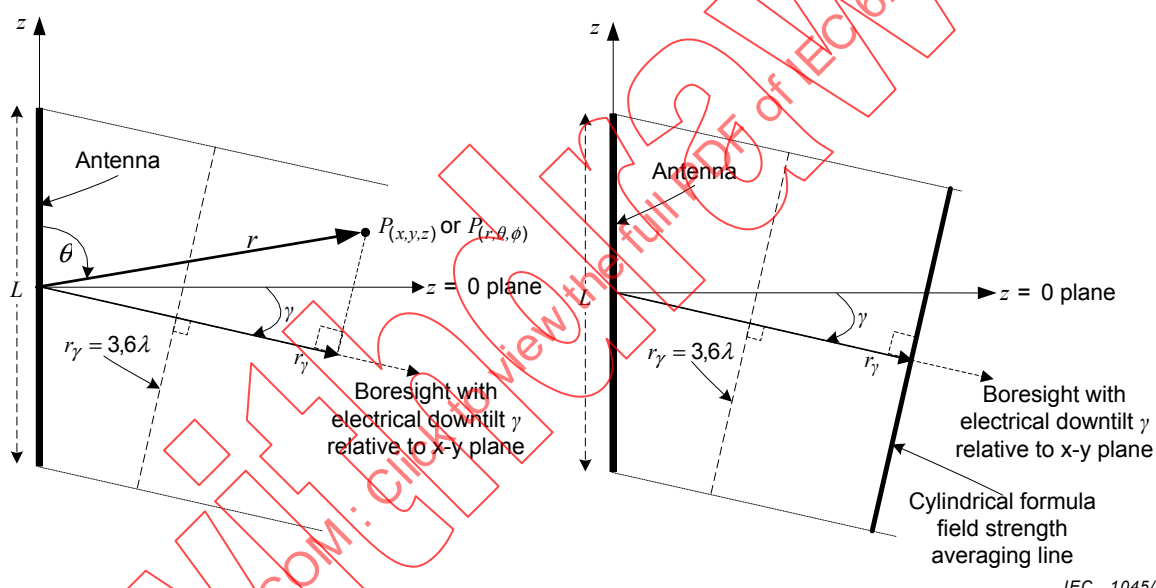


Figure F.1 – Reference frame employed for cylindrical formulae for field strength computation at a point P (left), and on a line perpendicular to boresight (right)

F.2 Spherical and cylindrical formulae

F.2.1 General

Spherical formulae with different constants and cylindrical formulae can be employed for RF field strength evaluations in three zones of computation (see Figure F.2 and Table F.1) around a typical linear antenna. Reference [53] details how these formulae were derived and how the computed values relate to the confidence level (see Figure O.1) in the different zones of computation.

NOTE The uncertainty of the computation is dependent on the precise location in relation to the antenna. For more precision, in [53] four zones of computation are defined with statistical analyses of extensive computational data providing uncertainty information as tables of offsets. These may be employed to determine the values of S at specific locations corrected for the required confidence level.

The formulae in this subclause use the variables defined in Clause 3, Annex D and as follows (see Figure F.1):

- G is the peak antenna gain, measured as a linear ratio, at the frequency under evaluation
- $G_{\text{side lobe}}$ is the gain, measured as a linear ratio, of the maximum side lobe in the vertical gain pattern at the frequency under evaluation.
- L is the physical antenna array length measured in metres. The individual antenna lengths for each band shall be used for antennas covering more than one band.
- r is the radius measured in metres taken from the centre of the antenna.
- r_{γ} is the radius measured in metres along boresight of the antenna (see Figure F.1).
- γ is the electrical downtilt angle measured in radians of the antenna main beam from x-y plane (i.e. $z = 0$) at the frequency of evaluation and where down is positive and up is negative.
- λ is the wavelength measured in metres for each band.
- θ is the angle measured in radians between the positive z -axis and the line formed between the origin and the point of interest.
- $\theta_{3\text{dB}}$ is the vertical HPBW measured in radians at the frequency under evaluation.
- ϕ is the azimuth angle measured in radians between the positive x -axis and the line from the origin to the point of interest projected onto the x - y plane (i.e. where $z = 0$) and $-\pi < \phi \leq \pi$ and the maximum azimuth gain of the antenna is at $\phi = 0$ radians.
- $\phi_{3\text{dB}}$ is the azimuth HPBW measured in radians at the frequency under evaluation.

F.2.2 Zone boundaries

Table F.1 gives the formulae for calculating the zone boundaries applicable to the adjusted spherical and cylindrical formulae respectively (see Figure F.2 for visual representation of zones). These are simplified from Table B.4 to be consistent with the uncertainty analysis described in [53]. In Figure F.2, the three dimensional view shows pie-slice sections of the same three zones, which are symmetrically equivalent around the z -axis.

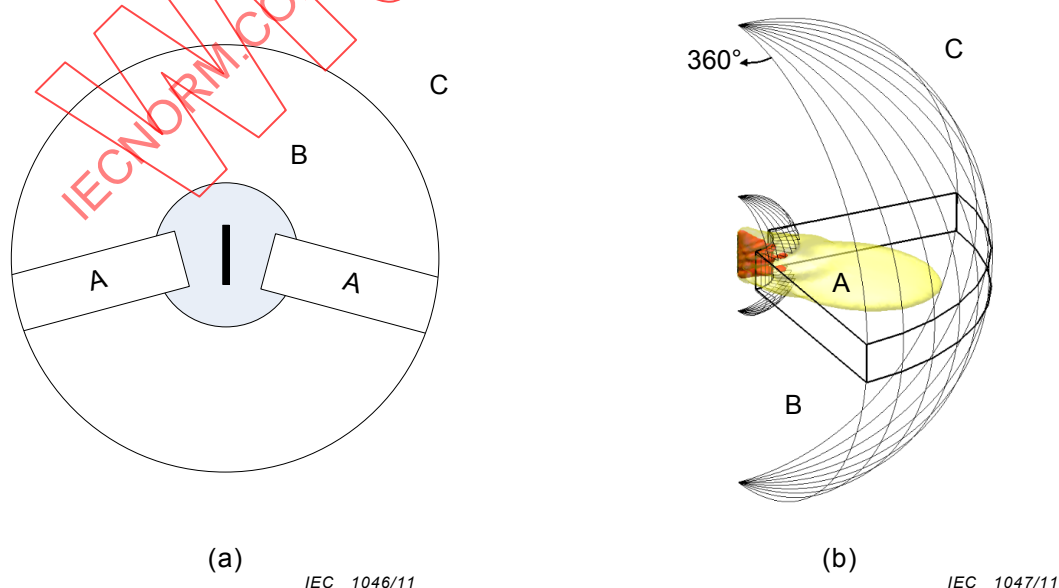


Figure F.2 – Two (a) and three (b) dimensional views illustrating the three valid zones for field strength computation around an antenna

Table F.1 – Definition of boundaries for selecting the zone of computation

Method of calculation	Point of interest in zone:		
	A	B	C
Method of calculation	Peak/Average Cylindrical formulae	Peak/Average Adjusted spherical formulae	Peak/Average Classical spherical formulae
Boundary restrictions	$3,6\lambda \leq r_\gamma \leq \max \left[\frac{2L^2}{\lambda}, \frac{L}{2+2,5\lambda} \right]$ Applicable in boresight within height of antenna ^a . Sector arrays: $-\pi/2 \leq \phi \leq \pi/2$ Omnidirectional arrays: $-\pi \leq \phi \leq \pi$	$L/2+2,5\lambda \leq r \leq \frac{2L^2}{\lambda}$ Applicable off-boresight above and below height of the antenna ^a .	$r \geq \max \left[\frac{2L^2}{\lambda}, \frac{L}{2+2,5\lambda} \right]$ Applicable anywhere in source region III.
^a In the case of electrical downtilt, the condition “in boresight within height of antenna” is defined by: $-\frac{L}{2} - r_\gamma \cdot \sin(\gamma) \leq z \leq \frac{L}{2} - r_\gamma \cdot \sin(\gamma)$ where z is defined by Figure D.1 case a) and case b).			

F.2.3 Description: cylindrical estimation formulae**F.2.3.1 Spatial-average cylindrical formulae**

The formulae for estimating the spatially-averaged plane wave equivalent power density $\bar{S}$ applicable in **zone A** (see Figure F.2) are described in [4]:

a) Omnidirectional arrays

$$\bar{S}(r_\gamma) = \frac{\bar{P}_{\text{avg}}}{2 \cdot \pi \cdot r_\gamma \cdot L \cdot \cos^2(\gamma) \cdot \sqrt{1 + (r_\gamma/r_0)^2}}, \quad r_0 = \frac{1}{2} G \cdot L \cdot \cos^2 \gamma \quad (\text{F.1})$$

b) Sector-coverage arrays

$$\bar{S}(r_\gamma, \phi) = \frac{\bar{P}_{\text{avg}} \cdot 2^{-(2\phi/\phi_{3\text{dB}})^2}}{\phi_{3\text{dB}} \cdot r_\gamma \cdot L \cdot \cos^2(\gamma) \cdot \sqrt{1 + (r_\gamma/r_0)^2}}, \quad r_0 = \frac{\phi_{3\text{dB}}}{12} G \cdot L \cdot \cos^2 \gamma \quad (\text{F.2})$$

NOTE 1 The formulae F.1 and F.2 compute the plane wave equivalent power density spatially-averaged over the specified antenna length L and therefore this does not necessarily relate to the spatial averaging schemes in Annex I.

NOTE 2 The average cylindrical formulae provide values of $\bar{S}$ representing the best estimate confidence level (see Figure O.2) for the “technique uncertainty”. From [53], the corresponding upper 95 % confidence level (see Figure O.2) is between +0,3 dB to +7,5 dB (depending on ϕ) above the $\bar{S}$ determined by Equations (F.1) and (F.2) for the range of antennas evaluated in the reported study.

F.2.3.2 Spatial-peak cylindrical formulae

The formulae [4] for estimating the spatial-peak plane wave equivalent power density S applicable in **zone A** (see Figure F.2) are:

a) Omnidirectional arrays

$$S(r_\gamma) = \frac{\bar{P}_{avg}}{\pi \cdot r_\gamma \cdot L \cdot \cos^2(\gamma) \cdot \sqrt{1 + (2r_\gamma/r_0)^2}}, \quad r_0 = \frac{1}{2} G \cdot L \cdot \cos^2 \gamma \quad (F.3)$$

b) Sector-coverage arrays

$$S(r_\gamma, \phi) = \frac{2 \cdot \bar{P}_{avg} \cdot 2^{-(2\phi/\phi_{3dB})^2}}{\phi_{3dB} \cdot r_\gamma \cdot L \cdot \cos^2(\gamma) \cdot \sqrt{1 + (2r_\gamma/r_0)^2}}, \quad r_0 = \frac{\phi_{3dB}}{12} \cdot G \cdot L \cdot \cos^2 \gamma \quad (F.4)$$

NOTE The peak cylindrical formulae provide values of S representing the best estimate confidence level (see Figure O.2) for the “technique uncertainty”. From [53], the corresponding upper 95 % confidence level (see Figure O.2) is between +0,6 dB to +7,2 dB (depending on ϕ) above the S determined by Equations (F.3) and (F.4) for the range of antennas evaluated in the reported study.

F.2.4 Description: spherical estimation formulae

F.2.4.1 Adjusted spherical formulae

The formulae for estimating both the spatially-averaged plane wave equivalent power density $\bar{S}$ and spatial-peak S plane wave equivalent power density applicable in **zone B** (see Figure F.2) are:

a) Omnidirectional arrays

$$S(r, \theta) \approx \bar{S}(r, \theta) = \frac{1,2 \cdot \bar{P}_{avg} \cdot G_\theta}{4 \cdot \pi \cdot r^2}, \quad G_\theta = 1,26 \cdot G_{side\ lobe} + G \cdot 2 \left(\frac{\theta - \gamma - \pi/2}{\theta_{3dB}} \right)^2 \quad (F.5)$$

b) Sector-coverage arrays

$$S(r, \theta, \phi) \approx \bar{S}(r, \theta, \phi) = \frac{1,2 \cdot \bar{P}_{avg} \cdot G_{\theta, \phi}}{4 \cdot \pi \cdot r^2}, \quad G_{\theta, \phi} = 1,26 \cdot G_{side\ lobe} + G \cdot 2 \left(\frac{\theta - \gamma - \pi/2}{\theta_{3dB}} \right)^2 - \left(\frac{1,9 \cdot \phi}{\phi_{3dB}} \right)^2 \quad (F.6)$$

NOTE The adjusted spherical formulae as derived in [53] provide values of S representing the best estimate confidence level (see Figure O.2) for the “technique uncertainty” considering the complete computation zone B (see Figure F.2). From [53] the corresponding upper 95 % confidence level (see Figure O.2) is up to +5,8 dB on the S determined by Equations (F.5) and (F.6) depending on r , θ and ϕ for the range of antennas evaluated in the reported study.

F.2.4.2 Classical spherical formula

The classical spherical formula (see 6.3.2.1 Equation (7)) is applicable in **zone C** (see Figure F.2) for estimating both the spatially-averaged plane wave equivalent power density $\bar{S}$ and spatial-peak plane wave equivalent power density S applicable.

NOTE The classical spherical formula (see Equation (7)) provides a value of S representing the best estimate confidence level (see Figure O.2) for the “technique uncertainty”. The upper 95 % confidence level (see Figure O.2) is +3.5 dB on the S determined by the simplified equation in [53] that fully defines the method to determine the three-dimensional gain pattern and the associated uncertainties using for the range of antennas evaluated in the reported study.

F.3 SAR estimation formulae

F.3.1 SAR estimation formulae applicable to the front (main beam) direction

The whole-body SAR and peak spatial-averaged SAR (1 g or 10 g) shall be evaluated using the following formulae [50]:

$$SAR_{wb} = C(f) \cdot \frac{H_{eff}}{\tilde{A} \cdot \tilde{B}} \cdot \frac{\bar{P}_{avg}}{\phi_{3dB} \cdot L \cdot d} \cdot \left[1 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\phi_{3dB} \cdot G \cdot L} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad (F.7)$$

$$SAR_{10g} = 25 \cdot SAR_{wb} \cdot \frac{\tilde{B}}{H_{eff}} \cdot \frac{1}{R_{wb/10g}} \quad (F.8)$$

$$SAR_{1g} = 20 \cdot SAR_{wb} \cdot \frac{\tilde{B}}{H_{eff}} \cdot \frac{1}{R_{wb/1g}} \quad (F.9)$$

where

$$\tilde{A} = 0,089 \text{ m}$$

$$\tilde{B} = 1,54 \text{ m}$$

d = the closest distance measured in metres from the antenna radome to the evaluation point.

NOTE For comparison with full wave-simulations, d is the closest distance between the radome and the phantom.

H_{eff} = Effective height of the body measured in metres

L = Physical antenna array length measured in metres. The individual antenna lengths for each band shall be used for antennas covering more than one band

$$R_{wb/10g} = \begin{cases} 1,5 & 300 \text{ MHz} < f \leq 2,5 \text{ GHz} \\ 1 & 2,5 \text{ GHz} < f < 5 \text{ GHz} \end{cases}$$

$$R_{wb/1g} = \begin{cases} 0,6 & 300 \text{ MHz} < f \leq 2,5 \text{ GHz} \\ 0,3 & 2,5 \text{ GHz} < f < 5 \text{ GHz} \end{cases}$$

H_{eff} shall be evaluated using

$$H_{eff} = \begin{cases} L & H_{beam} < L \text{ AND } H_{beam} < \tilde{B} \\ H_{beam} & L \leq H_{beam} < \tilde{B} \\ \tilde{B} & \tilde{B} \leq H_{beam} \\ \tilde{B} & \tilde{B} \leq L \end{cases}$$

where

$$H_{beam} = 2 \cdot d \cdot \tan(\theta_{3dB} / 2)$$

$C(f)$ shall be evaluated using Table F.2.

Table F.2 – Definition of $C(f)$

f MHz	$C(f)$ $10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$
300 to 900	$6,3 + \frac{(f - 300)}{600} \times 1,8$
900 to 5 000	8,1

F.3.2 SAR estimation formulae applicable to the axial and back directions

Peak spatial-average SAR (1 g or 10 g) values shall be evaluated using the following formulae [49]:

$$SAR_{1g,10g}(d, \bar{P}_{avg}, N_e) = \begin{cases} \tilde{C}_{1g,10g}^{A,B} \frac{\bar{P}_{avg}}{N_e} & d < 0,01 \text{ m} \\ \tilde{D}_{1g,10g}^{A,B} \frac{\bar{P}_{avg}}{N_e \cdot d} & d \geq 0,01 \text{ m} \end{cases} \quad (F.10)$$

where

the suffixes ^A and ^B denote axial and back directions, respectively.

$$\tilde{C}_{1g}^A = 10 \text{ kg}^{-1}$$

$$\tilde{D}_{1g}^A = 0,1 \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$\tilde{C}_{1g}^B = 1 \text{ kg}^{-1}$$

$$\tilde{D}_{1g}^B = 0,01 \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$\tilde{C}_{10g}^A = 5 \text{ kg}^{-1}$$

$$\tilde{D}_{10g}^A = 0,05 \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$\tilde{C}_{10g}^B = 0,5 \text{ kg}^{-1}$$

$$\tilde{D}_{10g}^B = 0,005 \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$$

d = In the back direction the distance measured in metres from the antenna back plate to the evaluation point. In the axial direction the smallest distance measured in metres from the nearest antenna element to the evaluation point. For a conservative evaluation the distance from the antenna radome may be used in the axial direction.

NOTE For comparison with full wave-simulations d is the closest distance between the phantom and either the back plate for the back direction evaluation or the nearest antenna element for the axial direction evaluation.

N_e = The number of antenna elements at the frequency of evaluation.

F.4 Formulae to estimate RF field strength from Yagi antennas

The following formula, established in [8], predicts the spatially-averaged power density $\bar{S}$ in front of a Yagi antenna at distances greater than $\lambda/2$ from the front element.

$$\bar{S}(d, \phi \approx 0; h_d) = \frac{\bar{P}_{avg}}{2 \cdot \pi \cdot L_d \cdot d} \quad (F.11)$$

In [4] it is shown that the power density from collinear arrays is less than twice the spatially-averaged power density. This result can be safely translated to Yagi arrays since their wave front is much smoother:

$$S(d, \phi \approx 0; L_d) = \frac{\bar{P}_{avg}}{\pi \cdot L_d \cdot d}$$

As done in [8], [4] the transition between the near-field (cylindrical) decay and the far-field (spherical) behaviour is readily accomplished as follows:

$$S(d, \phi \approx 0; L_d) = \frac{\bar{P}_{\text{avg}}}{\pi \cdot L_d \cdot d \cdot \sqrt{1 + (2d/d_0)^2}}, \quad d_0 = \frac{1}{2} \cdot D \cdot L_d, \quad d \geq \frac{\lambda}{2} \quad (\text{F.12})$$

where

- D is the directivity in the direction of maximum radiation intensity (see Clause 3).
- $\bar{P}_{\text{avg}}$ is the average (temporal) transmitted power (see Clause 3).
- S is the power flux density (W m^{-2}) in the direction of maximum radiation intensity.
- L_d is the director length measured in metres, which is typically about $\lambda/2$
- d is the distance measured in metres from the front element of the Yagi to the evaluation point in the direction of maximum radiation intensity.

This produces a very conservative evaluation for all other directions departing from the antenna.

F.5 Formulae to estimate conservatively the RF field strength from leaky RF cables

Figure F.3 shows the geometry of a typical leaky RF cable, consisting of a coaxial cable whose metallic sheath or braid features regularly spaced slots that leak out a small fraction of the RF energy guided inside the cable. Therefore, the guided wave attenuation consists of two components: the conventional field attenuation due to ohmic and dielectric losses in the cable materials, and the guided field attenuation due to energy loss in the form of leaked radiation.

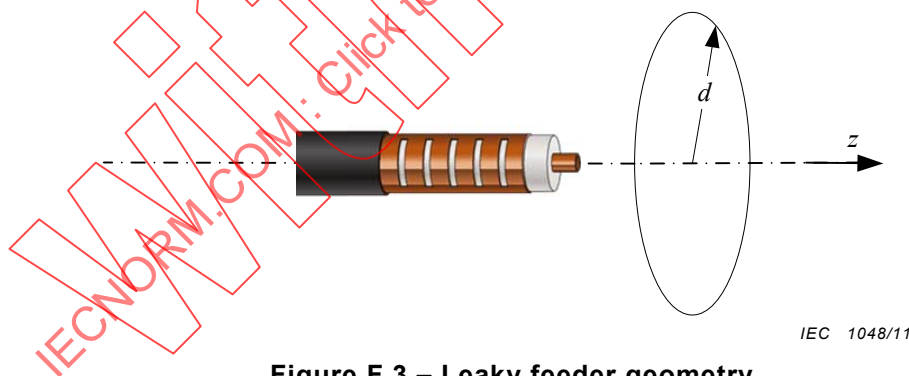


Figure F.3 – Leaky feeder geometry

Because of the aforementioned characteristics, leaky feeders are radiating transmission lines frequently employed to provide coverage in tunnels or indoors, characterized by a frequency dependent attenuation coefficient, α :

$$\alpha = \alpha_d + \alpha_r$$

where

α_d is the attenuation coefficient due to dissipation loss along the transmission line (dB/m)

α_r is the attenuation coefficient due to radiation loss along the transmission line (dB/m)

Neglecting dissipative attenuation and assuming that all guided field attenuation is due to RF leakage, i.e. $\alpha = \alpha_r$, allows overestimating the relative fraction of radiated RF power, which leads to a conservative RF field strength evaluation. Under this hypothesis, the travelling

power decay versus distance along the transmission line (assuming that the cable is fed at $z = 0$) is:

$$P(z) = \bar{P}_{\text{net}} \cdot 10^{-z \left(\frac{\alpha}{10} \right)} = \bar{P}_{\text{net}} \cdot e^{-\alpha z \left[\frac{\ln(10)}{10} \right]} = \bar{P}_{\text{net}} \cdot e^{-z \left[\frac{\alpha}{4,343} \right]}$$

Therefore the radiated power per unit length P_r is:

$$P_r(z) = \frac{P(z) - P(z + \Delta z)}{\Delta z} \Big|_{\Delta z \rightarrow 0} = -\frac{\partial}{\partial z} P(z) = \bar{P}_{\text{net}} \left(\frac{\alpha}{4,343} \right) \cdot e^{-z \left(\frac{\alpha}{4,343} \right)} \text{ W m}^{-1}$$

Since the waves emitted from leaky cables generally feature conical character, it is possible to produce a conservative estimate of the emission levels at a radial distance d by introducing a cylindrical-type decay as follows:

$$S(d, z) = \frac{P_r(z)}{2 \cdot \pi \cdot d} = \left(\frac{\alpha}{4,343} \right) \cdot \frac{\bar{P}_{\text{net}}}{2 \cdot \pi \cdot d} \cdot e^{-z \left(\frac{\alpha}{4,343} \right)} \text{ W m}^{-2} \quad (\text{F.13})$$

The power density estimate can be made even more conservative by taking its peak, at $z = 0$

$$S(d) = \frac{\bar{P}_{\text{net}} \cdot \alpha}{8,646 \cdot \pi \cdot d} \text{ W m}^{-2} \quad (\text{F.14})$$

where

- $S(d)$ is the power density (W m^{-2}) at radial distance d (m) from the centre of the leaky feeder at the feed connector
- $S(d, z)$ is the power density (W m^{-2}) at radial distance d (m) from the centre of the leaky feeder at a distance z (m) from the feed connector
- α is the frequency dependent attenuation coefficient (dB/m)
- $\bar{P}_{\text{net}}$ is the net average (temporal) power (W) transferred into the leaky feeder

Equation (F.14) can be considered a conservative estimate of the exposure on a person disposed parallel to the cable axis. Since cables normally run horizontally in tunnels or offices, then the formula would provide a very conservative evaluation when applied at the closest radial distance where any portion of the exposed person's body may be relative to the cable longitudinal axis.

Annex G (normative)

Advanced computation implementation

G.1 Overview

This annex gives information on method specific issues that shall be considered when doing full wave field evaluation and full wave SAR evaluation. The generally applicable technical requirements are listed here for each method.

G.2 Full wave field evaluation

G.2.1 Method of moments (MoM)

MoM is used to numerically solve integral equation formulations of Maxwell's equations. In principle, the radiated electromagnetic fields are obtained by following a two-step procedure.

- a) First, structures which are represented with a mesh are replaced by equivalent currents. A matrix is derived which represents the effect of each element/segment on each other segment/element and the surface currents are solved.
- b) Secondly, these currents are integrated to obtain the electric and magnetic fields at the points of interest.

Metallic structures can be modelled accurately and efficiently using MoM. Fine structures with arbitrary orientations can also be treated easily. Another advantage is that only the radiating antenna needs to be discretized, i.e. the memory requirements and the solution time do not depend on the distance between the source and the field point. For the same reason, there is no uncertainty component rising from the truncation of the computational domain as is the case for the methods FDTD and FEM. MoM is however not the most efficient method for inhomogeneous dielectric mediums but when hybridized with FEM it can be an effective solution. Since the typical RBS antenna's structure is physically quite large compared to the wavelength, and with a lot of detail these simulations can get quite memory and time consuming when the frequency is high e.g. GSM-1800 or UMTS, but this is a general CEM problem for these calculations.

When using MoM the following principles shall be considered.

- The edge length of the elements of the model should be small enough to give accurate results and big enough to ensure that realistic computational resources can be used. To determine if the edge lengths of the elements are small enough, convergence tests should be done, which is an iterative process where the mesh size is varied and the results are compared until the optimal mesh size is determined. Start with edge lengths of i.e. $\lambda_0/5$, $\lambda_0/8$ and $\lambda_0/10$ (with λ_0 the wavelength in free space) and repeat until the difference between the results differs less than 10 %. The edge length of the elements should also be small enough to create a mesh which resembles the geometry. This is sometimes called geometric convergence.
- When meshing a detailed model of an antenna the mesh elements can be differing lengths - finer (e.g. $\lambda_0/15$) where the highest current variations are e.g. close to feed pins and coarse (e.g. $\lambda_0/8$) elsewhere, to reduce the runtime.
- In certain cases there will be other limits on the size of the mesh elements; for example, if two metal plates are close to each other there are limitations on the maximum edge length of the elements. Another example is the limitations on the radius vs. segment length of a wire element.

- Accurate information concerning the excitation of each radiating element is required for accurate full wave modelling of an antenna.

G.2.2 Finite difference time domain (FDTD)

In FDTD, Maxwell's time dependent curl equations are solved directly by approximating the differential equations with finite difference equivalents over a structured grid. A method called finite integration technique (FIT) is closely related to FDTD and the instructions given here for FDTD also apply for FIT analysis as well.

The computational lattice of FDTD consists of rectangular cells. The difference with MoM is that the computational lattice has to be extended to all the regions where electric field values are desired to be calculated. This means that the amount of memory in the computer can become a limiting factor for evaluating fields several metres away from the antenna. In traditional FDTD the computational mesh is rectangular in shape, which means that curved surfaces and arbitrarily oriented objects are difficult to model accurately. Furthermore, absorbing boundary conditions have to be applied at the lattice boundaries to simulate open space conditions.

When FDTD method is used for field evaluation purposes the following items shall be taken into account:

- Lattice cell size requirements

Local side length of the cell should not exceed $1/10$ of the wavelength in that material. Otherwise, wave propagation is not accurately simulated.

Local side length of the cell should be small enough to be able to describe the geometry of the analysed structure. Special care shall be taken to accurately model the source region. One weakness of FDTD is that arbitrarily oriented thin sheets usually require a very dense lattice. When sophisticated techniques for modelling fine details (such as conformal meshes and thin wire approximations) are used it is important to be aware of their limitations.

- Effectiveness of absorbing boundary conditions

No ideal absorbing boundary exists and therefore there is always some reflection from the boundary. Typically, absorbing boundary conditions are based on approximate factorization of the wave equation, on extrapolation of field values, or on lossy material layers at the boundary. To be able to estimate the expanded uncertainty of the field strength evaluation, the size of the error due to reflections from the lattice boundary shall be quantified. Usually, this means that the simulation has to be repeated with variable lattice sizes and/or absorbing boundary condition parameters.

To minimize the error due to reflections from lattice boundaries a useful rule of thumb is that reflected wave component is small where incoming wave power density is small. Therefore it is good to extend the computational lattice especially in the directions where the antenna radiates most.

- Accurate information concerning the excitation of each radiating element is required for accurate full wave modelling of an antenna.

G.2.3 Finite element method (FEM)

In FEM, the solution for field quantities is approximated with the sum of basis functions that differ from zero in elements of finite size. The elements are chosen to conform to the physical structure to be simulated which enables easy and accurate modelling of interface and boundary conditions. The mesh is usually created using tetrahedral elements, which also allows for accurate geometrical representations of arbitrary structures.

Like FDTD, FEM is also based on volume discretization which means that it has the same disadvantage of having to discretize all the regions where field values are to be calculated. However, when the points where field values are to be calculated are outside a minimum domain (with appropriate absorbing boundary conditions) circumscribing the radiating structure, near to near-field transformations similar to those used in method of moments can

be advantageously employed for those points. The field evaluated on a surface surrounding the radiating structure can be used as secondary sources to evaluate the field outside this surface via integral equations.

When FEM is used for field evaluation purposes the following items shall be taken into account:

- Mesh size and/or polynomial order of the basis functions

Although adaptive meshing can automatically cope with the accuracy of the solution with a minimum of number of degrees of freedom, it is recommended that the maximum size of the element (side length of the element) is limited to ensure the accuracy of the field solution. The maximum size of the element in a media is recommended to be lower than the fifth or the tenth of wavelength in that media depending on the polynomial order of the basis functions, second order or first order. For higher order polynomials, the size of the mesh can be relaxed.

- Mesh truncation of radiating structures

In FEM, different techniques to truncate the mesh domain and simulate outgoing waves exist. Very rigorous and thus accurate techniques are those coupling FEM with MoM on an arbitrary surface or coupling FEM with spherical harmonics on a sphere. The surface can be placed close to the radiating surface minimizing the size of the problem to be solved. Simpler technique like Silver-Muller first order absorbing boundary condition can also be used provided that the truncation surface is far enough such that the incident wave is close to normal incidence. This distance may depend on the radiating structure; a minimum distance of half wavelength is required. The popular PML (perfectly matched layer) introduced for FDTD has been derived for FEM with the same performance and requirements.

- Accurate information concerning the excitation of each radiating element is required for accurate full wave modelling of an antenna.

G.3 SAR evaluation

G.3.1 General

SAR evaluations involve modelling of the RBS antenna as well as the human phantom. Given that detailed information on modelling of the antenna is presented in G.2, this subclause will focus on the additional requirements for modelling the human phantom.

It shall be noted that a human phantom is large compared to the wavelength at the frequencies considered in this standard. For this reason all SAR evaluation simulations will be memory and time consuming, especially in the upper frequency band (e.g. at UMTS). The simplest phantom geometry should be used that will still lead to sufficiently accurate results. Parts of the phantom which will not influence the results may be omitted. Symmetry may be used to reduce the computational resource requirements when applicable.

G.3.2 Method of moments (MoM) and hybrid methods

When performing SAR calculations using the MoM, the following guidelines shall be adhered to.

- The mesh size of the phantoms shall be smaller on the face and in places where the geometry is detailed.
- Inhomogeneous dielectric regions can be very resource consuming when simulated with MoM. Hybrid FEM/MoM solutions can be a good alternative for inhomogeneous dielectric regions.
- The edge length of the dielectric triangles used to model the phantom shall be small enough to give accurate results and large enough to give a realistic runtime. Suggested

mesh sizes for specific situations will differ depending on the simulation package. Convergence tests shall be done with the phantom model to ascertain accurate results.

When deciding on the mesh size of the phantom the following principles shall be followed.

- To determine if the surface elements of the phantom in a MoM simulation is fine enough, start with three varying edge lengths e.g. $\lambda_0/5$, $\lambda_0/8$ and $\lambda_0/10$ and do convergence tests with λ_0 the wavelength in free-space.
- The dielectric triangles on the surface of the phantom can be meshed as a fraction of λ_0 , but any dielectric triangles within the phantom has to be meshed as a fraction of the appropriate λ_r , with λ_r the wavelength in the phantom material.
- The tetrahedra of phantoms to be used in hybrid FEM/MoM solutions can be meshed with bigger mesh sizes (up to $\lambda_r/4$). Do convergence tests to determine the optimal mesh size.
- To save computational cost, the phantoms of FEM/MoM hybrid solutions can be enclosed in an air box, which can be meshed coarser (a fraction of λ_0 instead of λ_r). This will result in fewer surface elements and therefore in smaller computational requirements.

G.3.3 Finite difference time domain (FDTD)

When FDTD method is used for SAR evaluation purposes the following shall be taken into consideration.

- When evaluating the whole body average SAR the local side length of lattice cell shall be smaller or equal to 1/10 of the wavelength in the phantom material (λ_r).
- When evaluating the maximum spatial peak spatial-average SAR (1 g or 10 g), the local side length of lattice cells in the averaging volume (giving the maximum SAR) is recommended to be smaller or equal to 1/15 of the wavelength in the phantom material (λ_r).
- The local side length of the lattice cells in the phantom could be smaller on places of high importance, for example where the geometry is detailed or where the highest field strengths are likely to occur, and larger on places of less importance.

G.3.4 Finite element method (FEM)

When performing SAR calculations with FEM, the following guidelines shall be adhered to.

- The edge length of the tetrahedra used to model the phantom shall be small enough to give accurate results and big enough to give a realistic runtime. Suggested mesh sizes for specific situations will differ depending on the simulation package. Convergence tests shall be done with the phantom model to ascertain accurate results.
- The mesh size of the phantoms shall be smaller on the face and on places where the geometry is detailed.

When deciding on the mesh size of the phantom the following principles shall be observed.

- The tetrahedra of phantoms to be used in FEM solutions can be meshed with mesh sizes of $\lambda_r/4$, $\lambda_r/5$ and $\lambda_r/8$, with λ_r the wavelength in the phantom material. Perform convergence tests to determine the optimal mesh size.

Annex H (normative)

Validation of computation methods

H.1 Validation of cylindrical and spherical formulae

H.1.1 General

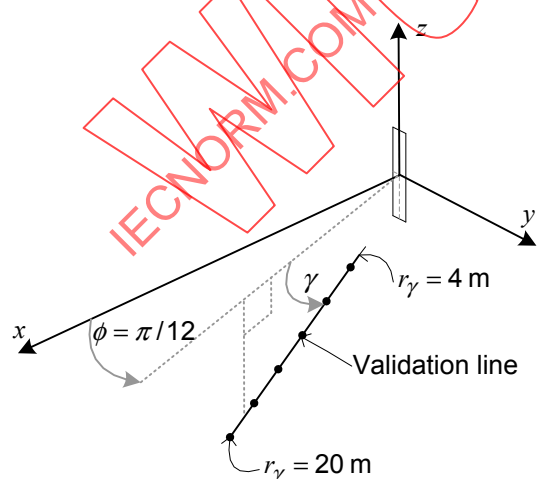
The power density of the RF fields transmitted by omnidirectional and sector-coverage RBS antennas can be determined using the cylindrical and spherical formulae presented in 6.3.2.1 and defined in F.2. The input parameters for the validation are listed in Table H.1. The correct implementation of the formulae shall be verified by checking that the results produced by the implementation correlates within 1 % with the reference results in Figure H.1 and Figure H.2.

Table H.1 – Input parameters for cylinder and spherical formulae validation

Antenna type	Freq.	RF power	Array length	Vertical HPBW	Horizontal HPBW	Electrical downtilt	Gain and Directivity	Maximum side lobe gain
Omni	925 MHz	80 W	2,158 m	8°	N/A	5°	11 dBi	-9 dBi
Sector	925 MHz	80 W	2,158 m	8°	84°	5°	17 dBi	-3,6 dBi

H.1.2 Validation of cylindrical formulae

For each of the implemented cylindrical formulae, determine $\bar{S}$ and S at positions every 2 m from $r_\gamma = 4$ m to $r_\gamma = 20$ m along the validation line in main vertical beam (see Figure H.1) for the omnidirectional and sector-coverage antennas described in Table H.1 and where $\phi = \pi/12$ radians.



IEC 1049/11

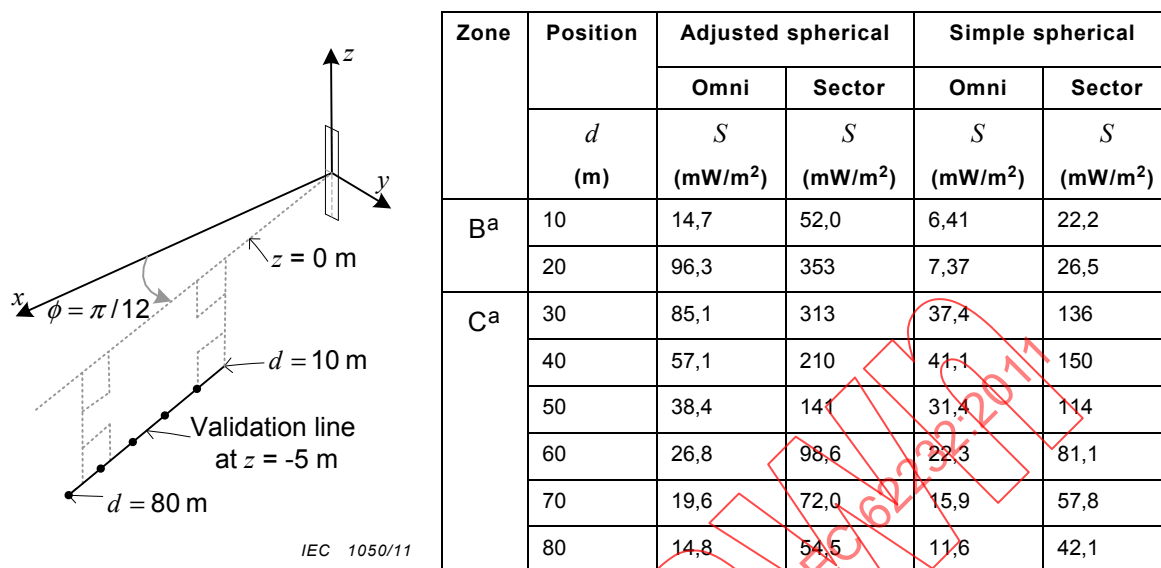
Position	Omnidirectional		Sector-coverage	
r_γ (m)	$\bar{S}$ (W/m ²)	S (W/m ²)	$\bar{S}$ (W/m ²)	S (W/m ²)
4	1,43	2,56	5,58	9,96
6	0,905	1,48	3,54	5,74
8	0,639	0,958	2,49	3,70
10	0,478	0,665	1,86	2,56
12	0,370	0,485	1,43	1,86
15	0,265	0,325	1,02	1,25
20	0,166	0,190	0,639	0,727

Figure H.1 – Cylindrical formulae reference results

H.1.3 Validation of spherical formulae

Using each of the implemented spherical formulae (see Annex F.2), at positions described in Figure H.2 determine S for the omnidirectional and sector-coverage antennas described in

Table H.1 at positions every 10 m from $d = 10$ m to $d = 80$ m along the validation line (Figure H.2), 5 m below the centre of the antenna and where $\phi = \pi/12$ radians.



^a The values of S are for given for reference regardless of the applicability of the formulae when considering the Table F.1 criteria.

Figure H.2 – Spherical formulae reference results

H.2 Validation of SAR estimation formulae

The SAR resulting from the RF fields transmitted by RBS antennas can be estimated using the formulae presented in 6.3.2.2 and defined in F.3. The correctness of an implementation of these formulae shall be verified for the front, back and axial directions as defined in Figure 7 using the input parameters in Table H.2. If the obtained results agree within 1 % of the reference results in Table H.3, then the formulae implementation and the surveyor have passed the validation.

Table H.2 – Input parameters for SAR estimation formulae validation

Transmitter parameters		Antenna parameters				
Frequency	RF power	Array length	Gain	Horizontal HPBW	Vertical HPBW	Number of elements
2 140 MHz	1 W	1,3 m	18 dBi	65°	6,5°	10

Table H.3 – SAR_{10g} and SAR_{wb} estimation formulae reference results for Table H.2 parameters

Direction (Figure 7)	W/kg/W at phantom to antenna separation (m)								
	0,001 m	0,01 m	0,1 m	0,2 m	1 m	5 m	10 m	15 m	20 m
SAR_{10g} Front	N/A	N/A	N/A	0,51	0,10	0,017	0,006 1	0,003	0,001 8
SAR_{10g} Axial	0,5	0,5	0,05	0,025	0,005	0,001	N/A	N/A	N/A
SAR_{10g} Back	0,05	0,05	0,005	0,002 5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
SAR_{wb} Front	N/A	N/A	N/A	0,026	0,005 2	0,000 86	0,000 31	0,000 18	0,000 11

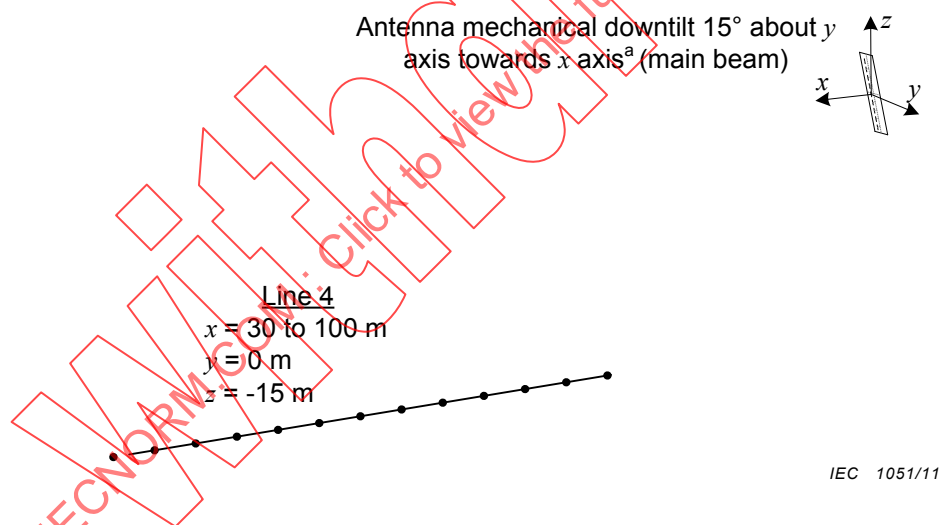
H.3 Validation of ray tracing (synthetic model) algorithms

This subclause provides an example for validating the correct implementation of a ray tracing algorithm using the generic panel RBS antenna (see Annex H.4.2). The example antenna has nine dipole radiators and operates at 900 MHz. It is highly recommended that several examples are checked to make sure the near-field power density error does not exceed ± 3 dB.

- The antenna parameters for the ray tracing algorithm validation are given in Figure H.4 (from the generic antenna in Figure H.5). A point-source array model or aperture field representation shall be extracted using these patterns.
- The power density values shall be determined for a frequency of 900 MHz and $\bar{P}_{\text{avg}}$ of 80 W along line 1, line 2 and line 3 (see Figure H.6) in the near-field of the antenna, and on line 4 (see Figure H.3) in the far-field.
- The determined power density values shall be compared with the reference power density values Table H.4.

NOTE 1 The results obtained with the ray tracing algorithm are compared to results obtained from a full wave simulation of H.4.2. The results compare very well on lines 1, 2 and 4. The ray tracing algorithm ignores polarization of the electric fields and for this reason the results very close to the antenna, on line 3, differ slightly more when compared to the full wave solution. This is however expected and within the uncertainty range of a typical ray tracing algorithm.

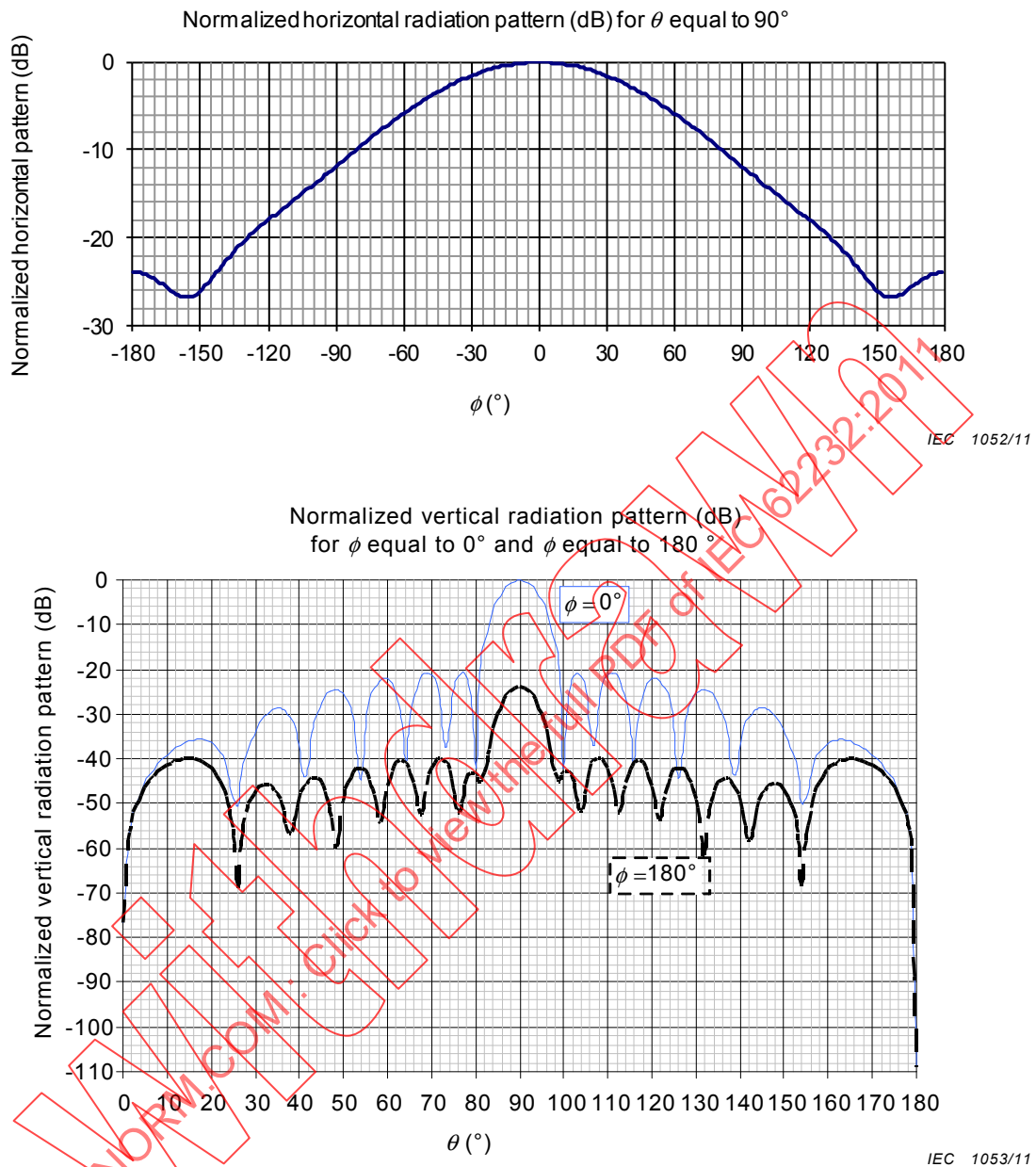
If the maximum deviation from the reference results is within ± 3 dB, the simulation package and surveyor have passed the example validation.



NOTE 2 Line 4 represents a mast antenna configuration, where the power density is calculated 15 m below the antenna, and the antenna is tilted downwards by 15° .

^a The coordinate system origin ($x = 0$, $y = 0$, $z = 0$) is at the centre of the middle feed segment.

Figure H.3 – Line 4 far-field positions for ray tracing validation example



NOTE The embedded file, Figure H.4.xls, includes the normalized horizontal radiation pattern (dB) in 1° steps for $\phi = -180^\circ$ to 179° where $\theta = 90^\circ$ and the normalized vertical radiation pattern (dB) in 1° steps for $\theta = 0^\circ$ to 180° where $\phi = 0^\circ$ and $\phi = 180^\circ$.



Figure H.4 .xls

^a Gain = 17,0 dBi and Radome length = 2,25 m

^b Spherical coordinates θ and ϕ are defined by Figure D.1

Figure H.4 – Antenna parameters for ray tracing algorithm validation example

Table H.4 – Ray tracing power density reference results

Power density along Figure H.6 line 1		Power density along Figure H.6 line 2		Power density along Figure H.6 line 3		Power density along Figure H.3 line 4	
Position x (m)	S (W/m ²)	Position y (m)	S (W/m ²)	Position z (m)	S (W/m ²)	Position x (m)	S (mW/m ²)
0,5	72,8	0	41,7	0	385	30	2,33
1	41,7	0,2	39,6	0,2	261	40	48,5
1,5	25,5	0,4	34,2	0,4	205	50	105
2	13,1	0,6	27,1	0,6	152	60	80,7
2,5	11,1	0,8	19,8	0,8	80,1	70	45,2
3	11	1	13,3	1	179	80	22,6
3,5	10,7	1,2	8,75	1,2	7,32	90	10,7
4	9,92	1,4	5,76	1,4	1,12	100	4,99

H.4 Validation of full wave field analyses

H.4.1 General

This subclause describes how to validate the correct implementation of full wave field analyses. Before a newly implemented code or commercially available code is used for determining the field strengths from RBS antennas, it shall be validated for the antenna structure to be analyzed.

- If the elements of the antenna include dipoles, then validation 1 (see Annex H.4.2) shall be performed.
- If the elements of the antenna include slot feeding structure, then validation 2 (see Annex H.4.3) shall be performed.

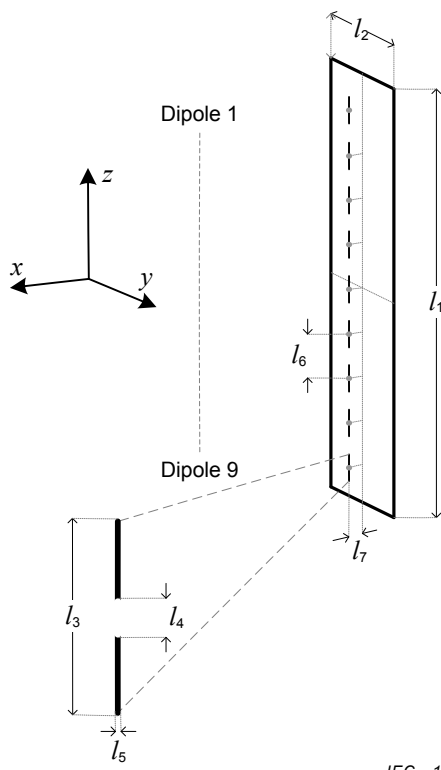
Additionally, if the code also is to be used for full wave SAR evaluations, validation H.5 shall be performed.

NOTE The mesh size is not explicitly given for the validation examples in this annex because the optimal mesh size will differ for different simulation packages. It is the user's responsibility to verify the chosen mesh size, by doing convergence tests.

H.4.2 Validation 1: Antenna with dipole radiators

Validation 1 shall use the following procedure:

- Implement the simple panel RBS antenna, representative of a real RBS antenna, with dipole radiators and excitation parameters as presented in Figure H.5.
- The electric field strength values shall be determined along line 1, line 2 and line 3 (see Figure H.6) in the near-field of the antenna for a frequency of 900 MHz and $\bar{P}_{\text{avg}}$ of 80 W.
- The determined power density values shall be compared with the reference power density values in Table H.5. If the maximum deviation from the reference results is less than 10 %, then the simulation package and surveyor have passed the validation.



Dimensions

l_1 Reflector length = 2,25 m

l_2 Reflector width = 0,3 m

l_3 Length of a dipole = 0,158 m

l_4 Separation of feed segments = 0,02 m

l_5 Dipole thickness = 0,001 m

l_6 Spacing between the dipole centres = 0,25 m

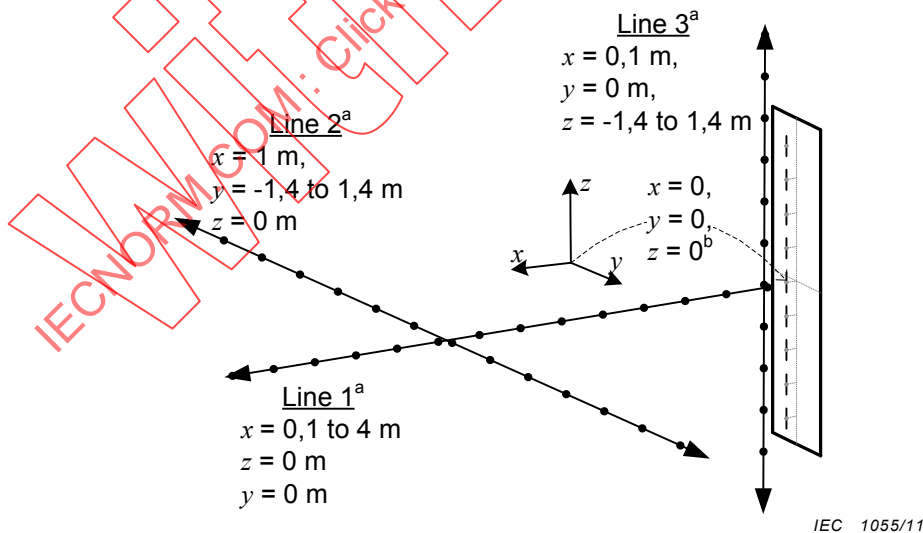
l_7 Spacing between the dipoles and the reflector = 0,04 m

Excitation parameters

Feed segment	Amplitude (relative to maximum)	Phase (°)
1 and 9	0,582 8	0
2 and 8	0,609 7	0
3 and 7	0,809 0	0
4 and 6	0,949 4	0
5	1,000 0	0

- a The coordinate system origin ($x = 0, y = 0, z = 0$) is at the centre of the middle feed segment
- b The dipole array is in the centre of the reflector plate if viewed directly from the front

Figure H.5 – Generic 900 MHz RBS antenna with nine dipole radiators



- a Line 1 is along the x axis in the main beam direction; Line 2 is parallel to the y axis; Line 3 is parallel to the z axis (i.e. parallel to the antenna)
- b The coordinate system origin ($x = 0, y = 0, z = 0$) is at the centre of the middle feed segment

Figure H.6 – Line 1, 2 and 3 near-field positions for full wave and ray tracing validation

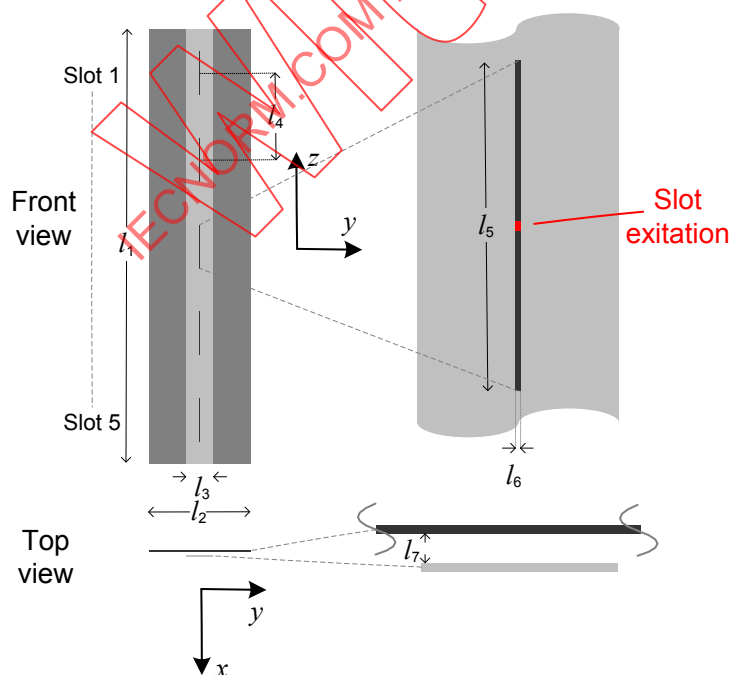
Table H.5 – Validation 1 full wave field reference results

Power density along Figure H.6 line 1		Power density along Figure H.6 line 2		Power density along Figure H.6 line 3	
Position x (m)	S (W/m ²)	Position y (m)	S (W/m ²)	Position z (m)	S (W/m ²)
0,5	65,8	0	39,4	0	338
1	39,4	$\pm 0,2$	37,6	$\pm 0,2$	272
1,5	25	$\pm 0,4$	32,8	$\pm 0,4$	163
2	13,4	$\pm 0,6$	26,3	$\pm 0,6$	111
2,5	10,7	$\pm 0,8$	19,6	$\pm 0,8$	105
3	10,4	± 1	13,6	± 1	129
3,5	10,1	$\pm 1,2$	9,16	$\pm 1,2$	3,77
4	9,44	$\pm 1,4$	6,22	$\pm 1,4$	0,173

H.4.3 Validation 2: Antenna with slot elements

Validation 2 shall use the following procedure:

- Implement the antenna array of five slot radiators as shown in Figure H.7. The antenna is excited with voltage sources in the centres of slots according to the excitation parameters specified in Figure H.7, at a frequency of 1 800 MHz and with $\bar{P}_{\text{avg}}$ equal to 40 W.
- The electric field strength values shall be determined along line 1, line 2 and line 3 (see Figure H.6) in the near-field of the antenna.
- The determined power density values shall be compared with the reference power density values in Table H.6. If the maximum deviation from the reference results is less than 10 %, then the simulation package and surveyor have passed the validation.

**Dimensions**

- l_1 , reflector/front plate length = 0,66 m
- l_2 , reflector width = 0,155 m
- l_3 , front plate width = 0,04 m
- l_4 , slot centre spacing = 0,32 m
- l_5 , slot length = 0,067 m
- l_6 , slot width = 0,002 m
- l_7 , slot to reflector spacing = 0,007 5 m

Excitation parameters

Feed segment	Amplitude (relative to maximum)	Phase (°)
1 and 5	0,791 7	0
2 and 4	0,878 2	0
3	1	0

^a The slots are in the centre of the front plate

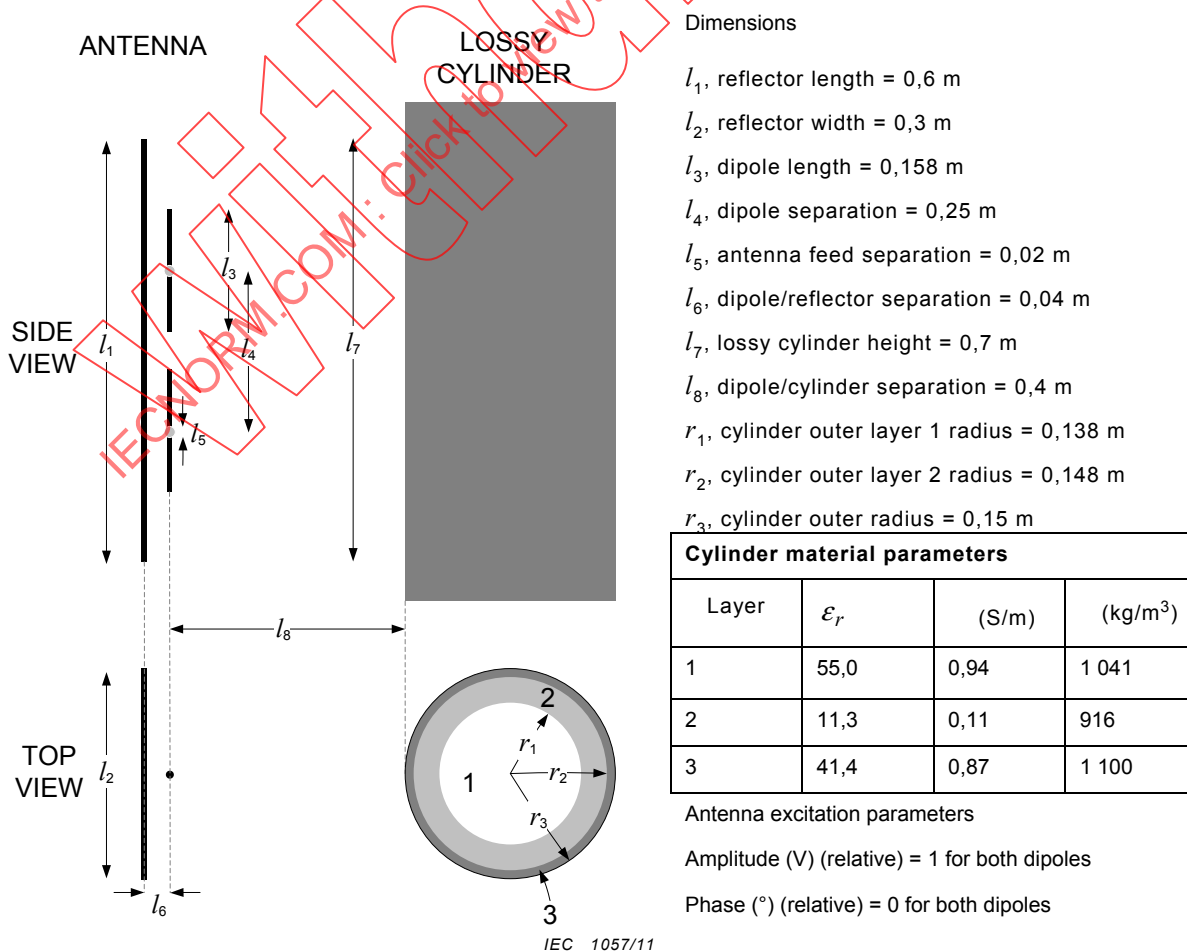
Figure H.7 – Generic 1 800 MHz RBS antenna with five slot radiators

Table H.6 – Validation 2 full wave field reference results

Power density along Figure H.6 line 1		Power density along Figure H.6 line 2		Power density along Figure H.6 line 3	
Position x (m)	S (W/m ²)	Position y (m)	S (W/m ²)	Position z (m)	S (W/m ²)
0,5	146	0	90	0	688
1	90	0,2	79,7	0,2	477
1,5	50,6	0,4	57,1	0,4	20
2	31,1	0,6	35,5	0,6	1,31
2,5	20,8	0,8	20,6	0,8	0,406
3	14,8	1	11,8	1	0,193
3,5	11	1,2	6,86	1,2	0,113
4	8,54	1,4	4,1	1,4	0,073 9

H.5 Validation of SAR analysis

Figure H.8 shows the validation example consisting of a simplified RBS antenna placed in front of a lossy, circular cylinder with three material layers.



^a The dipole array is located in the centre of the reflector plate if viewed directly from the front.

Figure H.8 – RBS antenna placed in front of a multi-layered lossy cylinder

The antenna elements are excited by means of a voltage gap (electric field) on each feed segment. Excitation parameters for the dipole array are specified in Figure H.8. The SAR shall be evaluated for a $\bar{P}_{avg}$ of 20 W at a frequency of 900 MHz

Table H.7 presents the validation reference results for whole-body SAR and localized SAR (averaged over 10 g of tissue in the shape of a cube) as obtained with the FDTD method, as obtained with a FEM/MoM solver and as obtained with a MoM solver.

Table H.7 – Validation reference SAR results for computation method

	Validation reference SAR results for computation method		
	FDTD	FEM/MoM	MoM
Whole-body SAR	0,092 W/kg	0,092 W/kg	0,092 W/kg
Localized SAR	1,7 W/kg	1,628 W/kg	1,573 W/kg

If the whole-body SAR results are within 3 % of the validation reference results and if the localised SAR results are within 15 % of the validation reference results, then the simulation package and surveyor have passed the validation.

Annex I (informative)

Guidance on spatial averaging schemes

I.1 Overview

The relevant exposure limit may be the spatially-averaged RF field strength over the entire body of the exposed individual, but with the important condition that the peak spatial-average SAR is not exceeded e.g. [30], [31]. Whilst the exposure quotient for the spatially-averaged field will correspond more accurately with the whole body average SAR exposure quotient, it may not ensure compliance with peak spatial-average SAR limits. Evaluating the maximum RF field strength at a point may ensure compliance with both the whole body average and peak spatial-average SAR limits.

NOTE In IEEE [31] and ARPANSA [32], additional limits on the spatial-peak field strength or power density are given to minimise the risk of exposure above peak spatial-average SAR limits.

When developing an evaluation plan (see Clause 5) the specific national (e.g. regulatory and legislative) compliance requirements shall be taken into account.

I.2 Spatial averaging

Spatial averaging means the root mean square of the field over a vertical line or cross-sectional area that represents the volume occupied by a body. The spatial distribution of the field at the position of a body will depend on propagation conditions including reflections from objects in the environment ([34], [66]).

In some situations the spatial distribution will be dominated by the direct field from the antenna (e.g. source-environment region *-0) or in combination with a ground reflected wave (e.g. in open areas). Ideally, the spatially-averaged field value should be determined from many evaluation points to obtain information on the variation in field strength.

In a cluttered environment, the distribution is influenced by multiple reflections and diffraction and may create a highly non-uniform field distribution. A theoretical analysis in [34], based on the statistics of small scale fading (random variations of the field around a local mean), provides some guidance on determining the uncertainty in the estimation of the spatial-average field from a limited set of spatial measurements.

The reference, and examples of alternative, spatial averaging schemes are shown in Figure I.1, for averaging above a walkway or other foot support and Figure I.2 for averaging around a point of spatial-peak field. The RF field strength is evaluated (see Clause 6) for each measurement/computation point and the spatially-averaged RF field strength determined using Equation (2) in 6.2.2.5.4.2 with equal weighting for all measurement/computation points.

The schemes shown in Figure I.1 are useful for evaluating RF field strength for determining human exposure in typical positions of the body (e.g. floor standing). In some circumstances where, for example, exposures occur whilst at elevated heights (e.g. on a ladder or other support structure), then additional measurements and spatial averaging should be performed relative to these positions.

Information about the spatial averaging scheme(s) employed shall be provided in the report (see Clause 8).

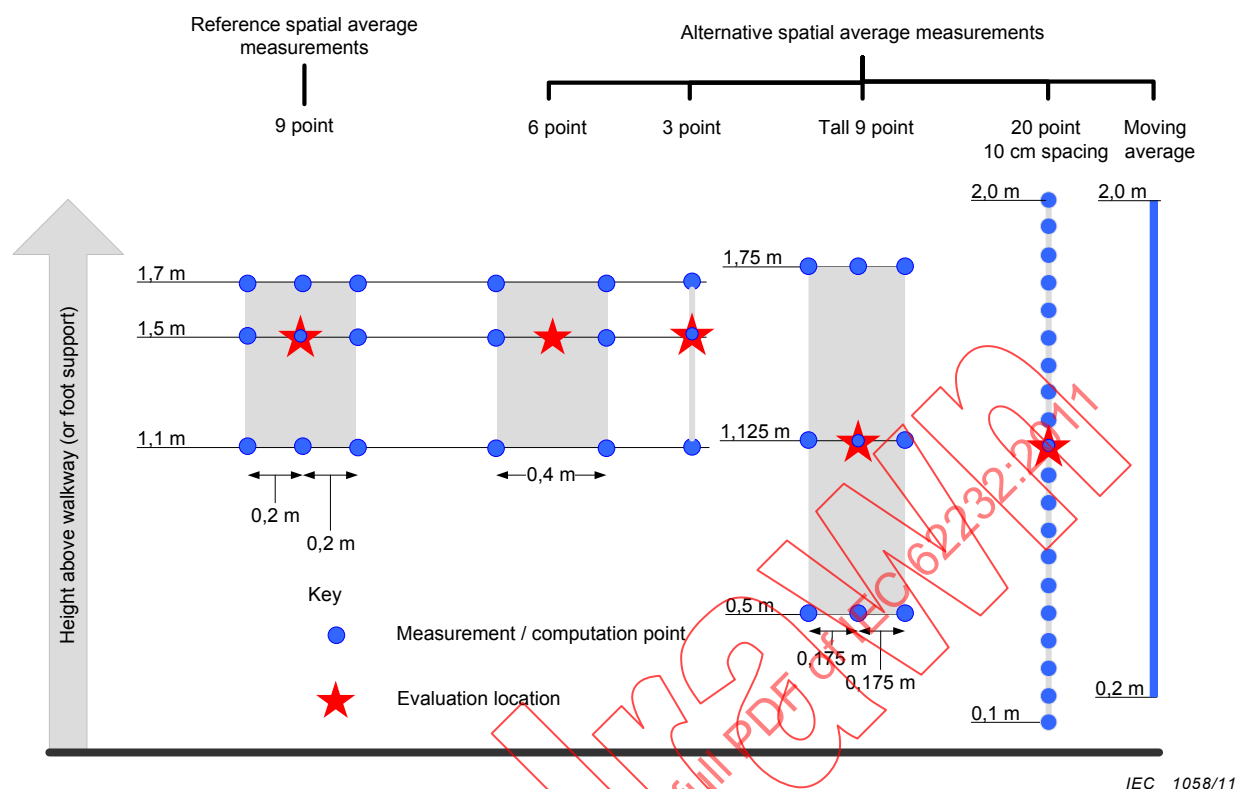


Figure I.1 – Spatial averaging schemes relative to foot support level

I.3 Averaging around the spatial-peak field point

The method is shown in Figure I.2. The spatially-averaged RF field strength is determined by first scanning between 0.5 m and 1.75 m above ground to find the spatial-peak field strength in the region. The peak and two additional measurements at points one wavelength vertically above and below it, are combined to determine the spatially-averaged RF field strength. This method is not specific to a typical or “standard” height adult human and it weights the result towards the spatial-peak field strength value.

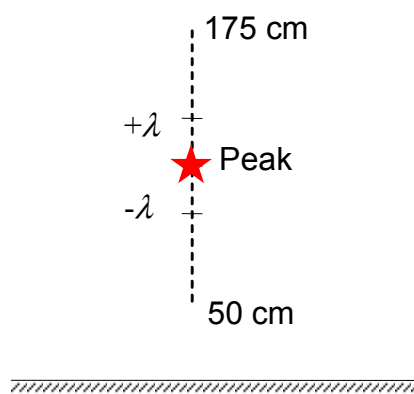


Figure I.2 – Spatial averaging relative to spatial-peak field strength point height

Annex J (informative)

Guidance on addressing time variation of signals in measurement

J.1 Time variation

The following shall be considered when interpreting measurement data or defining the time at which the measurement is performed.

- In operation and depending on the technology, the RBS output power is likely to vary in time. Typically, the radiated power varies according to overall traffic carried – often with a dependency on time of day, whether it is a working day, or vacation etc. There may be short-term variations in output power as traffic changes minute by minute and power control operates on shorter timescales. These variations can introduce uncertainty into sequential measurements performed at different locations. Long-term variations in RF field strength depend on traffic and are not determined during short-term measurement activities.
- If the evaluation purpose is to measure the highest field strength, then it is recommended that short-term measurements be made at times when communications traffic is heaviest for example during a weekday evening rush hour when there is maximum human activity in the area around the RBS. However, measurements of a stable reference signal may be made at any time. The spectrum analyser should be set to capture the maximum signal (i.e. maximum hold mode) for comparison with an instantaneous value.
- At evaluation locations removed from the RF source, changes in propagation path may introduce fading.

Since measurements are normally made at different locations in a time sequence, the field variations in time and space tend to mix in the measurement result. This mixing is generally acceptable for spatially-time-averaged measurements. However, one of the following approaches may be employed to separate the spatial and temporal variations:

- Repeat measurements at evaluation locations and examine the difference between repetitions as a function of time.
- Fix a measurement antenna / isotropic probe at one location and observe how the readings change in time to isolate the temporal variation and handle as an influence factor (combined RBS output power and propagation path time variations) in the uncertainty analysis.
- Use a fixed measurement antenna / isotropic probe as a reference to correct the readings of a second measurement antenna / isotropic probe at the evaluation points.
- Measure a stable reference signal from the EUT (see Annex N) and use communications traffic data to determine the combined RF field strength for all signals as a function of time. Stable reference signal measurements may be made at any time. However, even the reference signal is subject to fluctuation due to changes in the propagation path.
- Measure a stable reference signal from the EUT (see Annex N) over time to isolate the uncertainty influence factor of changes in propagation path over time from changes in RBS output power.

Annex K (informative)

Guidance on determining ambient field levels

K.1 Overview

This annex provides guidance on how to evaluate the level of RF ambient fields in locations where people may also be exposed to RF fields from the RBS(s) under evaluation. The ambient fields from individual sources or from frequency bands may be expressed as an exposure quotient or as RF field strength according to the specific evaluation purpose.

The ambient field is the appropriate summation (see 6.5) of all RF ambient fields from sources other than the RBS(s) under evaluation.

K.2 Ambient radio source identification

Reasonable endeavours shall be employed to identify all RF emissions between 100 kHz and 300 GHz. The ambient fields identified for fixed permanent RF sources shall be considered:

- Such sources can be identified through visual inspection, consultation of user database (public / site owner) as well as broadband or frequency-selective measurement.
- If the location to be evaluated is not in the main beam of antennas operating at frequencies above 6 GHz, then the fields produced by such sources can be generally ignored since they are not significant in many cases for evaluating human exposure to RF fields. However, very high power sources (e.g. RADAR, over-the-horizon communications) do need to be considered.

Categorise the RF sources as either being “collocated” or “remote” from the RBS. Collocated RF sources are those located on the same antenna support, for example mast, roof-top or within the same transmitter compound or room as the RBS. All other sources are “remote”.

In frequency bands other than the operating band of the RBS the combined RF field shall be evaluated.

NOTE When evaluating the exposure quotient from the EUT combined with the ambient fields then it is acceptable to reduce the number of signals requiring precise evaluation by specifying appropriate significance criteria. For example, if the RF field from an adjacent RBS or from all signals in the FM broadcast band contributes less than say 5 % of the combined exposure quotient, then improving the precision of the ambient RF field strength evaluation will not significantly reduce the uncertainty of the combined exposure quotient evaluation.

K.3 Selecting ambient field evaluation locations

K.3.1 Collocated sources

The ambient field level from these sources is likely to vary considerably over the evaluation area near the RBS. The ambient field shall be evaluated at all locations where the RBS fields are evaluated.

NOTE Specific major contributors to the ambient RF field may need to be considered for specific occupational cases (e.g. arc welding) and in domestic cases from devices such as microwave ovens.

K.3.2 Remote sources

For RF fields from sources located at some distance from the RBS, it is expected that there will be little variation in RF field strength over the evaluation area arising from the source antenna directivity or the small changes in distance from the source from the nearest to

furthest evaluation location. There are however, likely to be significant variations in RF field strength as a result of propagation affects e.g. scattering and fading.

For the set of radio sources to be considered, choose a point in the clear above the clutter as near as possible to the area of evaluation (e.g. on roof-top and/or in area of evaluation away from local clutter), or for calculation purposes at a point above the area of evaluation where free space propagation can be assumed.

This location may be used for evaluation of the ambient field if it is representative for all radio sources based on (see Annex K.4)

- the distance from the ambient evaluation location to any RBS evaluation location is less than 40 times the distance to the ambient source;
- the ambient source is not highly directional.

For any radio sources not completely covered by this “master” evaluation location, select additional evaluation locations such that criteria in this annex are met, for example:

- between the source and the area of evaluation, or
- additional evaluation locations in the clear, including the nearest point on the area of evaluation to the source.

K.3.3 Description

Evaluate the RF field strength (or SAR) for each ambient RBS source according to the evaluation protocol established in Clause 6.

For other RF sources, evaluate the RF field strength (or SAR) according to the appropriate international standards, e.g. IEC 62311 [22].

K.4 Proof of non-located source evaluation location selection criteria

K.4.1 Principles

This subclause defines a basis for selecting a minimum number of evaluation locations when establishing worst-case exposure quotients for those ambient radio sources generally well removed from the evaluation location.

The RF field strength determined at an evaluation location is deemed to represent conservatively the maximum exposure quotient for a radio source over an area defined by a circle of radius r or provided

- the selected evaluation location is substantially in the clear of the local clutter;
- the variation of the exposure quotient is less than 5 % due to the difference in path length;
- change in directivity of the radio source antenna based on free-space propagation can be ignored in the area containing the evaluation points.

K.4.2 Establish criteria for separation of source evaluation locations considering distance to radio source

K.4.2.1 Consider change of RF field strength with distance

Given free-space propagation, what is the minimum ratio of distance between two evaluation locations and a radio source that results in a 5 % change in exposure quotient?

Considering Equation (7), the power flux density, S from the remote source is defined by:

$$S = \frac{A}{r^2} \quad (\text{K.1})$$

where:

r is the distance to the remote source;

A is a constant (subject to change in directivity not being significant, see Annex K.4.2.2).

NOTE The value of A depends on the unit for r e.g. m or km.

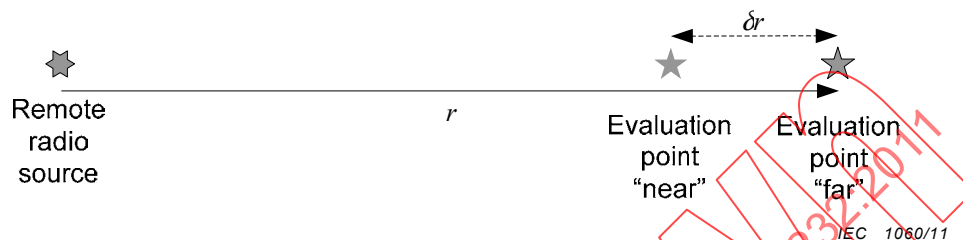


Figure K.1 – Evaluation locations

Consider Figure K.1, moving a small distance δr towards the source (most critical condition) then the power flux density S will increase by δS such that:

$$S + \delta S = \frac{A}{(r - \delta r)^2} \quad (\text{K.2})$$

For a 5 % increase in S over distance δr :

$$\frac{S + \delta S}{S} = 1,05 \quad (\text{K.3})$$

Using Equations (K.1) and (K.2) in Equation (K.3):

$$\frac{r^2}{(r - \delta r)^2} = 1,05 \quad (\text{K.4})$$

The ratio, X required is defined as

$$X = \frac{r}{\delta r} \quad (\text{K.5})$$

Substituting for X in Equation (K.4) and solving gives $X = 41,49$

For a real (and probably cluttered) environment, the power flux S decays with a power factor in Equation (K.1) greater than 2. For two evaluation locations oriented in any other direction, S changes more slowly with δr . Therefore, a factor of 40 is appropriate for simplicity – i.e. provided the radio source is at a distance 40 times the distance between evaluation points, a single evaluation is all that is required.

K.4.2.2 Variation of RF field strength due to remote source antenna directivity

Now consider Figure K.2, for two evaluation locations at constant r but varying direction φ relative to the radio source.

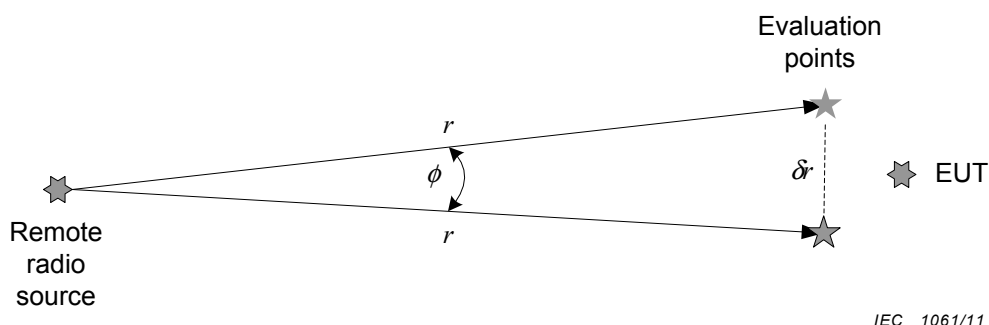


Figure K.2 – Relationship of separation of remote radio source and evaluation area to separation of evaluation points

For a source at a distance 40 times the separation between two evaluation locations:

$$r = 40 \cdot \delta r \quad (\text{K.6})$$

and

$$\phi = 2 \cdot \tan^{-1} \left(\frac{\delta r / 2}{40 \cdot \delta r} \right) = 1.4^\circ \quad (\text{K.7})$$

This is small enough to be disregarded except for highly directional (horizontal pattern) antenna sources deployed at the higher microwave frequencies. In those cases, the clutter variation is likely to be dominant and the maximum gain condition applicable for the area of evaluation should be used.

K.4.2.3 Example 1

In an area of evaluation 15 m by 20 m, the maximum distance, d , between any two points:

$$d = \sqrt{15^2 + 20^2} = 25 \text{ m}$$

For a radio source to be evaluated based on a single evaluation location, it shall be a distance of at least r , from the area of evaluation where:

$$r = 40 \times 25 = 1\,000 \text{ m}$$

K.4.2.4 Example 2

For a selected evaluation location 2 km from the nearest ambient radio source under investigation, an evaluation is valid for the parts of an area under evaluation extending to a distance d from the evaluation location:

$$d = 2\,000 / 40 = 50 \text{ m}$$

Annex L (informative)

Guidance on comparing evaluated parameters with a limit value

L.1 Overview

This annex clarifies how to compare the evaluated SAR or RF field strength with a limit value using a given assessment scheme (Annex M).

The normative part of this standard describes a number of evaluation methodologies and how to estimate the expanded uncertainty. A common purpose is to compare the evaluated RF field strength or SAR, the measurand, with a limit value. An evaluation provides an RF field strength or SAR value and it also provides uncertainty information to give an understanding of the probabilities for the real value being above or below the evaluated value (see Figure O.1).

The assessment scheme (i.e. see Annex M) defines how to interpret the results of an evaluation as being above or below a given limit value.

L.2 Information required to compare evaluated value against limit value

Depending on the specific case, the following information is required to make a valid comparison between the evaluated value and the limit value.

- a) Evaluated value
- b) Evaluation and assessment configurations
- c) Uncertainty information
 - 1) The confidence level of the evaluated value (e.g. “best estimate”, “upper 95 %”)
 - 2) The offset to the confidence level required by the assessment scheme
- d) Assessment scheme to be applied (Annex M)
 - 1) Limit value
 - 2) Comparator offset
 - 3) Reference measurand confidence level
 - 4) Target uncertainty
 - 5) Comparator confidence level

L.3 Performing a limit comparison at a given confidence level

The confidence level may be specified either as confidence that the true level is below the limit or above the limit. This is the “outcome” based assessment scheme (see Annex M).

This procedure applies in the absence of a specific assessment scheme process (see Annex M) for:

- establishing a compliance boundary with given confidence;
- evaluating a field strength / SAR to establish if the true value is below the limit value with given confidence;
- evaluating a field strength / SAR to establish if the true value is above the limit value with given confidence.

The following steps apply:

- a) Extrapolation: Use the evaluation configuration and assessment configuration information to establish the extrapolation factor (see 6.4). Apply the factor to the evaluated value.
- b) Uncertainty evaluation: Establish the confidence level of the extrapolated value. Express the expanded uncertainty in single sided confidence form. Select either
 - confidence that the true value is below the measurand; or,
 - confidence that the true value is above the measurand according to the assessment scheme.
- c) Normalise confidence level:
 - If the confidence level required for the compliance boundary is the same as that of the extrapolated value, no normalisation is required.
 - Otherwise, additional uncertainty analysis is required to establish the comparator offset value; for example, if it is required that there is 97,5 % confidence that the true value at the boundary is below the limit value, then the upper 95 % extrapolated value is required. If the extrapolated value is a “best estimate”, then the difference between the best estimate and upper 95 % is the comparator offset to be added to the extrapolated value.
- d) Compare with limit: The normalised extrapolated value is then compared to the limit value.

NOTE If the evaluation method only provides a “conservative” measurand value and it is not possible to determine a “best estimate” value, then no normalisation is possible. In such a case, if the extrapolated value is below the relevant limit then there is confidence (approximately equal to the conservativeness) that the true value is also below the limit. However, if the measured value is above the limit, it is unclear whether the true value is likely to be above or below the limit.

L.4 Performing a limit comparison using a process based assessment scheme

The following procedure applies for process based assessment schemes (see Annex M):

- a) Extrapolation: Use the evaluation configuration and assessment configuration information to establish the extrapolation factor (see 6.4). Apply the factor to the evaluated value to give the extrapolated value.
- b) Uncertainty evaluation: Establish the confidence level of the extrapolated value. Express the expanded uncertainty in single sided confidence form. Select either
 - confidence that the true value is below the measurand; or,
 - confidence that the true value is above the measurand according to assessment scheme.
- c) Normalise extrapolated value to the reference measurand confidence level defined by the assessment scheme.
 - If the measurand value is expressed at the same confidence level (e.g. best estimate or 50 %) as required by the assessment scheme, then no additional offset is required.
 - If the measurand is expressed at a different confidence level, then a normalisation offset is required to be added or subtracted equal to the difference between the measurand value and the value at the reference confidence level. This gives a normalised extrapolated value.
- d) Establish the constraint offset: The assessment scheme (see Annex M) may require a further offset depending on a range of considerations for example, depending on the uncertainty of the evaluation.
- e) Compare with limit: The normalised extrapolated value with constraint offset is then compared to the limit value.

Annex M (informative)

Guidance on assessment schemes

M.1 General

This annex provides guidance on how assessment schemes affect the interpretation of the results of an evaluation as being above or below a given limit value.

The assessment scheme may be specified by regulation, inferred from regulatory statements, or specified by the customer requesting the evaluation. If an assessment scheme is not specified, the best estimate method is recommended as a default scheme applying a process based assessment (see Annex L.4).

M.2 Overview of assessment schemes

Evaluations provide a unique value (measurand) for the RF field strength / SAR with an uncertainty distribution. The uncertainty distribution provides information on the probability of the true value being above or below the measurand value. The assessment scheme defines the rules and constraints to be applied to the measurand and uncertainty distribution to decide if the RF field strength / SAR levels are deemed to be above or below a given limit value.

Assessment schemes may be characterised as either “process” or “outcome” based. The detailed assessment procedures and constraints that define each type of scheme are subtly different as explained below:

- An “outcome” based assessment scheme aims to provide a given confidence that the ‘true value’ is actually below the limit, i.e. where the RF field strength / SAR value used to compare with the limit value is actually greater than the real value. The uncertainty for the evaluation can be used to determine the offset (see Figure O.1) relating to that given confidence, required to add/subtract from the measurand before comparison with the limit.
- A “process” based assessment defines the decision process. In this case, the requirement is to specify conditions for the evaluated value (e.g. best estimate, target uncertainty) with further rules for an offset to be applied to this value before comparing with the limit value.

NOTE Some evaluation methods can only provide a “conservative” value of the measurand. In this case, and provided any constraints in the methodology are met, there is a (defined) high confidence that the true value of the SAR/field parameter is lower than the measurand.

The assessment scheme used should consider the following.

- a) **Assessment configuration:** This is the specification of the RBS parameters to be used when evaluating compliance. These parameters (e.g. transmit power, antenna gain, distance/orientation from antenna etc.) may be stated or derived in association with the actual parameters used in the extrapolation part of the evaluation method (see 6.4 and Annex N).
- b) **Limit value:** The constraint which defines the RF field strength or SAR value against which the comparison is to be made.
- c) **Comparator offset:** A factor used to increase or decrease the evaluated value before comparison with the limit value. This may be a constrained fixed value or a determined value. The latter may be influenced by process or the comparison between the uncertainty and target values.

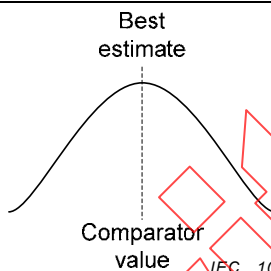
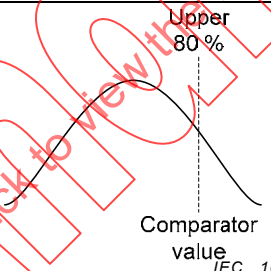
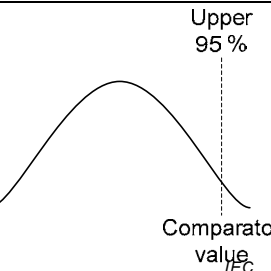
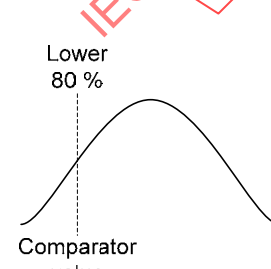
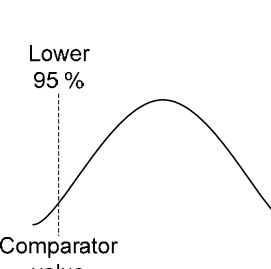
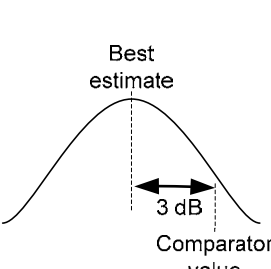
- d) Reference measurand confidence level: This is a process based constraint defining the required confidence of the measurand value to be used prior to application of any comparator offset; e.g. upper 95 %, best estimate.
- e) Target uncertainty: This is an example process based constraint which specifies a decision level (e.g. 3 dB uncertainty at 95 % confidence) for the evaluation uncertainty. The estimated evaluation uncertainty may be compared with this decision level. The process-based decision rules will then dictate the operations based on the result; for example, “allow use of best estimate else apply comparator offset”. Table M.1 provides example target uncertainties consistent with the evaluation methodologies in Clause 6 and M.3.2.1 provides an overview.
- f) Comparator confidence level: This is the main outcome based constraint. It specifies the required confidence of the comparator value to be used in comparison with the limit value. Examples are: 1) 95 % confidence that limit value not exceeded; 2) 95 % confidence that limit value is exceeded 3) 50 % confidence that limit is or is not exceeded.

M.3 Examples of assessment schemes

M.3.1 Examples of general assessment schemes

Assessment schemes can be defined using a number of factors. Table M.1 presents a number of examples of general assessment schemes. These are illustrated in process based form since the definition is related to the measurand. The description also clarifies where the assessment scheme may also be expressed using an outcome based constraint.

Table M.1 – Examples of general assessment schemes

 IEC 1062/11 Example 1. Surveyor uses the best estimate value to compare with the limit. Equivalent to constraining comparator level to be 50 % confident that true value is above or below comparator value	 IEC 1063/11 Example 2. Surveyor uses upper 80 % CI value to compare with the limit. Equivalent to constraining Comparator level to be 90 % confident that true value is below comparator value.	 IEC 1064/11 Example 3. Surveyor uses upper 95 % CI value to compare with the limit. Equivalent to constraining Comparator level to be 97,5 % confident that true value is below comparator value.
 IEC 1065/11 Example 4. Surveyor uses lower 80 % CI value to compare with the limit. Equivalent to constraining comparator level to be 90 % confident that true value exceeds comparator value.	 IEC 1066/11 Example 5. Surveyor uses lower 95 % CI value to compare with the limit. Equivalent to constraining comparator level to be 97,5 % confident that true value exceeds comparator value.	 IEC 1067/11 Example 6. Surveyor adds arbitrary 3 dB to best estimate value to compare with the limit. Confidence that true value exceeds comparator depends on the evaluation uncertainty.

M.3.2 Example target uncertainty based assessment scheme

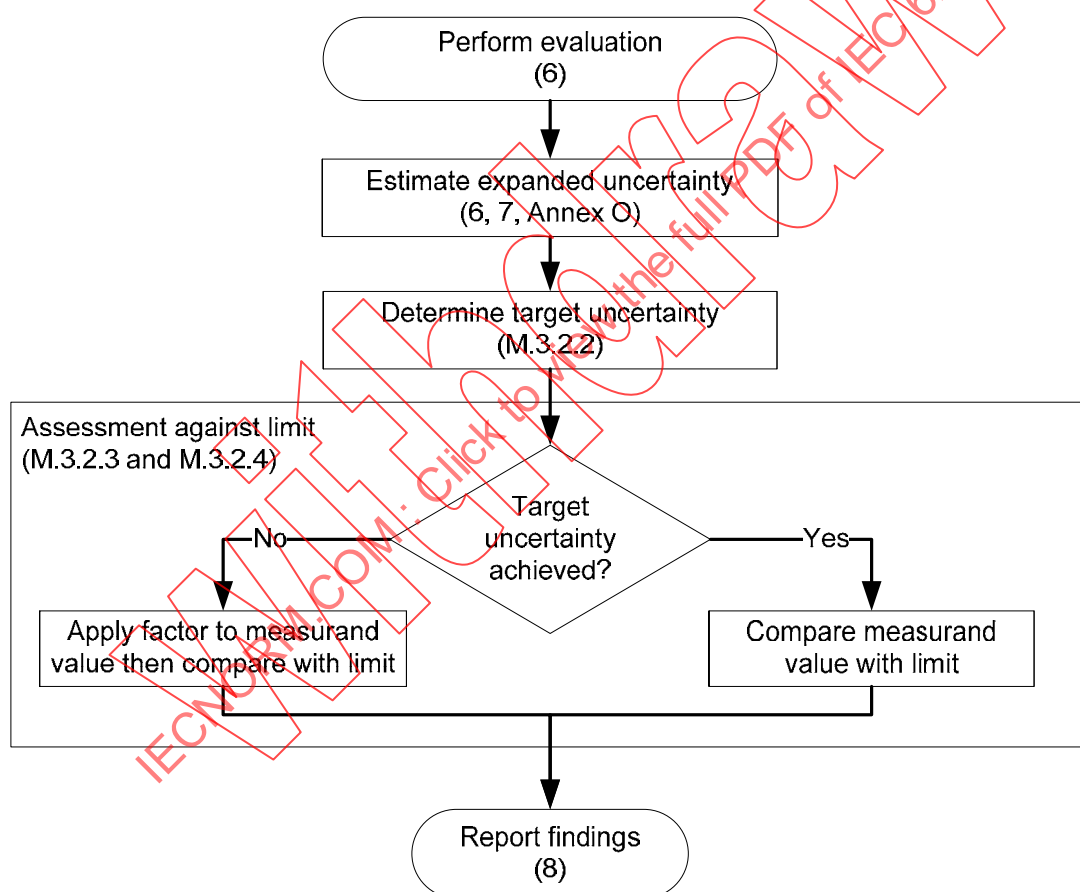
M.3.2.1 Target uncertainty assessment scheme principles

The following principles relating to assessment schemes and the associated target uncertainty apply.

- Where the expanded uncertainty of the evaluation is within a defined “target uncertainty”, then the measurand shall be compared with the relevant limit.
- Where the expanded uncertainty of the evaluation is outside of a defined “target uncertainty”, then the measured value is subject to a comparator offset and the corrected value compared with the relevant limit.

Figure M.1 presents an overview of the target uncertainty scheme process.

NOTE Generic standard IEC 62311 [22] describes an alternative target based assessment scheme using a linear uncertainty model. See Annex O for the recommended model for estimating the uncertainty of RBS RF field strength / SAR evaluations.



IEC 1068/11

NOTE Numbers in parentheses refer to clauses of this standard.

Figure M.1 – Target uncertainty scheme overview

M.3.2.2 Determining the target uncertainty

Table M.2 provides recommended target uncertainty values according to the evaluation purpose and the measurand parameter.

Table M.2 – Determining target uncertainty

Evaluation Purpose (see A.2.1)	Measurand parameter (see A.3.2)	Target Uncertainty ^{a, b}
Establishing with confidence that a limit is not exceeded, or; Information on maximum value (e.g. compliance boundary evaluation)	SAR	+1,2 dB
	<i>S</i>	+4 dB
	<i>E</i> or <i>H</i>	+4 dB
Establishing with confidence that a limit is exceeded, or; Information on minimum value (e.g. potential overexposure investigation)	SAR	-1,2 dB
	<i>S</i>	-4 dB
	<i>E</i> or <i>H</i>	-4 dB
^a The target uncertainty constraint may be specified in one direction depending on the evaluation purpose. ^b The values here are representative values based on the experience of the members of the project team developing the standard.		

M.3.2.3 Evaluation of compliance with limit

M.3.2.3.1 Method

Apply the following methodology when using an RF evaluation (measured or computed) to determine compliance with a specified limit:

- Estimate the expanded uncertainty (see Clause 7).
- Determine the applicable target uncertainty.
- Compare the upper bound of the expanded uncertainty with the applicable target uncertainty and determine the evaluation comparator level:

If the upper bound of the expanded uncertainty exceeds the target uncertainty (Figure M.2, Case 1) then designate the evaluation comparator level as the measurand increased by the amount which the upper bound of the evaluation expanded uncertainty exceeds the target range (see Figure M.2, Case 1, X dB).

If the upper bound of the expanded uncertainty does not exceed the target uncertainty (Figure M.2, Case 2), then designate the evaluation comparator level as the measurand.

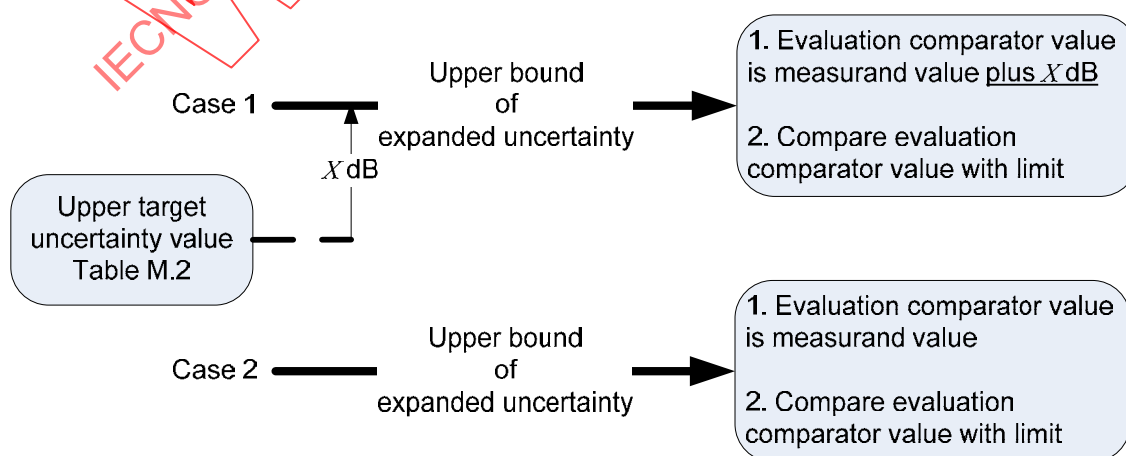


Figure M.2 – Evaluation of compliance with limit

- d) Compare the evaluation comparator level to the specified limit. The evaluation indicates the limit is not exceeded if the evaluation comparator level is equal to or less than the specified limit.

M.3.2.3.2 Example

The measured value is 38 V/m and the limit value is 40 V/m. The requirement is to establish if the RF field strength is below the limit. Consider two situations with different uncertainties:

- a) Consider if the expanded uncertainty of a 38 V/m measurement is estimated to be 10 dB i.e. 5 dB, and the upper bound is determined to be +5 dB, i.e. greater than the +4 dB upper target uncertainty, then Figure M.2 case 1 applies. $X = 5 - 4 = 1$ dB. The evaluation comparator value is the measured value (38 V/m) increased by 1 dB i.e. a factor of $10^{(1/20)}$ or 1,12 times making the evaluation comparator value 42,6 V/m. Since 42,6 V/m is greater than the 40 V/m limit value, the RF field strength is determined NOT to be below the limit.
- b) Consider if the expanded uncertainty of a 38 V/m measurement is estimated to be 6 dB i.e. 3 dB, and the upper bound is determined to be +3 dB, i.e. less than the +4 dB upper target uncertainty, then Figure M.2 case 2 applies. The evaluation comparator is equal to the 38 V/m measured value. Since 38 V/m is less than the 40 V/m limit value, the RF field strength is determined to be below the limit.

M.3.2.4 Evaluation with confidence that limit has been exceeded

M.3.2.4.1 Method

Apply the following methodology when using an RF evaluation (measured or calculated) to determine with confidence that the specified limit has been exceeded:

- Estimate the expanded uncertainty (see Clause 7).
- Determine the applicable target uncertainty.
- Compare the lower bound of the expanded uncertainty with the applicable target uncertainty and determine the evaluation comparator level:

If the magnitude of the lower bound of the expanded uncertainty does not exceed the magnitude of the target uncertainty (see Figure M.3, Case 3), designate the evaluation comparator level as the measurand.

If the magnitude of the lower bound of the expanded uncertainty exceeds the magnitude of the target uncertainty (see Figure M.3, Case 4) then designate the evaluation comparator level as the measurand reduced by the amount which the magnitude of the lower bound of the expanded uncertainty exceeds the magnitude of the target uncertainty (see Figure M.3, Case 4, X dB).

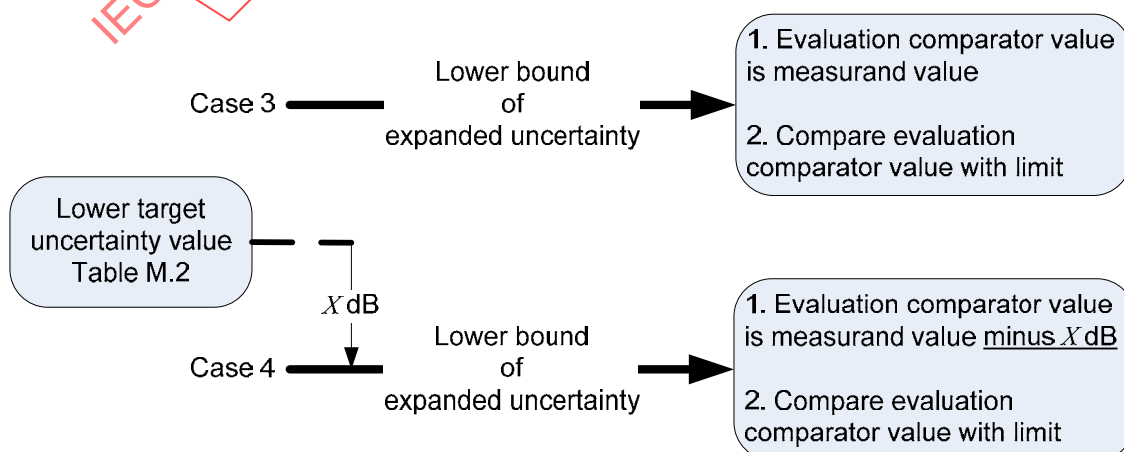


Figure M.3 – Evaluation with confidence that limit is exceeded

- d) Compare the evaluation comparator level to the specified limit. The evaluation indicates the limit is exceeded if the evaluation comparator level is greater than the specified limit.

M.3.2.4.2 Example

The measured value is 42 V/m and the limit value is 40 V/m. The requirement is to establish if the RF field strength is above the limit. Consider two situations with different uncertainties:

- a) Consider if the expanded uncertainty of a 42 V/m measurement is estimated to be 10 dB i.e. ± 5 dB, and the lower bound is determined to be -5 dB, i.e. its magnitude (5) is greater than the magnitude (4) of the -4 dB lower target uncertainty, then Figure M.3 case 4 applies. $X = 5 - 4 = 1$ dB. The evaluation comparator value is the measured value (42 V/m) reduced by 1 dB i.e. a factor of $10^{(-1/20)}$ or 0,891 times making the evaluation comparator value 37,4 V/m. Since 37,4 V/m is less than the 40 V/m limit value, the RF field strength is determined NOT to be above the limit.
- b) Consider if the expanded uncertainty of a 42 V/m measurement is estimated to be 6 dB i.e. ± 3 dB, and the lower bound of the expanded uncertainty is determined to be -3 dB, i.e. magnitude less than the -4 dB lower target uncertainty, then Figure M.3 case 3 applies. The evaluation comparator is equal to the 42 V/m measured value. Since 42 V/m is greater than the 40 V/m limit value, the RF field strength is determined to be above the limit.

M.4 Assessment schemes and compliance probabilities

M.4.1 Assessment scheme uncertainty and compliance probabilities overview

The previous subclauses showed that there are a number of potential assessment schemes. The surveyor may be constrained by regulation or may have the flexibility to choose which assessment scheme to apply. In either case, it is useful to understand the consequences of the assessment scheme and measurement uncertainty on the compliance probabilities where an initial on-the-limit determination by the surveyor is re-evaluated by an auditor.

The combination of uncertainties and assessment schemes in both surveyor (e.g. operator) and auditor (e.g. regulator) RF evaluations creates the possibility of the following important compliance verification events:

- a) Non-compliance determination: auditor finds that RF field strength or SAR at surveyor's compliance boundary is non-compliant with the relevant compliance limit.
- b) Compliance error: auditor decides that RF field strength or SAR at the surveyor's compliance boundary is compliant with the relevant compliance limit when it really isn't.
- c) Non-compliance error: auditor decides that the RF field strength or SAR at the surveyor's compliance boundary is non-compliant with the relevant compliance limit when it really is compliant.

M.4.2 Monte Carlo simulation of target uncertainty based assessment scheme

The probabilities for the three compliance verification events of M.4.1 can be easily and robustly calculated using a Monte Carlo approach. Random outcomes for both surveyor (e.g. operator's) and auditor's (e.g. regulator's) RF field strength or SAR evaluations are generated from the probability distributions of their uncertainties and then tested for the three events above in accordance with the example assessment schemes used by surveyor and auditor. This process is repeated for a large number of trials (e.g. 10 000) allowing an estimate of event probabilities by simply dividing the number of event occurrences by the total number of trials. The following example tables show the consequences of two independent assessments of the same limit situation. In each case the surveyor has determined a location where he finds the level to be just compliant with the limit. The level is evaluated by the auditor at the same location and the probabilities of the compliance verification events tabulated for various evaluation uncertainties by the surveyor and the auditor respectively.

Table M.3 shows the results of a Monte Carlo simulation of 10 000 trials where both the surveyor and the auditor apply the same assessment scheme, Table M.1 scheme #1 “best estimate.”

Table M.3 – Monte Carlo simulation of 10 000 trials both surveyor and auditor using best estimate

		Probability of non-compliance determination			Probability of compliance error			Probability of non-compliance error		
Expanded uncertainty of auditor's evaluations for 95 % CI		1 dB	3 dB	5 dB	1 dB	3 dB	5 dB	1 dB	3 dB	5 dB
Expanded uncertainty of surveyor's evaluations for 95 % CI	1 dB	50 %	50 %	50 %	12 %	19 %	23 %	13 %	20 %	21 %
		0 dB	0 dB	0 dB						
	3 dB	50 %	50 %	50 %	5 %	12 %	16 %	5 %	12 %	16 %
		0 dB	0 dB	0 dB						
	5 dB	50 %	50 %	50 %	3 %	9 %	13 %	3 %	9 %	13 %
		0 dB	0 dB	0 dB						
		Probability of auditor deciding non-compliance. NOTE dB numbers indicate the penalty factor applied to compliance boundary.			Probability that the auditor decides that the surveyor's compliance boundary is compliant with the relevant compliance limit when it really isn't.			Probability that the auditor decides that the surveyor's compliance boundary is non-compliant with the relevant compliance limit when it really is compliant.		

Table M.4 shows the results of a Monte Carlo simulation of 10 000 trials where both the surveyor and the auditor use a target uncertainty assessment scheme (see Annex M.3.2) with a target uncertainty of 4 dB. The surveyor evaluates compliance with the limit (see Annex M.3.2.3) whilst the auditor evaluates exceedance of limit (see Annex M.3.2.4).

Table M.4 – Monte Carlo simulation of 10 000 trials both surveyor and auditor using target uncertainty of 4 dB

Expanded uncertainty of auditor's evaluations for 95 % CI		Probability of non-compliance determination			Probability of compliance error			Probability of non-compliance error		
		1 dB	3 dB	5 dB	1 dB	3 dB	5 dB	1 dB	3 dB	5 dB
Expanded uncertainty of surveyor's evaluations for 95 % CI	1 dB	50 %	50 %	35 %	13 %	20 %	30 %	12 %	20 %	15 %
		0 dB	0 dB	0 dB						
	3 dB	50 %	50 %	36 %	5 %	12 %	23 %	5 %	12 %	10 %
		0 dB	0 dB	0 dB						
	5 dB	34 %	36 %	29 %	3 %	7 %	15 %	3 %	9 %	9 %
		1 dB	1 dB	1 dB						
		Probability of auditor deciding non-compliance. NOTE dB numbers indicate the penalty factor applied to compliance boundary.			Probability that the auditor decides that the surveyor's compliance boundary is compliant with the relevant compliance limit when it really isn't.			Probability that the auditor decides that the surveyor's compliance boundary is non-compliant with the relevant compliance limit when it really is compliant.		

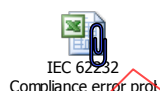
Table M.5 shows the results of a Monte Carlo simulation of 10 000 trials where the surveyor uses the upper 95 % CI value Table M.1 Case #3, and auditor uses the lower 95 % CI value Table M.1 Case #5.

Table M.5 – Monte Carlo simulation of 10 000 trials surveyor uses upper 95 % CI vs. auditor uses lower 95 % CI

		Probability of non-compliance determination			Probability of compliance error			Probability of non-compliance error		
Expanded uncertainty of auditor's evaluations for 95 % CI		1 dB	3 dB	5 dB	1 dB	3 dB	5 dB	1 dB	3 dB	5 dB
Expanded uncertainty of surveyor's evaluations for 95 % CI	1 dB	0 %	1 %	1 %	2 %	3 %	3 %	0 %	1 %	1 %
		1 dB	1 dB	1 dB						
	3 dB	0 %	0 %	0 %	2 %	3 %	2 %	0 %	0 %	0 %
		3 dB	3 dB	3 dB						
	5 dB	1 %	1 %	0 %	1 %	2 %	2 %	0 %	0 %	0 %
		5 dB	5 dB	5 dB						
		Probability of auditor deciding non-compliance. NOTE dB numbers indicate the penalty factor applied to compliance boundary.			Probability that the auditor decides that the surveyor's compliance boundary is compliant with the relevant compliance limit when it really isn't.			Probability that the auditor decides that the surveyor's compliance boundary is non-compliant with the relevant compliance limit when it really is compliant.		

M.4.3 Compliance error probability simulation

A range of example simulations for assessment schemes used by a surveyor and auditor are provided in spreadsheets in the supplementary file "IEC 62232 Compliance error probabilities.xls":



For various evaluation options used by the operator and auditor this spreadsheet calculates the probability that:

- the auditor will find that RF field strength or SAR level at the surveyor's compliance boundary is non-compliant with the relevant compliance limit;
- the auditor commits a compliance error - i.e. the auditor decides that the RF field strength or SAR levels at the operator's compliance boundary is compliant with the relevant compliance limit when it really isn't;
- the auditor commits a non-compliance error - i.e. the auditor decides that the RF field strength or SAR level at the operator's compliance boundary is non-compliant with the relevant compliance limit when it really is compliant.

The probabilities for the three events listed above will depend on how the surveyor uses their evaluations to determine a compliance boundary and how the auditor uses their evaluations to assess compliance. They will also vary according to the quality of the surveyor and auditor evaluations which can be quantified by the expanded uncertainties of their evaluations.

Annex N (informative)

Guidance on specific technologies

N.1 Overview to guidance on specific technologies

This annex provides data on specific technologies and additional guidance on how to apply the evaluation methods when considering these technologies

N.2 Summary of technology-specific information

Information provided in this Table N.1 summarises the key features of the major mobile and wireless communications technologies in operation around the world. In some countries, the national spectrum assignment/management agency may introduce variations and these should be taken into account when planning and performing RF field strength or SAR evaluations.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 62232:2011

Table N.1 – Technology specific information

Technology	Frequency band (MHz)	Down link freq (Base-mobile) (MHz)	Uplink freq (mobile-base) (MHz)	Modulation type	Multiple access	Channel bandwidth (kHz)	Tx unit power (W) ^a	Downlink TX power control range	No. of timeslots (TDMA)	Relevant technology standard references
AMPS	824 to 894	869 to 894	824 to 849	FM	FDMA	30	<~50		N/A	
C-450	450 to 465			FM	FDMA	20 / 10			N/A	
CDMA IS-95	824 to 894	869 to 894	824 to 849	QPSK	CDMA	1 250			N/A	
CDMA2000				QPSK	CDMA	1 250			N/A	3rd Generation Partnership Project 2 (3GPP2), C.S0057
Class 0	824 to 893	869 to 893	824 to 848							
Class 3	832 to 924	832 to 869	887 to 924							
Class 6	1 920 to 2 110	2 110 to 2 169	1 920 to 1 979							
other	1 750 to 1 870	1 840 to 1 870	1 750 to 1 780							
CDPD	824 to 894			FH / Packet GMSK		30				
DECT	1 880 to 1 980 ^b 2 010 to 2 025 2 400 ISM	n/a (TDD)	n/a (TDD)	GFSK B.T = 0.5	TDMA	1 728	0.25 Pk 0.01 ave per channel Typical 0.01 to 0.06 for RBS		24	ETSI EN 300 175-1, EN 300 175-2
GSM 900 ^c	876 to 960	921 to 960	876 to 915							
GSM 1800	1 710 to 1 880	1 805 to 1 880	1 710 to 1 795							
GSM / PCS1900	1 850 to 1 990	1 930 to 1 990	1 850 to 1 910	GMSK	FDMA / TDMA	200	0.1 to 20	~ 30 dB (BCCCH 0 dB)	8	

Technology	Frequency band (MHz)	Down link freq (Base-mobile) (MHz)	Uplink freq (mobile-base) (MHz)	Modulation type	Multiple access	Channel bandwidth (kHz)	Tx unit power (W) ^a	Downlink TX power control range	No. of timeslots (TDMA)	Relevant technology standard references
LTE										
Band1	1 920 to 2 170	2 110 to 2 170	1 920 to 1 980	QPSK, 16QAM, 64QAM	OFDM	1 400, 3 000, 5 000, 10 000, 15 000, 20 000	20 (1,25, 2,5, 5 MHz carrier)		N/A	3rd Generation Partnership Project (3GPP), TS36.104, TR36.942
Band2	1 850 to 1 990	1 930 to 1 990	1 850 to 1 910							
Band3	1 710 to 1 880	1 805 to 1 880	1 710 to 1 785				40 dBm (10, 15, 20 MHz carrier)			
Band4	1 710 to 2 155	2 110 to 2 155	1 710 to 1 755							
Band5	824 to 894	869 to 894	824 to 849							
Band6	830 to 885	875 to 885	830 to 840							
Band7	2 500 to 2 690	2 620 to 2 690	2 500 to 2 570							
Band8	880 to 960	925 to 960	880 to 915							
Band9	1 749,9 to 1 879,9	1 844,9 to 1 879,9	1 749,9 to 1 784,9							
Band10	1 710 to 2 170	2 110 to 2 170	1 710 to 1 770							
Band11	1 427,9 to 1 500,9	1 475,9 to 1 500,9	1 427,9 to 1 452,9							
Band12	698 to 746	728 to 746	698 to 716							
Band13	746 to 787	746 to 756	777 to 787							
Band14	758 to 798	758 to 768	788 to 798							
Band17	704 to 746	734 to 746	704 to 716							
NAMPS	824 to 894			FM	FDMA	10			N/A	
NMT-450	450 to 470			FM	FDMA	25			N/A	
NMT-900	890 to 960			FM	FDMA	12,5			N/A	
PDC	810 to 958 838 to 895 870 to 940 1 429 to 1 501	810 to 828 838 to 840 870 to 958 1 477 to 1 501	940 to 958 893 to 895 925 to 940 1 429 to 1 453	QPSK	FDMA /TDMA	50	32		3 or 6	Association of Radio Industries and Businesses (ARIB) in Japan, RCR STD-27

Technology	Frequency band (MHz)	Down link freq (Base-mobile) (MHz)	Uplink freq (mobile-base) (MHz)	Modulation type	Multiple access	Channel bandwidth (kHz)	Tx unit power (W) ^a	Downlink TX power control range	No. of timeslots (TDMA)	Relevant technology standard references
PHS	1 884 to 1 920	1 884 to 1 920	1 884 to 1 920	QPSK, BPSK, 8PSK, 12QAM, 16QAM, 24QAM, 32QAM, 64QAM, 256QAM	TDMA	300	4		8	Association of Radio Industries and Businesses (ARIB) in Japan - RCR STD-28
TACS: JTACS	832 to 925					25				
ETACS	872 to 960	917 to 960	872 to 915	FM	FDMA	12,5			N/A	
NTACS	843 to 925									
TETRA	Below 1 000	390 to 400 420 to 430 851 to 867 915 to 921	380 to 390 410 to 420 806 to 822 870 to 876	$\pi/4$ DQPSK	TDMA	25	4			ETSI TS 100 392-15
TETRAPOL				GMSK	FDMA	10				www.tetrapol.com
UMTS (W-CDMA)										3rd Generation Partnership Project (3GPP), TS 25.101
Band VI	830 to 885	875 to 885	830 to 840							
Band IX	1 750 to 1 880	1 845 to 1 880	1 750 to 1 785	QPSK	CDMA	5 000	20		N/A	
Band I	1 920 to 2 170	2 110 to 2 170	1 920 to 1 980							
USDC	824 to 894	869 to 894	824 to 849	$\pi/4$ DQPSK	TDMA	30			6	
Wi-Fi	2 400 to 2 483,5 5 150 to 5 850	n/a (TDD)	n/a (TDD)	DPSK, BPSK, GFSK, QAM, CCK	OFDM		0,25 typical 1 Max (subject to national regulation)			IEEE 802.11 series, IEEE 802.11b and 802.11g at 2,45 GHz, IEEE 802.11a (ETSI HyperLAN) at 5 GHz

Technology	Frequency band (MHz)	Down link freq (Base-mobile) (MHz)	Uplink freq (mobile-base) (MHz)	Modulation type	Multiple access	Channel bandwidth (kHz)	Tx unit power (W) ^a	Downlink TX power control range	No. of timeslots (TDMA)	Relevant technology standard references
WiMax	2 300 to 2 400 2 500 to 2 690 3 400 to 3 600 5 250 to 5 850	n/a (TDD, FDD)	n/a (TDD, FDD)	QPSK, 16QAM, 64QAM	OFDM	1 750, 3 500, 7 000, 1 400, 10 000, 20 000	20 (RBS) 0.5 (CPE) 0.2(mob)		128, 256, 1 024, 2 048 OFDM sub carriers	IEEE 802.16-2004, 802.16e
XGP (Next generation PHS)	2 545 to 2 625	2 545 to 2 625	2 545 to 2 625	BPSK, QPSK, 16QAM, 32QAM, 64QAM, 256QAM	OFDM/TDM M Or OFDM/TDM M/SDM	2 500, 5 000, 10 000	10(BS) 0.2(MS)		8	Association of Radio Industries and Businesses (ARIB) in Japan - RCR STD-T95

^a For systems not using continuous power transmission like TDMA in GSM, peak and average power should be indicated.

^b In Europe – Frequency Band: possible 1 880 MHz to 1 980 MHz, 2 010 MHz to 2 025 MHz or 2.4 GHz ISM, typical allocation (Europe): 1 880 to 1 900 MHz

^c Includes GSM-R, E-GSM and primary GSM bands

~~a For systems not using continuous power transmission like TDMA in GSM, peak and average power should be indicated.~~

~~b In Europe – Frequency Band: possible 1 880 MHz to 1 980 MHz, 2 010 MHz or 2,4 GHz ISM, typical allocation (Europe): 1 880 to 1 900 MHz~~

^c Includes GSM-R, E-GSM and primary GSM bands

N.3 Guidance on spectrum analyser settings

N.3.1 Overview of spectrum analyser settings

This subclause (developed from [23]) provides guidance on the spectrum analyser settings required to measure signals from different technologies. Accurate measurements with a spectrum analyser require the settings of parameters such as:

- detection mode;
- resolution bandwidth (RBW) and SPAN (or f_{start} and f_{stop});
- video bandwidth (VBW).

N.3.2 Detection algorithms

Spectrum analysers usually offer different detection modes. This is due to the fact that the spectral trace is divided into $N - 1$ buckets of size $\delta f = \frac{f_{\text{stop}} - f_{\text{start}}}{N - 1}$ because of sampling process. Let's denote:

$$f_k = f_{\text{start}} + k\delta f \text{ with } 0 \leq k \leq N - 1. \quad (\text{N.1})$$

- In “sample” mode, the sample v_k corresponds to the voltage at frequency f_k .
- In “peak” mode, the sample v_k corresponds to the maximum voltage found between frequency $f_k - \delta f$ and f_k .
- In “average” mode, the sample v_k corresponds to the average voltage between frequency $f_k - \delta f$ and f_k .
- For true r.m.s. mode, m voltage samples u_i within the interval $f_k - \delta f$ to f_k are taken. v_k is the root mean square of these u_i :

$$v_k = \sqrt{\frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m u_i^2} \quad (\text{N.2})$$

The sweep time should be long enough to have m samples.

With the reference resistance R , the power, p_k , is determined as follows:

$$p_k = \frac{v_k^2}{R} \quad (\text{N.3})$$

In peak mode this calculation leads to a correct power p_k when measuring CW amplitude. However, it leads to a bias when measuring noise-like signals such as UMTS signals and does not allow channel power processing because samples are not equally spaced in frequency and the signal shape is not taken into account.

N.3.3 Resolution bandwidth and channel power processing

N.3.3.1 Measurement at a single frequency

For narrowband signals, the RBW parameter should be chosen according to channel bandwidth and carrier spacing. A RBW higher than carrier spacing would prevent frequency selectivity analysis whereas a RBW lower than channel bandwidth would require additional processing. For GSM, the carrier spacing is equal to 200 kHz. Figure N.1 presents the

frequency occupancy of a GMSK modulation with a parameter $BT = 0,3$. The dotted line represents the power integrated with an ideal (i.e. rectangular) filter of variable bandwidth. The solid line represents the power integrated with a real filter with variable bandwidth. The dashed line represents the power integration of an adjacent channel (spaced 200 kHz from the target channel) with a real filter.

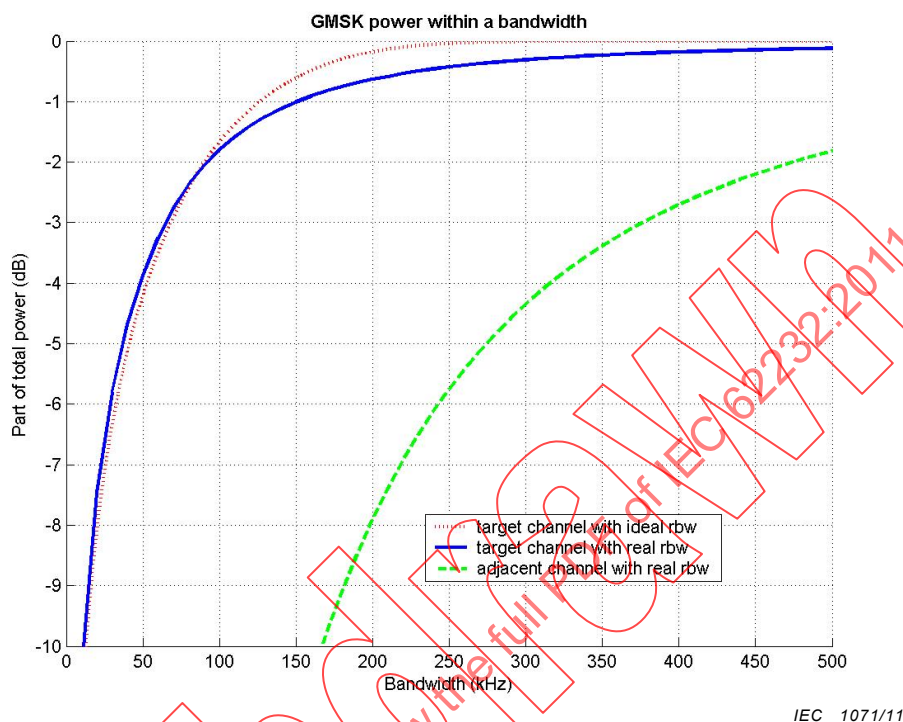


Figure N.1 – Spectral occupancy for GMSK

The real filter shape is obtained using the trace of a pure sine wave signal measured with a RBW equal to 300 kHz. Other filter bandwidths are obtained by extrapolation from this trace, assuming that the shape remains the same. The GMSK signal is given by a signal generator output measured with a RBW equal to 1 kHz and VBW equal to 10 kHz.

On the one hand, a RBW of 300 kHz would include the whole power of the target channel in the case of a perfect filter, but it would result in a loss of 0,3 dB with the real filter that we have used, with a rejection of -4,3 dB of the power of an adjacent channel. On the other hand, a RBW of 100 kHz would entail a loss of 1,8 dB. With a RBW of 200 kHz, the loss for target channel is 0,6 dB and the rejection of an adjacent channel is -7,9 dB.

Figure N.2 presents the frequency occupancy of a UMTS (CDMA) signal. The real filter shape is obtained using the trace of a pure sine wave signal measured with the RBW equal to 5 MHz. Other filter bandwidths are obtained by an extrapolation from this trace, assuming that the shape remains the same. The UMTS signal is given by a signal generator output measured with the RBW equal to 1 kHz and VBW equal to 10 kHz.

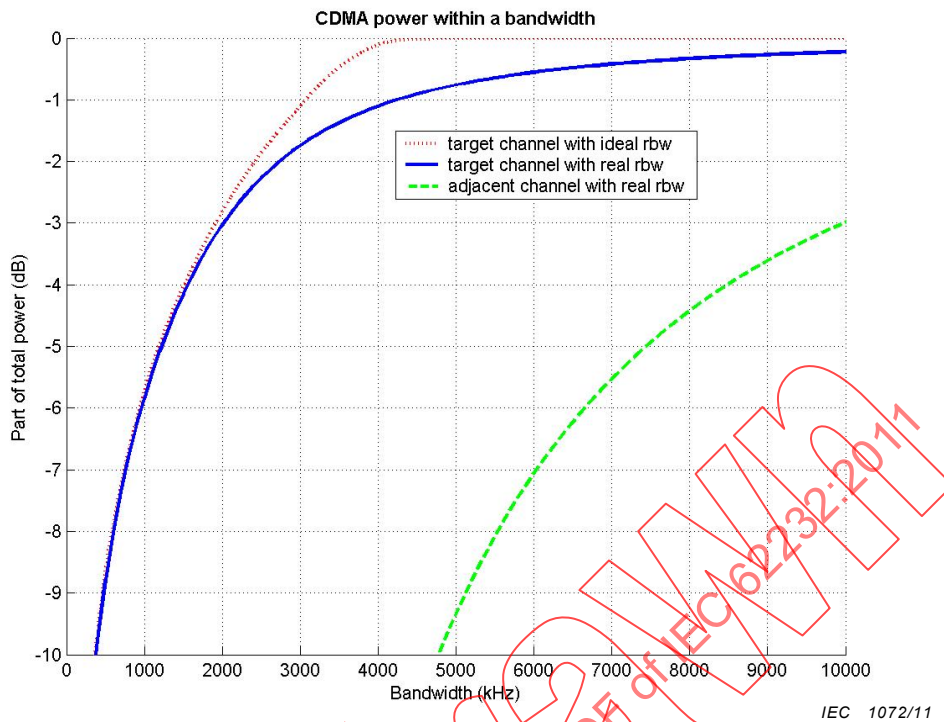


Figure N.2 – Spectral occupancy for CDMA

A RBW of 3 MHz results in a loss of 1,7 dB, and a RBW of 5 MHz results in a loss of 0,8 dB, with a rejection of about -9,3 dB of an adjacent channel. Moreover, as the CDMA signal is a noise-like signal, VBW averaging in log scale may lead to a biased measurement. If the ratio VBW/RBW is high enough (usually 3 or 10), the averaging effect of the VBW filter does not significantly affect power detection accuracy. However, when an appropriate VBW filter is not available, it is important to perform measurements in a linear scale or to use channel power method with a lower RBW.

Finally, if the detection mode “sample” is used, it is important to choose f_{start} , f_{stop} and N so that f_k corresponds to channel carrier frequencies. In this manner, RBW filters will be centred on carrier frequencies. This precaution allows the use of a corrective factor when an appropriate RBW is not available and shall limit inaccuracy in measurements.

NOTE All these results depend on the shape of the RBW filter that is used.

N.3.3.2 Measurement over a bandwidth and channel power processing

For wideband signals or for unknown signals, additional processing is required to establish the channel power. Several samples need to be summed to evaluate the power within a channel or within a whole frequency band. To reduce the effect of filters imperfections, an overlap criterion on RBW has to be verified (see the recommendations of the spectrum analyser manufacturer). Channel power over $[f_{k_1}, f_{k_2}]$ has to be determined in linear scale. Total power p (in dBm) is given by the following relation:

$$p = 10 \cdot \log_{10} \left(\alpha \frac{\mathcal{F}}{RBW} \sum_{k_1}^{k_2} 10^{\frac{p_k}{10}} \right) \quad (\text{N.4})$$

where α is a fitting parameter to correct RBW imperfections.

$$\alpha = \frac{RBW}{B_n} \quad (N.5)$$

with B_n the equivalent noise bandwidth of the filter.

Thus, channel power process simulates the use of a sharp RBW filter of wanted bandwidth.

Finally, spectral contributions whose level is around the measuring equipment's noise level should not be considered in channel power processing. This amounts to a threshold zeroing.

NOTE Measuring equipment with a high noise level will reduce the overall system sensitivity. Moreover, built-in channel power does not allow noise to be removed.

N.3.4 Integration per service

N.3.4.1 Broadband emulation or integration per service

The power channel measurement is not only useful for wideband signals. It can also be used to emulate in post-processing an integrated RF field strength over a frequency band or service, e.g. the whole GSM band. In this case, spectral contributions whose level is around equipments noise level should not be considered in channel power processing. It amounts to achieve a threshold zeroing.

NOTE Measuring equipment with a high noise level will reduce the overall system sensitivity. Moreover, built-in channel power does not allow noise to be removed.

N.3.4.2 Example of settings

Table N.2 shows the settings for a spectrum analyser with 401 points in a trace, i.e. the SPAN is divided in 400 intervals. The purpose is to perform channel power processing to achieve an integration per service. The presented parameters may have to be modified according to the used spectrum analyser (because of the number of points in a trace, the overlap criterion for channel power, etc...). For the GSM and DCS bands, the RBW filters are centred on the carrier frequencies and an extrapolation processing is also possible instead of a channel power processing. Table N.2 provides further examples.

Table N.2 – Example of spectrum analyser settings for an integration per service

Band	f_{start} (MHz)	f_{stop} (MHz)	RBW (MHz)	VBW (MHz)	Post-processing
FM	80	120	0,3	3	Channel power + denoising
TV	174	230	0,3	3	Channel power + denoising
TV	470,2	670,2	1	3	Channel power + denoising
TV	670,2	870,2	1	3	Channel power + denoising
GSM	925	965	0,3	3	Channel power + denoising or extrapolation
DAB	1 452	1 492	0,3	3	Channel power + denoising
DCS	1 800	1 880	0,3	3	Channel power + denoising or extrapolation
DECT	1 880	1 900	0,1	1	Channel power + denoising
UMTS	2 100	2 180	0,3	3	Channel power + denoising

N.4 Constant power components

N.4.1 TDMA/FDMA technology

TDMA mobile phone technology (e.g. GSM or TETRA) and FDMA mobile phone technology (e.g. TETRAPOL, AMPS, TACS) utilise a time invariant RBS radio channel that operates at constant full power and can be used as a stable reference.

For example, in the GSM system this constant power channel is known as the Broadcast Control Channel (BCCH). Additional radio channels are utilized as traffic requirements demand. These signals are subject to significant amplitude variation and may be frequency hopping. This requires assumptions to be made to quantify their contribution to the overall RF field. Table N.3 lists constant power components for various technologies.

Table N.3 – Example constant power components for specific technologies

Technology	Constant power component
AMPS/TACS	Control Channel
GSM	BCCH
TETRA	MCCH
TETRAPOL	MCCH

If the traffic channels each operate at a maximum power equal to the constant power component, then a conservative maximum transmit power, $P_{\max}$, can be determined by multiplying the power of the constant power component, P_{const} , by the total number of radio channels (control and traffic) that feed into the antenna, N_c .

If $P_{\max}$ represents the required assessment configuration and the RF field strength or SAR of the constant power component has been evaluated then for extrapolation (see 6.4) and if there are no other parameters relevant to extrapolation, then the extrapolation factor, F_{ext} , can be determined:

$$F_{\text{ext}} = \frac{P_{\text{asmt}}}{P_{\text{eval}}} = \frac{P_{\max}}{P_{\text{const}}} = N_c \quad (\text{N.6})$$

If the evaluated RF field strength from the constant component of the signal is E_{const} then the extrapolated maximum RF field strength $E_{\max}$ is:

$$E_{\max} = E_{\text{const}} \sqrt{N_c} \quad (\text{N.7})$$

N.4.2 CDMA/UMTS technology

CDMA/UMTS mobile phone systems use spread spectrum technology employing a constant power control/pilot channel (embedded in the carrier) which has a fixed power relationship to the maximum allocated power. Instruments are available that enable the constant power reference channel (e.g. Common Pilot Channel (CPICH) in UMTS/WCDMA) to be decoded and measured allowing a calculation of maximum RF field strength to be made.

If the ratio of the maximum allocated power to the power in the control channel is β and the measured RF field strength from the control channel is E_{CPICH} then the extrapolated RF field strength is:

$$E_{\max} = E_{\text{CPICH}} \sqrt{\beta} \quad (\text{N.8})$$

If there are M detected and extrapolated CPICH channels, the total extrapolated field, E_{ext} for one carrier frequency can then be expressed as the quadratic sum of all M detected and extrapolated CPICH channels:

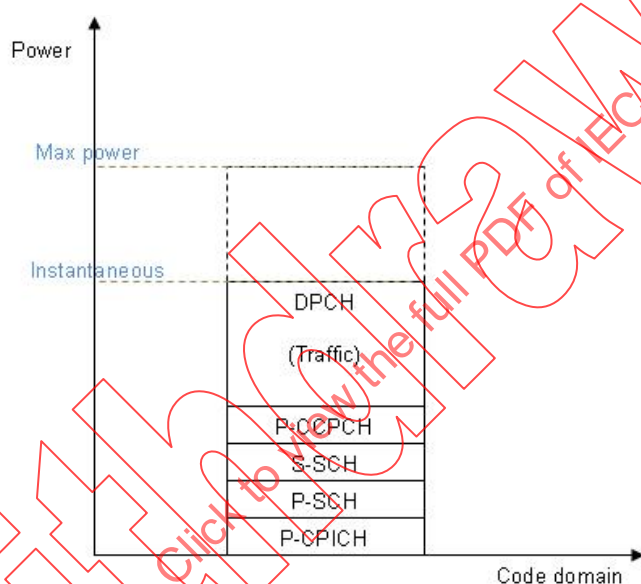
$$E_{\text{ext}} = \sqrt{\sum_{i=1}^M (E_{\text{max}}^2)_i} \quad (\text{N.9})$$

NOTE The parameters n , β and M are set by the telecommunications operator. A typical value for β is 10 (i.e. 10 % of total power allocated to CPICH).

N.5 WCDMA measurement and calibration using a code domain analyser

N.5.1 WCDMA measurements – General

This subclause, developed from [23], presents a method for measuring WCDMA (UMTS) signals and for the calibration of measurement equipment. Calibration addresses both the absolute (E_c) and the relative (E_c/I_0) level of the CPICH power. Figure N.3 shows the channel allocation for a WCDMA signal. I_0 denotes the total received power over 5 MHz. The procedure focuses on both the generator and the CDMA decoder.



IEC 1073/11

Figure N.3 – Channel allocation for a WCDMA signal

N.5.2 Requirements for the code domain analyser

It is recommended that a code domain analyser is used to perform WCDMA measurement since other WCDMA RBS can operate at the same frequency sharing the same bandwidth. The WCDMA decoder should satisfy the requirements listed in Table N.4.

Table N.4 – CDMA decoder requirements

WCDMA scanner	
Type	UMTS Scanning and decoding Detection of scrambling codes (SC)
Measuring parameters	The decoder shall measure at least two of the following parameters: I_0 (Total received power over 5 MHz centred on the carrier frequency in dBm) E_c (CPICH absolute power in dBm for one scrambling code) E_c/I_0 (in dB)
Detection Mode	r.m.s. and sample

WCDMA scanner	
Frequency Band	2 110 MHz to 2 170 MHz or as required for national frequency allocation
Number of detected SC	at least 4 per carrier frequency
Scanning mode	Automatic scanning of all scrambling codes per carrier frequency
Dynamic	≥ 66 dB for I_o (power dynamic) ≥ 20 dB for E_c/I_o (decoding dynamic)
Precision	± 2 dB
Multi path (rake fingers)	Sum of all fingers

N.5.3 Calibration

N.5.3.1 Signal types used for calibration

To detect the Primary Pilot Channel (P-CPICH) component of a UMTS signal, at least the synchronization channels named the Primary Synchronization CHannel (P-SCH), the Secondary Synchronization CHannel (S-SCH) and the Primary Common Control Physical CHannel (P-CCPCH) shall be present, too. Further channels may be added for signalling and traffic. The signal configurations described in Table N.5 shall be used

Table N.5 – Signals configuration

Signal name	Channel power (dB) in reference to the signal total emitted power (P_{total})				Other channels (signalling and traffic)
	P-CPICH	S-SCH	P-SCH	P-CCPCH	
CP-3.2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	None
CP-0.5	-0,5	-10,5	-10,5	-10	None
CP-10	-10	-13	-13	-10	DPCH = -0,97 dB
CP-20	-20	-20	-20	-20	DPCH = -0,092 dB
NOTE 1 S-SCH and P-SCH are interleaved within the P-CCPCH.					
NOTE 2 All the given values are referenced to the total signal power noted P_{total}					

N.5.3.2 Source (generator) calibration

The configurations listed in the Table N.6 shall be used.

Table N.6 – CDMA generator setting for power linearity

Signal	Total emitted power P_{total} (dBm)	Frequency (GHz)
CP-10	-20	2,14
CP-10	-40	2,14
CP-10	-80	2,14

The total received power shall be measured using a precision thermal power meter or a spectrum analyser directly linked to the generator. In the case of a spectrum analyser, a

channel power over 5 MHz should be used. The spectrum analyser or the power meter shall be calibrated with an uncertainty of within $\pm 0,5$ dB.

The total deviation between the total emitted power (P_{total}) and the total received power over 5 MHz (I_0) centred on the carrier frequency should not exceed ± 1 dB in the calibration power range.

N.5.3.3 WCDMA decoder calibration

The calibration of the CDMA decoder needs a calibrated source generator and two different approaches can be used to calibrate such a decoder:

- use one single source for the calibration of all the CDMA devices [63];
- use two or more different generators for performing individual calibration [64]

To verify the frequency response, linearity and influence of traffic channels on the WCDMA decoder, the measurements of P-CPICH channel power are performed under the following conditions (Table N.7):

Table N.7 – WCDMA generator setting for decoder calibration

signal type	frequency (GHz)	P_{total} (dBm)	P-CPICH target (dB)	Calibration type
CP-3.2	2,11	-20	-3,2	Frequency response
CP-3.2	2,17	-20	-3,2	Frequency response
CP-3.2	2,14	-10	-3,2	Linearity
CP-3.2	2,14	-30	-3,2	Linearity
CP-3.2	2,14	-40	-3,2	Linearity
CP-3.2	2,14	-50	-3,2	Linearity
CP-0.5	2,14	-20	-0,5	Traffic
CP-10	2,14	-20	-10	Traffic
CP-20	2,14	-20	-20	Traffic

The P-CPICH power is compared to the expected target P-CPICH value, resulting in a calibration factor which shall not exceed 2 dB in all the configurations.

The frequency response of the reflection coefficient is measured with a SWR bridge at the input of the equipment to be calibrated under the conditions in Table N.8.

Table N.8 – CDMA generator setting for reflection coefficient measurement

Signal type	Frequency (GHz)	P_{total} (dBm)
CP-3.2	2,11	-20
CP-3.2	2,14	-20
CP-3.2	2,17	-20

These measurements are needed to estimate the uncertainty of the measurements.

N.6 Wi-Fi measurements

N.6.1 General

The Wi-Fi signal is a spread-frequency signal emitted with random backoff. Therefore measurement has to be carried out carefully since the signal is noise-like and not permanent. Moreover, most spectrum analysers are not able to record the entire trace. Figure N.4 shows an example of Wi-Fi frames.

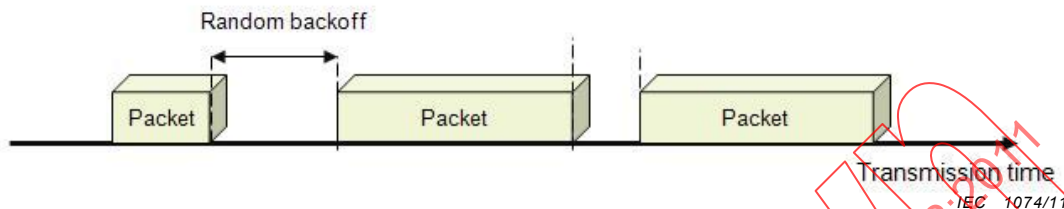
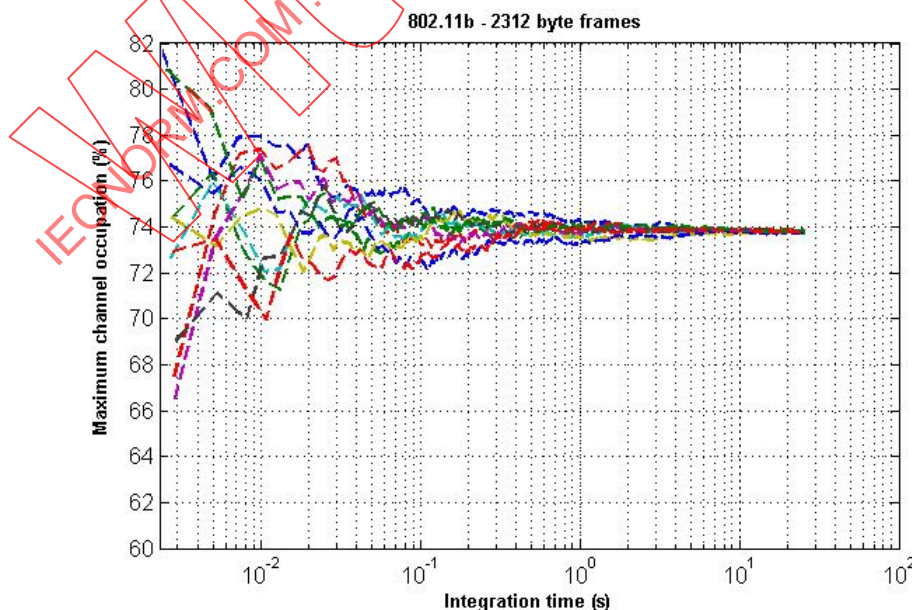


Figure N.4 – Example of Wi-Fi frames

The evaluation of the relevant RF field strength from a Wi-Fi system implies the knowledge of the real emitted power by the EUT. In most commercial 802.11 devices, the access to the medium is done by a CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access) protocol completed by a random waiting time before retrial, known as back-off time. Even if the maximum output power is constant and known and no power control is performed, the random back-off time makes it impossible to retrieve the emitted power shape over the time for most existing spectrum analysers.

N.6.2 Integration time for reproducible measurements

The random duration of the back-off time, integrated within the inter-packet delay, makes a deterministic calculation of the channel occupation impossible. Moreover, a sequence of random inter-packet delays will introduce a needed minimum integration time on the random duty cycle or channel occupation. A set of random back-off time values will converge after a minimum observation time has passed by. Figure N.5 shows how the indicated channel occupation varies with integration time.



IEC 1075/11

Figure N.5 – Channel occupation versus the integration time for 802.11b standard

N.6.3 Channel occupation

The packet transmission is done by encapsulating the IP packets into the MAC layer frames. These IP packets carry the application data and transport details from the upper layers and their size is not deterministic. Moreover, the size of the IP packets is usually not known *a priori* unless a controlled traffic generator is used. Our interest is to calculate the emission time over a full observation time. Operating at a fixed maximum throughput, the length of the packets sent into the MAC layer will be an important parameter to be determined. This length will provide the variable time in which the channel is occupied. Figure N.6 shows how channel occupation varies with nominal throughput rate.

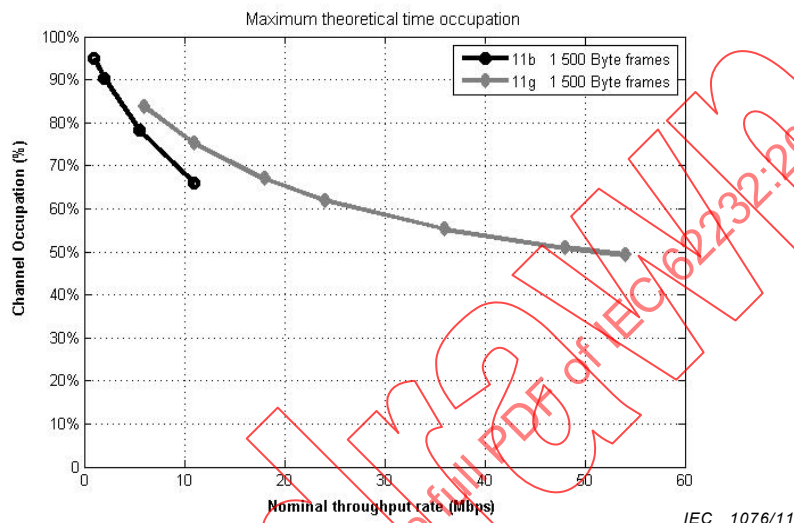


Figure N.6 – Channel occupation versus nominal throughput rate for 802.11b/g standards

N.6.4 Some considerations

A spectrum analyser is not able to plot the entire trace of a Wi-Fi 802.11 signal even using the channel power process because of the insufficient resolution bandwidth. The definition of the analyser parameters can enhance the plotting. However, due to the random separation between emissions, or packets, and the minimum sweeping time of the analyser, the plotted trace will have discontinuities while performing a measurement. Yet, the resolution bandwidth of the conventional equipment is an inverse function of the sweep time. An agreement between the 22 MHz minimum needed resolution bandwidth and the minimum sweep time to integrate the full emitted power is not possible. Figure N.7 shows a snapshot of a Wi-Fi spectrum trace.

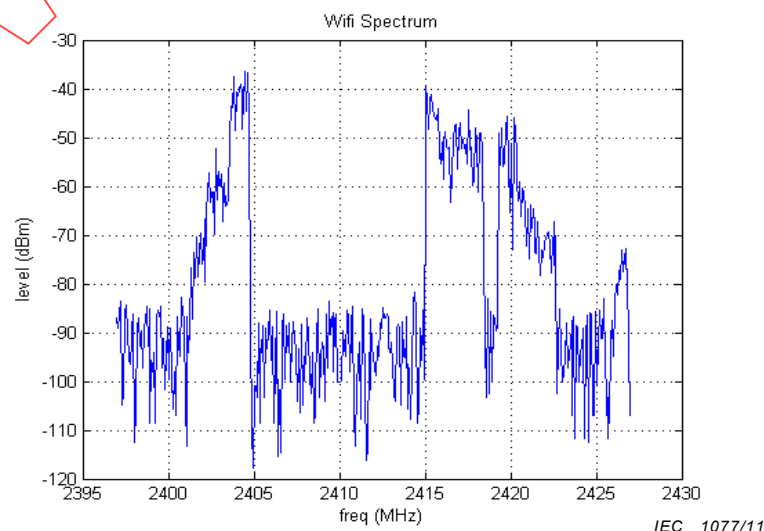


Figure N.7 – Wi-Fi spectrum trace snapshot

N.6.5 Scalability by channel occupation

The maximum output power can be measured either with a sensitive power meter or taking as reference the maximum-hold power trace. This trace would be escalated by the occupation factor in order to get close to the real emitted power.

N.6.6 Influence of the application layers

In ad-hoc networks the traffic can be raised up to the maximum by streaming data packets from one computer to another using the UDP protocol. The reason is that UDP offers a higher channel occupation than TCP by eliminating the error control and acknowledgement delays from the transport layer.

N.7 Smart antennas

N.7.1 Overview

Smart antennas systems can be deployed in telecommunications (e.g. TD-SCDMA) networks to reduce interference. Smart antennas produce a number of simultaneous narrow beamwidths directed to individual users to optimise communications. The power fed to the antenna is therefore split between users and the instantaneous directivity adjusted; i.e. smart antennas have different directivity for each individual communications channel. Therefore, if the RF field strength is evaluated in one fixed position near the base station, the measured value will vary significantly from time to time.

For a compliance determination, the requirement is to define the set of conservative RBS parameters for a RBS under normal use, i.e. non-fault conditions. This requires a detailed analysis specific to the employed technology and with due consideration for any site-specific factors.

N.7.2 Deterministic conservative approach

The gain per user may be several dB higher than the equivalent average gain over all channels. A very conservative case can be derived from the maximum gain in any direction and the total radiated power. This would be equivalent to having all communications channels operating at maximum power and all the individual directed beams aligned towards the evaluation point. This is not a usually a realistic case, but it may be simple to apply.

N.7.3 Statistical conservative approach

In developing a robust statistical model, at least the following aspects should be considered.

- a) Antenna design: What is the narrow beam pattern? When swept over full range of directions, what is the overall envelope antenna pattern?
- b) Antenna steering: Is the narrow beam continuously steered or is it selected from a (few) fixed orientations? Is the narrow beam adjusted in ϕ alone or both θ and ϕ (see Figure D.1).
- c) Technical limitation: Are there any design constraints that limit the fraction of available power directed to a single narrow beamwidth? What fraction of the available power can be directed to a single user?
- d) Geographic distribution of users in relation to antenna: Are there any factors that slue the geographic distribution of users from "random"? For example, if a RBS is located 1 000 m from a conference centre within the coverage are of the cell, it may be anticipated that there will be a significant concentration of users over a limited range of bearings.
- e) RF field strength modelling: Select a suitable computation model from 6.3 and respect any constraints on applicability (see Table 4). Consider that when approaching closer to an antenna with very narrow beamwidth, a person may obstruct more than one beam at a time.

In general, a statistical model will define

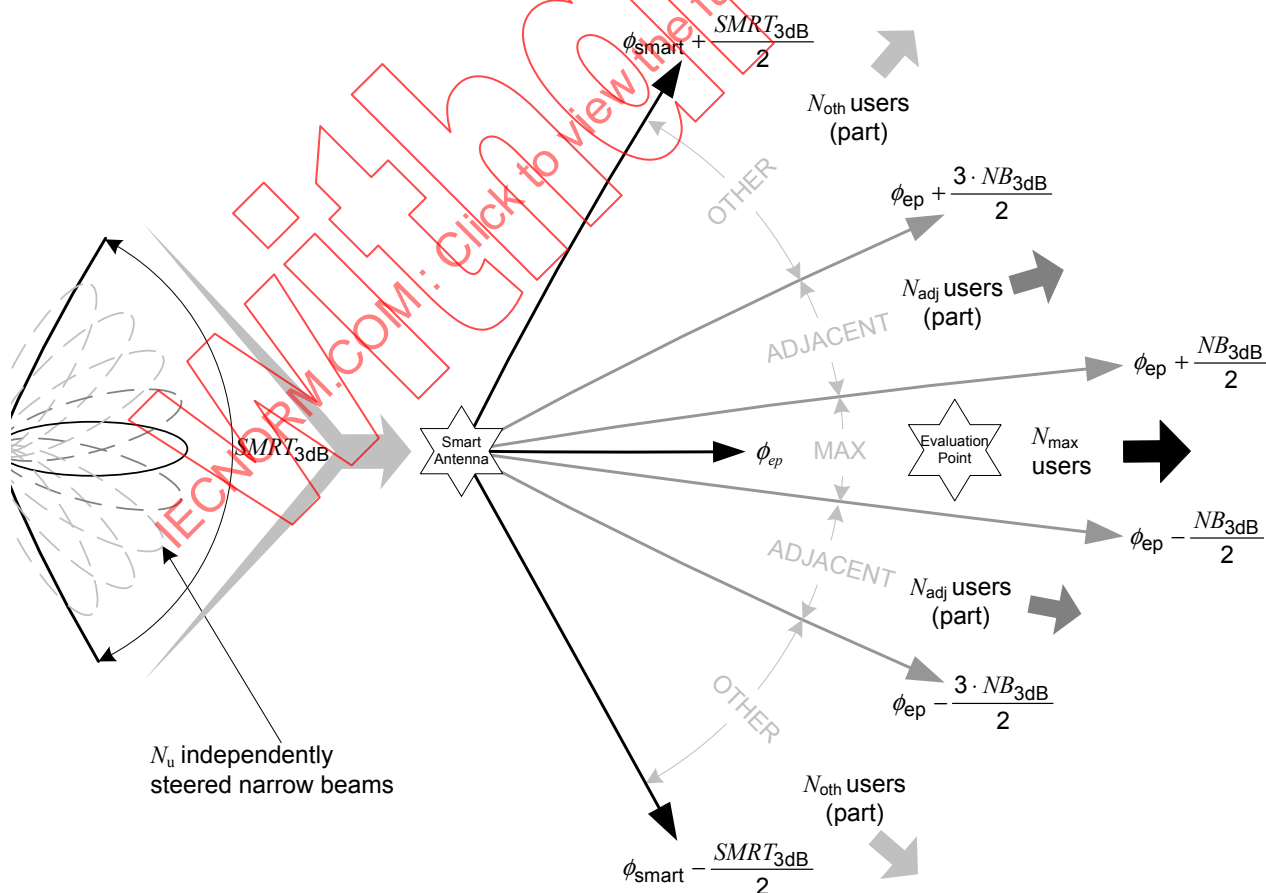
- the computation or measurement methods from Clause 6 to either establish the conservative RF field strength / SAR or a reference (e.g. “average”) RF field strength / SAR;
- a function defining a factor to reduce the deterministic conservative case or to modify the reference RF field strength / SAR;
- the applicability constraints considering all relevant aspects and at least a) to d) above and any assumptions that apply;
- the level of conservativeness, and, allow for that level to be parametrically expressed in the corresponding analytical formulation.

In the case study (see Annex N.7.5) associated with the example approach (see Annex N.7.4), the computed deterministic conservative power density is $0,5 \text{ W m}^{-2}$ and the statistical conservative power density is $0,23 \text{ W m}^{-2}$ for a level of conservativeness of 97,6 %.

N.7.4 Example approaches

N.7.4.1 Overview

Figure N.8 presents a plan view of a smart antenna with N_u independently steerable (in ϕ only) narrow beams each of beamwidth NB_{3dB} combining to provide coverage over a sector beamwidth of $SMRT_{3dB}$. Each beam is directed to a single user within the coverage area. The example approaches evaluate the RF field strength at the evaluation point according to deterministic conservative, long term time-average and statistical conservative methods.



IEC 1078/11

Figure N.8 – Plan view representation of statistical conservative model

The following definitions are used (see Figure N.8):

- G_u is the maximum gain of the narrow beam directed to a user.
- $D_{\phi_{\text{side}}}$ is the maximum horizontal directivity of the side lobes of the narrow beam.
- $D_{\theta_{\text{ep}}}$ is the vertical directivity of the narrow beam directed to the evaluation point.
- $SMRT_{3\text{dB}}$ is -3 dB horizontal beamwidth ($^\circ$) of the smart antenna.
- $NB_{3\text{dB}}$ is -3 dB horizontal beamwidth ($^\circ$) of the narrow beam directed to each user.
- ϕ_{ep} is the bearing ($^\circ$ East of North) to the evaluation point (see Annex D).
- ϕ_{smart} is the boresight bearing ($^\circ$ East of North) of the smart antenna if $SMRT_{3\text{dB}} < 360^\circ$.
- $\bar{P}_u$ is the maximum value of the average (temporal) transmitted power (W) for each user.
- N_u is the maximum number of simultaneous users.
- $\bar{P}_{\text{avg}}$ is the maximum value of the average (temporal) transmitted power (W) for the smart antenna and $\bar{P}_{\text{avg}} = \bar{P}_u \cdot N_u$.
- NOTE 1 In the case where a different transmit power level is available to each user, the definition of $\bar{P}_u$ implies that $\bar{P}_{\text{avg}} \leq \bar{P}_u \cdot N_u$ ensuring the conservativeness of the computed power flux density.
- N_{max} is the statistically defined maximum number of users in a single narrow beamwidth $\phi_{3\text{dB}u}$ (see Figure N.8 “MAX”) centred on the evaluation point bearing ϕ_{ep} , i.e. within bearing range $\phi_{\text{ep}} - \frac{NB_{3\text{dB}}}{2} \leq \phi \leq \phi_{\text{ep}} + \frac{NB_{3\text{dB}}}{2}$.
- N_{adj} is the statistically defined (considering N_{max}) maximum number of users in the two bearing ranges (see Figure N.8 “ADJACENT”) $\phi_{\text{ep}} - \frac{3 \cdot NB_{3\text{dB}}}{2} \leq \phi < \phi_{\text{ep}} - \frac{NB_{3\text{dB}}}{2}$ and $\frac{NB_{3\text{dB}}}{2} < \phi \leq \phi_{\text{ep}} + \frac{3 \cdot NB_{3\text{dB}}}{2}$.
- N_{oth} is the number of remaining users (after considering the statistically defined N_{max} and N_{adj}) in bearing ranges (see Figure N.8 “OTHER”) $\phi_{\text{smart}} - \frac{SMRT_{3\text{dB}}}{2} \leq \phi < \phi_{\text{ep}} - \frac{3 \cdot NB_{3\text{dB}}}{2}$ and $\phi_{\text{ep}} + \frac{3 \cdot NB_{3\text{dB}}}{2} < \phi \leq \phi_{\text{smart}} + \frac{SMRT_{3\text{dB}}}{2}$.
- δ_{max} is the factor modifying the effective gain in the direction of the evaluation point of the set of narrow beams serving users in a “MAX” bearing range centred on ϕ_{ep} (see Figure N.8) considering the distribution of users (see N_{max}) within the bearing range.
- δ_{adj} is the factor modifying the effective gain in the direction of the evaluation point of the set of narrow beams serving users in the two “ADJACENT” bearing ranges (see Figure N.8) considering the distribution of users (see N_{adj}) within the bearing ranges.
- δ_{oth} is the factor modifying the effective gain in the direction of the evaluation point of the remaining set of narrow beams serving users in the two “OTHER” bearing ranges (see Figure N.8) considering the distribution of users (see N_{oth}) within the bearing ranges.

Assume that the RF fields transmitted to each user are non-correlated and may be summed to find the total power flux density (see 6.5).

NOTE 2 The validity of this assumption is technology dependent.

N.7.4.2 Deterministic conservative power density model

Considering Figure N.8, this model assumes that all N_u users are in the same direction as the evaluation point and that all the transmitted power is directed towards the evaluation point i.e. $N_{\max} = N_u$. The deterministic conservative power flux density can be determined using the evaluation methods in this standard according to their validity. However, as an example, Equation (N.10) uses the simple spherical model (see Equation (7)):

$$S_{\text{det}} = \frac{\bar{P}_{\text{avg}} \cdot G_u \cdot D_{\theta\text{ep}}}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \quad (\text{N.10})$$

NOTE Where a single reflector is present, a factor of $(1 + |\Gamma|)^2$ is appropriate (see Equation (10)).

N.7.4.3 Long term time-average power density model

Considering that over a long time period, each narrow beam is effectively covering the full smart antenna beamwidth. The effective gain of each of the narrow beams is therefore reduced by the ratio of these two beamwidths such that the long-term (e.g. over several days) time-averaged power flux density S_{avg} can be expressed as:

$$S_{\text{avg}} = S_{\text{det}} \cdot \frac{NB_{3\text{dB}}}{SMRT_{3\text{dB}}} \quad (\text{N.11})$$

This value is significant only in that it establishes a possible basis for estimating the long term overall environmental RF exposure level from the RBS.

N.7.4.4 Statistical conservative power density model

N.7.4.4.1 Overview

The deterministic conservative approach described above ensures that for 100 % of the time that the cell is fully loaded, the computed field strength / SAR can never be exceeded.

A statistical approach may be used to define a more realistic conservative power flux density value. This is based on defining a very small but acceptable probability that, over the (limited) time that the cell is fully loaded, the statistical conservative value may be exceeded.

NOTE For example, consider the case where a) the fully loaded situation (maximum power to all users on cell edge, all frequencies/timeslots in use, maximum data rate etc.) occurs for say 5 % of the time and b) the defined acceptable probability for exceedance is 2,5 %. The probability that the computed value is exceeded is $2,5/100 \times 5/100 = 12,5/10\,000$ or 0,125 %. This means that over time, there is 99,875 % probability that the real value is below the statistically conservative value compared with 100 % probability for the deterministic conservative approach.

In the statistical conservative case, it is still necessary to account for all the transmitted power, but not necessarily with all the users in a single narrow beamwidth as in the deterministic conservative case.

The example approach breaks the problem into three parts:

- To establish the deterministic conservative power flux density (S_u) from a single narrow beam supporting one user considering the maximum gain modified by the vertical directivity to the evaluation point.
- To establish appropriate factor(s) ($\delta_{\max}$, δ_{adj} , δ_{oth}) to modify the horizontal gain of the narrow beams considering that some of the transmitted power is targeted at users at bearings other than the evaluation point.

- c) To establish a statistical model defining the number of users ($N_{\max}$, N_{adj} , N_{oth}) in appropriate bearing ranges considering the field computation model constraints and the level of conservativeness. This effectively defines the transmitted power distribution over the smart antenna beamwidth.

The statistical conservative power flux density S_{sta} is expressed as:

$$S_{\text{sta}} = S_u \cdot (\delta_{\max} \cdot N_{\max} + \delta_{\text{adj}} \cdot N_{\text{adj}} + \delta_{\text{oth}} \cdot N_{\text{oth}}) \quad (\text{N.12})$$

In Equation (N.12), the subscripts relate to the “MAX”, “ADJACENT” and “OTHER” bearing ranges shown in Figure N.8.

N.7.4.4.2 Establishing the single user conservative power flux density

In principle, any of the evaluation methods described in Clause 6 may be applied to determine S_u depending on the criteria in Clause 5 and Annex A and due consideration of their applicability to source-environment plane regions within which the evaluation point(s) lie. For simplicity, in this subclause the spherical model (see 6.3.2.1.2) is used with the horizontal gain at maximum and the vertical directivity appropriate for the evaluation point. For a single user, for evaluation points in the source-environment plane region III-0, the conservative power flux density S_u can be expressed as:

$$S_u = \frac{\bar{P}_u \cdot G_u \cdot D_{\text{dep}}}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \quad (\text{N.13})$$

NOTE It may be possible to extend this method to source-environment plane region III-1 with the application of a factor $(1 + |\Gamma|)^2$ to the final computed value of S_u [see 6.3.2.1.2 Equation (10)].

N.7.4.4.3 Determining horizontal gain modification factors

In Figure N.8, the users are distributed in a number of bearing ranges within the overall beamwidth of the smart antenna. These bearing ranges are defined (see Figure N.8) as:

- “MAX”, characterised by the -3 dB beamwidth of a single narrow beam;
- “ADJACENT”, characterised by being the two beamwidths immediately adjacent to “MAX”;
- “OTHER”, characterised by any bearings within the overall beamwidth of the smart antenna other than “MAX” and “ADJACENT”.

Within the “MAX” bearing range, the $N_{\max}$ users will be on bearings such that the narrow beams directed at them will have a gain of between G_u and $G_u - 3$ dB as observed from the evaluation point. It may be possible to define a statistical model to the distribution in ϕ of users within $\pm NB_{3\text{dB}}/2$ of the bearing to the evaluation point and then establish a rational for setting $0.5 < \delta_{\max} \leq 1$. However a deterministic conservative approach is to set $\delta_{\max} = 1$, i.e. assume maximum gain in direction of evaluation point for all of the $N_{\max}$ users.

Within the “ADJACENT” bearing ranges, the N_{adj} users will be on bearings such that the narrow beams directed at them have horizontal gains, as observed from the evaluation point, distributed over the beam pattern from $G_u - 3$ dB to $G_u - x$ dB where x depends on the directivity at $\pm 3NB_{3\text{dB}}/2$ from the centre of the narrow beam. Again, it may be possible to apply a statistical model to define this distribution. However, a deterministic conservative approach is to set $\delta_{\text{adj}} = 1/2$, i.e. assume gain is $G_u - 3$ dB in the direction of evaluation point for all of the N_{adj} users.

Within the “OTHER” bearing ranges, the remaining N_{oth} users will be on bearings such that when the narrow beams are directed at them, the evaluation point is more than $\pm 3NB_{3\text{dB}}/2$

from the centre of their respective beams. A deterministic conservative approach is to assume the gain is determined by the horizontal side lobe directivity. For example, if the highest gain horizontal side lobe $D_{\phi_{\text{side}}}$ is $G_u - 12$ dB, then $\delta_{\text{oth}} = 0,063$.

N.7.4.4.4 Determining N

The probability of any individual user being in a target beamwidth depends on the relevant part of the array beamwidth that is covered by the target beamwidth. The probability, PR_{max} , of any individual user being in the “MAX” beamwidth centred on ϕ_{ep} the evaluation point is:

$$PR_{\text{max}} = \frac{NB_{3\text{dB}}}{SMRT_{3\text{dB}}} \quad (\text{N.14})$$

To determine the probability of any individual user being in the two “ADJACENT” bearing sectors, PR_{adj} , the denominator is reduced to account for the concurrent condition covered by Equation (N.14) i.e.:

$$PR_{\text{adj}} = \frac{2 \cdot NB_{3\text{dB}}}{SMRT_{3\text{dB}} - NB_{3\text{dB}}} \quad (\text{N.15})$$

The binomial cumulative probability function [65] establishes the probability of less than k users out of N being within the target narrow beam(s).

$$F(k, PR_{***}, N_{***}) = \sum_{i=0}^k \binom{N_{***}}{i} (PR_{***})^i (1 - PR_{***})^{(N_{***}-i)} \quad (\text{N.16})$$

where

- PR_{***} is the probability of any individual user being in a specified beamwidth. (e.g. PR_{max} , PR_{adj})
- k is the assumed maximum number of users in the target beamwidth (determined iteratively by specifying the minimum value for $F(k, PR_{***}, N_{***})$)
- N_{***} is the number of users in the specified beamwidth (e.g. N_{max} , N_{adj})

Equation (N.16) is applied twice, first to establish N_{max} and then to establish N_{adj} . Finally N_{oth} is established. The process is described in the following steps:

- a) For the specific values of PR_{***} determine the relevant N_{***} .
 - First application for N_{max} , use Equation (N.14) to determine PR_{***} , and set $N_{***} = N_u$
 - Second application for N_{adj} , use Equation (N.15) to determine PR_{***} , and set $N_{***} = N_u - N_{\text{max}}$
- b) Plot the binomial cumulative probability function $F(k, PR_{***}, N_{***})$ for $k = 1$ to N_{***}
- c) Assign a minimum value for $F(k, PR_{***}, N_{***})$ (e.g. 0,97 or 97 %).
- d) Find the nearest integer value of k to assure this minimum value
 - on first application, assign $N_{\text{max}} = k$ then go back to step a),
 - on second application, assign $N_{\text{adj}} = k$.
- e) Determine N_{oth} :

$$N_{\text{oth}} = N_u - N_{\text{max}} - N_{\text{adj}} \quad (\text{N.17})$$

N.7.4.4.5 Determining S_{sta}

The statistical conservative power density is then computed using 6.3.2.1.2 Equation (N.12) and the parameter values derived in N.7.4.4.2, N.7.4.4.3 and N.7.4.4.4.

The above statistical model is intended for use for evaluation points within the bearing range where there is at least 1,5 narrow beamwidths between the evaluation point bearing and the -3 dB points on the overall smart antenna pattern. i.e. the following condition is true:

$$\phi_{smart} - \frac{SMRT_{3dB}}{2} + \frac{3 \cdot NB_{3dB}}{2} \leq \phi_{ep} \leq \phi_{smart} + \frac{SMRT_{3dB}}{2} - \frac{3 \cdot NB_{3dB}}{2}$$

A similar statistical approach can be applied for evaluation points nearer the edge of the smart antenna pattern, but the PR_{**} values may not be according to Equations (N.14) and (N.15).

This method only considers beam steering antennas where the narrow beam is adjusted in ϕ alone (see Figure D.1);

The binomial cumulative distribution function may not be adequately conservative where there are site-specific factors that significantly slue the uniform geographic distribution of users within the service area. For example, if there is a conference centre with a high concentration of users in a small bearing range near the edge of the coverage area.

N.7.5 Case study

N.7.5.1 Problem definition

Problem: What is the deterministic conservative, long term time-average and statistical conservative (to 97,5 %) power flux density 20 m from the smart antenna in the boresight of the main beam?

This specific case is for a communications system serving up to 24 simultaneous users (with 1 carrier); a smart antenna with 120° sector beamwidth and 15° beamwidth for each user with gain 22 dBi and maximum vertical beamwidth side lobes less than -12 dB; 16 W maximum power at antenna feed point (after considering feeder losses and accounting for modulation and TDMA on-off cycle as applicable). i.e. G_u is 158,5 (22 dBi) ; $SMRT_{3dB}$ is 120°; NB_{3dB} is 15°; $\bar{P}_u$ is $\frac{16}{24}$ W; N_u is 24; $\bar{P}_{avg}$ is 16 W; r is 20 m; $D_{\phi side} = 0,063$ (-12 dB); The evaluation is in the main beam so $D_{\phi ep} = 1$

N.7.5.2 Establish the deterministic conservative power density

From Equation (N.10):

$$S_{det} = \frac{16 \times 158,5}{4 \times \pi \times 20^2} = 0,50 \text{ W m}^{-2}$$

N.7.5.3 Establish the long term time-averaged power density

From Equation (N.11) and N.7.5.2:

$$S_{avg} = 0,5 \times \frac{15}{120} = 0,063 \text{ W m}^{-2}$$

N.7.5.4 Establish the statistical conservative power density

a) Step 1: Determine S_u

Apply the simple spherical model – from Equation (N.13):

$$S_u = \frac{\bar{P}_u \cdot G_u \cdot D_{\theta ep}}{4 \cdot \pi \cdot r^2} = \frac{(16/24) \times 158,5 \times 1}{4 \times \pi \times 20^2} = 0,021 \text{ W m}^{-2}$$

b) Step 2: Determine δ

Apply the deterministic conservative approach so that: $\delta_{\max} = 1$, $\delta_{\text{adj}} = 0,5$, $\delta_{\text{oth}} = 0,063$

c) Step 3: Determine $N_{\max}$

From Equation (N.14): $PR_{\max} = \frac{NB_{3\text{dB}}}{SMRT_{3\text{dB}}} = \frac{15}{120} = 0,125$

From N.7.4.4.4 step a): $N_{\max}$

Figure N.9 plots the relevant binomial cumulative probability function.

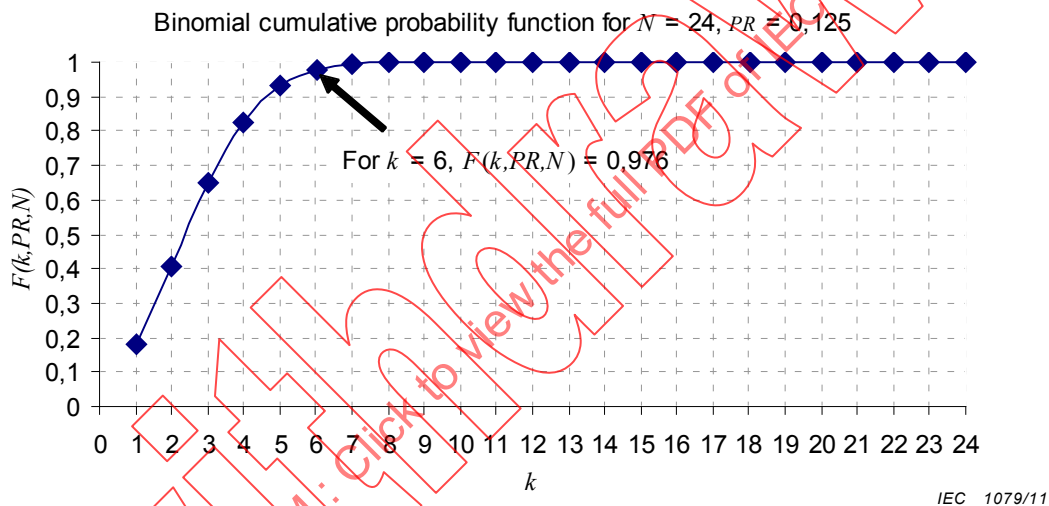


Figure N.9 – Binomial cumulative probability function for $N = 24$, $PR = 0,125$

From Figure N.9, the 97,5 % constraint is met for $k = 6$. Therefore set $N_{\max} = 6$.

d) Step 4: Determine N_{adj}

From Equation (N.15): $PR_{\text{adj}} = \frac{2 \cdot NB_{3\text{dB}}}{SMRT_{3\text{dB}} - NB_{3\text{dB}}} = \frac{2 \times 15}{120 - 15} = \frac{2}{7}$

From N.7.4.4.4 step a): $N_{**} = N_u - N_{\max} = 18$

Figure N.10 plots the relevant binomial cumulative probability function.

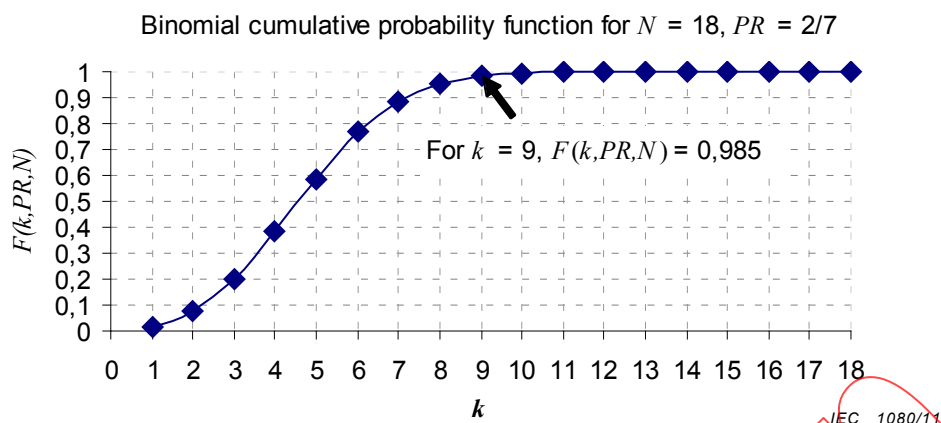


Figure N.10 – Binomial cumulative probability function for $N = 18$, $PR = 2/7$

From Figure N.10, the 97,5 % constraint is met for $k = 9$. Therefore set $N_{adj} = 9$.

e) Step 5: Determine N_{oth}

From Equation (N.17): $N_{oth} = N_u - N_{max} - N_{adj} = 24 - 6 - 9 = 9$

f) Step 6: Determine S_{sta}

From Equation (N.12) and using the parameter values derived in the previous steps:

$$S_{sta} = S_u \cdot (\delta_{max} \cdot N_{max} + \delta_{adj} \cdot N_{adj} + \delta_{oth} \cdot N_{oth})$$

$$S_{sta} = 0,021 \times [(1 \times 6) + (0.5 \times 9) + (0.063 \times 9)] = 0,23 \text{ W m}^{-2}$$

Annex O (informative)

Guidance on uncertainty

O.1 General

This annex provides guidance on the estimation of uncertainty of an evaluation. The application of uncertainty results to the evaluation of compliance with a limit is discussed in Annex L in the context of assessment schemes (see Annex M).

Uncertainty estimates should be performed in accordance with the recommendations of the ISO/IEC Guide 98-3:2008, known also as the GUM. Some additional material that may assist in understanding and implementing uncertainty estimates are ([36], [37], [38], [39], [40], [41], [42], [43], [44], [45]). This list is not necessarily complete and the reader is recommended to investigate other sources as applicable.

Whenever a continuous physical quantity is measured or calculated, the result of the evaluation will differ from the true value by an amount termed an *error*. In general, the actual error value is unknown but may be assumed to come from a probability distribution characterised by parameters (e.g. the standard deviation of a normal distribution) which may be known or estimated. The GUM defines the term *uncertainty* as “the parameter associated with the result that characterises the dispersion of values that could reasonably be attributed to the measurand.”

Uncertainty analysis of RF evaluations serves to “qualify” the validity of the evaluation and is necessary for determining the degree of confidence with which a limit has been complied with, or whether an observed change in a quantity (e.g. over time or as a consequence of some engineering change) is truly significant. Uncertainty estimates also allow the meaningful comparison of results from different methodologies and helps to identify and hence minimise sources of error.

O.2 General approach for estimating uncertainty

The uncertainty in a measured or calculated evaluation is usually an aggregate outcome of a number of component variations called *influence quantities*. A necessary first step in developing an uncertainty estimate is to identify and characterise all of the significant influence quantities that affect the evaluation.

Uncertainties arise from random effects and from imperfect corrections for systematic effects. Where the evaluation is known to deviate from the true value by a fixed amount, then the evaluation should be altered by this *correction*. Often, a correction may only be known within certain limits and hence adds to the overall uncertainty of the evaluation.

The scale of uncertainty of each influence quantity can be quantified by an estimated standard deviation, termed *standard uncertainty*, u_i . For RF evaluations, the standard uncertainty of each influence quantity is often difficult to define and subject to its own uncertainty, as may be indicated by its degrees of freedom, ν_i . Sometimes the probability distribution of an influence quantity can be determined by a simple repeated measures approach, i.e. Type A evaluation as described in the ISO GUM. However, Type B evaluation is normally required which entails the determination of uncertainties by means other than established statistical methods. It may incorporate for instance data provided by others, such as uncertainties on a calibration certificate or from the manufacturer's specifications, reference tables and books. It can also entail sound scientific and engineering calculations to determine the appropriate maximum RF field scenarios and for the estimation of compliance with limits by suitably experienced people.

The first step is to estimate the standard uncertainty for each influence quantity. The standard uncertainty u_i is calculated by dividing the value of the quoted uncertainty associated with the influence quantity by a factor d which depends on the probability distribution of that uncertainty and on the level of confidence associated with the value.

Common probability distributions that need to be considered are: the normal, rectangular, triangular, and the U-shaped.

- a) The normal distribution is often encountered in calibration reports and manufacturers' specifications. If a quoted uncertainty is stated as a multiple of an estimated standard deviation, then the standard uncertainty is calculated by dividing the quoted uncertainty by the multiplier. For a normal probability distribution,
 - the divisor d is 1,96 (~ 2) if the value of the quoted uncertainty has a level of confidence of 95,00 % (the value is approximately twice the estimated standard deviation see Figure O.1), or
 - the divisor d is 1 if the value of the quoted uncertainty has a level of confidence of 68,26 % (the value is the estimated standard deviation, see Figure O.1).
- b) The rectangular distribution is appropriate if no specific information is available about the possible values of the quantity to be evaluated provided an estimate can be made of the upper and lower bounds. The divisor d is $\sqrt{3}$.
- c) The triangular distribution may be appropriate if available information suggests a tendency towards a central value and if upper and lower bounds can be estimated. The divisor d is $\sqrt{6}$.
- d) The U-shaped distribution is appropriate to describe mismatch uncertainty. The divisor d is $\sqrt{2}$.

For example, for a rectangular, triangular or U-shaped probability distribution, where the influence quantity is estimated to lie between lower ($x_i - a_-$) and upper ($x_i + a_+$) bounds with a level of confidence of 100 %, u_i is taken as $a/\sqrt{3}$, $a/\sqrt{6}$, or $a/\sqrt{2}$ respectively, where $a = (a_+ + a_-)/2$ is the half-width or semi-span of the probability distribution.

In some situations, the lower and upper bounds are asymmetric with respect to the best estimate x_i (i.e. $a_+ \neq a_-$). The GUM suggests that for the rectangular distribution, it may be practical to apply a correction to the estimate x_i of magnitude $(a_+ - a_-)/2$ so that a new estimate is at the midpoint of the bounds. The application of the correction factor (t_i) is shown below. Alternatively the asymmetric distribution could be replaced by a symmetric distribution at the same midpoint by choosing the larger of either a_+ or a_- to define the symmetric lower and upper bounds. The GUM also outlines an approach based on assuming an exponential distribution function between the lower and upper bounds (GUM 4.3.8, Note 2).

The second step in assessing uncertainty is to specify a mathematical model that combines the aggregate affect of the component influence quantities on the overall uncertainty to estimate the combined standard uncertainty u_c . A simple multiplicative model will suffice for most scenarios. The model:

$$F = F_0 \times G_1 \times G_2 \times \dots \times G_N$$

where:

F is the true value

F_0 is the evaluated level (best estimate)

$G_1, G_2, G_3 \dots G_N$ are multiplicative corrections (with associated uncertainties) due to the influence quantities. The mean value of G_i is usually, but not always, equal to 1.

For calculating corrections and estimating the uncertainty in F , this model may be expressed more conveniently as a linear series of dB variation terms as follows:

$$\Delta f = g_1 + g_2 + \dots + g_N$$

$$g_i = t_i \pm u_i$$

where:

Δf is the total dB variation in F due to the correction factors and uncertainty in the influence quantities,

g_i , g_1 , g_2 , ..., g_N , ... are the corrections (with associated uncertainties) of the influence quantities expressed as dB variations..

t_i is the dB correction in g_i

u_i is the standard uncertainty in g_i

The dB log transformation of the model allows the multiplicative adjustment factors (G_i) to be treated as a series of linear terms (g_i). The combined correction factor, t_c is:

$$t_c = \sum_{i=1}^N t_i$$

The individual standard uncertainties u_i can be combined to calculate a combined standard uncertainty, u_c :

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^N (c_i^2 u_i^2)}$$

In this simple model, the sensitivity coefficients, c_i , of each influence quantity is 1. In more complex models where influence quantities vary as the square (G_i^2), cube (G_i^3) or some other power, then c_i will change as the indice. It is also assumed in this model that each influence quantity acts *independently* from the others.

The final step is to estimate the expanded uncertainty. The expanded uncertainty U defines an interval about the result that will encompass the true value with a specified level of confidence. The expanded uncertainty, U , is obtained by multiplying the combined standard uncertainty by a coverage factor, k , thus:

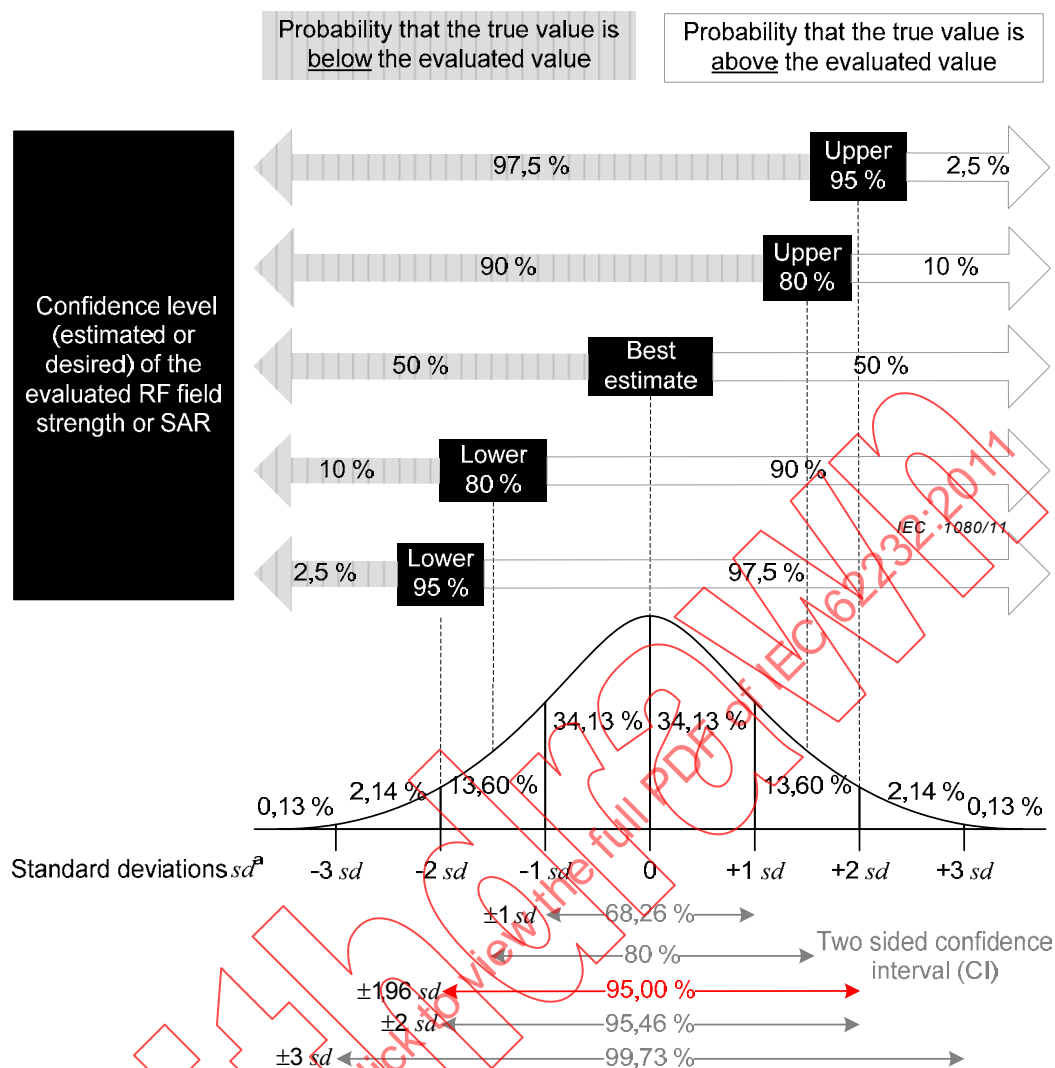
$$U = k \times u_c$$

For the commonly specified 95 % two sided confidence interval (CI), k has a value of 1,96 (~ 2).

Clause 6 provides recommended formats for reporting uncertainty, and a number of worked case study examples are provided in [54].

O.3 Measurement uncertainty and confidence levels

Figure O.1 illustrates the probability of the true value either being above or below the evaluated value depending on the confidence level for the measurand assuming the uncertainty is normally distributed.



IEC 1081/11

- a To apply this in an assessment scheme (see Annex M), the X axis may be expressed in dB or % depending on the selected uncertainty model and the specific evaluation. For the multiplicative model described in O.2, dB is appropriate.

Figure O.1 – Probability of the true value being above (respectively below) the evaluated value depending on the confidence level assuming a normal distribution

Similar diagrams to Figure O.1 can be prepared for different uncertainty distributions. Depending on the evaluation method, the evaluated RF field strength / SAR value may be for example:

- the best estimate – i.e. with equal probability of the real value being above or below the evaluated value;
- upper 95 % or upper 80 % an overestimate – i.e. with greater probability of the real value being below the evaluated value than above it;
- lower 95 % or lower 80 % an underestimate – i.e. with greater probability of the real value being above the evaluated value than below it.

EXAMPLE Consider the case where the “Best estimate” RF field strength is measured to be 2 W/m² with an expanded uncertainty U (for a 95 % two sided confidence interval) estimated to be 3 dB (i.e. on Figure O.1, -1,96 sd corresponds to - 3 dB and +1,96 sd corresponds to + 3 dB). This means that there is an equal probability that the true value is above or below 2 W/m². Using Figure O.1, the corresponding “Upper 95 %” value will be 3 dB above 2 W/m² i.e. 4 W/m² - meaning that there is a 97,5 % probability that the true value is below 4 W/m². The corresponding “Lower 95 %” value will be 3 dB below 2 W/m² i.e. 1 W/m² - meaning that there is a 97,5 % probability that the true value is above 1 W/m².

O.4 Example influence quantities for field measurements

O.4.1 General

The uncertainty effect of the following influence quantities should normally be made insignificant by selection of appropriate instrumentation and good measurement technique:

- lead pick-up;
- direct pick-up;
- coupling into probes;
- static charge fields;
- out of band responses
- zero drift;
- detector modulation response.

If however any of these influence quantities is suspected to cause significant uncertainty and/or correction, then its influence should be estimated and combined with the influence quantities described below.

The following subclauses describe a minimal list of influence quantities that should be considered.

O.4.2 Calibration uncertainty of measurement antenna or field probe

The calibration of an E or H measurement antenna or field probe is affected by the uncertainty in the reference field level used for the calibration. This is usually specified in the calibration report as an uncertainty, U , for a 95 % two sided confidence interval where d in this case is 1,96 (~ 2).

The standard uncertainty u for calibration can be determined by dividing U by the divisor d .

It is important to note that calibrations are generally performed under specified standard conditions. For example, these conditions might be:

- the calibration was performed at *discrete* (spot) frequencies ranging from 10 MHz to 8 000 MHz;
- the calibration was performed at a particular field intensity;
- the ambient temperature was 20,5°C;
- the meter reading was taken at the average point of the probe's isotropic response;
- the reference field was unmodulated continuous wave (CW).

This information sets a benchmark reference when considering the added uncertainties and corrections for other sources of variation such as: frequency response; probe linearity with field intensity; temperature response; probe isotropy and; response to field modulations.

O.4.3 Frequency response of the measurement antenna or field probe

For electric field and magnetic field probes, calibration reports typically provide a correction factor at discrete calibration frequencies which shall be multiplied to the field meter reading to obtain the best estimate of the field level, F . When interpreting calibration charts, it is important to know whether the calibration factors apply to the field level (i.e. E or H) or to the square of the field (E^2 , H^2 or S_{eq}).

In the example calibration chart shown in Figure O.2, the calibration report indicates a correction factor of 0,88 for E at the frequency of 2 450 MHz. In this case, the true electric field strength reading = the meter reading $\times$ 0,88. For estimates of E^2 or S_{eq} , the

meter reading shall be multiplied by the *square* of the calibration factor (i.e. $0,88^2$ in this example) to obtain the true reading.

In most cases, the measurement frequency will not exactly coincide with one of the calibration frequencies. Recommended practices are provided below for three such scenarios, with reference to Figure O.2 as an example.

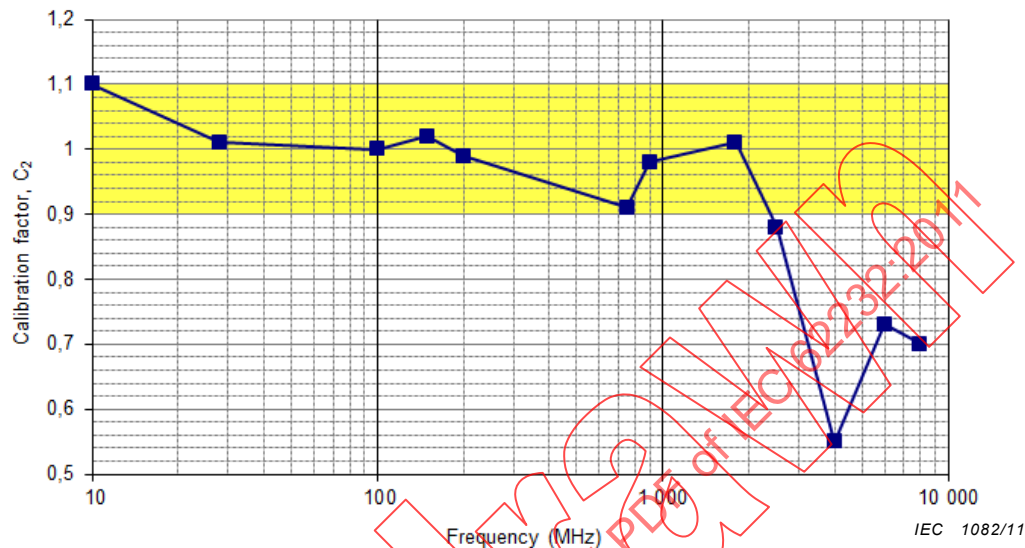


Figure O.2 – Plot of the calibration factors for E (not E^2) provided from an example calibration report for an electric field probe

In Figure O.2, the yellow zone depicts the extent of calibration factors that are within $\pm 10\%$ of 1.

- a) Scenario 1 - The measurement frequency does not coincide with any of the calibration frequencies provided in the calibration report.

Determine the linear correction factor from linear interpolation between the two nearest spot frequency calibration factors. For example, a correction factor of 0,74 would be applied at 3 000 MHz in the Figure O.2 example. It can be generally assumed that the added uncertainty due to interpolation between the calibration points will be negligible compared to other uncertainties and may be ignored so long as there is no more than a four fold difference between the frequencies of the calibration points used for the interpolation.

- b) Scenario 2 - The measurements entail a broadband measurement of multiple frequencies.
- Apply a correction factor that is midway between the extremes of the correction factors, a_+ and a_- , in the measurement frequency range. For example, broadband measurements between 100 MHz and 3 000 MHz would require a correction factor of $(a_+ + a_-)/2 = (1,02 + 0,74)/2 = 0,88$.
 - The standard uncertainty in this case can be calculated by modelling the variability as a *rectangular distribution* which spans between the extreme values of the calibration factors. The standard uncertainty for a rectangular distribution is calculated as $(a_+ - a_-)/(2\sqrt{3})$. For the 100 MHz to 3 000 MHz broadband measurement example, the standard uncertainty would therefore be calculated as $(1,02 - 0,74)/(2\sqrt{3}) = 0,081$ dB.
- c) Scenario 3 - The calibration factor(s) for E or H at the measurement frequency or frequency range is within 10 % of 1 (i.e. 0,9 to 1,1).

For convenience, the correction factor in this case may be set to 1 and the standard uncertainty is calculated from a *rectangular distribution* with a half width, a , of 0,87 dB. The standard uncertainty is then calculated as $a/\sqrt{3} = 0,87/\sqrt{3} = 0,50$ dB. This approach leads to higher estimated uncertainties than the methods indicated above, but reduces the

effort required in adjusting calibration factors for each measurement. In the example shown in Figure O.2, the yellow zone depicts the extent of calibration factors that are within $\pm 10\%$ of 1.

NOTE Scenario 3 is only applicable if the correction factor is changing at random. This is not always the case. If a correction factor increases or decreases gradually, then a systematic error is introduced by the proposed method.

O.4.4 Isotropy of the measurement antenna or field probe

The responses of RF probes typically vary for different orientations of the probe with respect to the electric field or magnetic field. This variation is generally larger when the probe is attached directly to the field meter, except for measurements where the meter body has little field scattering influence on the probe, for example when the field is much higher at the probe head than at the meter.

Such variation can be effectively nullified by rotating the probe and recording the average response, as is the practice when the probes are calibrated in a laboratory. Where this is not practical, a standard uncertainty shall be applied. The *expanded* uncertainty range for probe isotropy is normally provided in the manufacturer's specification sheet for the instrument. If the confidence interval is not specified for the uncertainty, it may generally be assumed that $d = 1,96$ (~ 2).

O.4.5 Frequency response of the spectrum analyser

It is the uncertainty over a specified frequency and represents overall system performance resulting from the flatness characteristics and interactions of individual components including attenuator flatness and mixer conversion loss. Frequency response uncertainty is usually specified for relative and absolute measurements. Relative uncertainty describes the amplitude extremes relative to a midpoint value between the extremes. Absolute uncertainty describes the amplitude uncertainty relative to an internal amplitude reference signal. A rectangular distribution can be assumed for the probability distribution with $d = \sqrt{3}$.

O.4.6 Temperature response of a broadband field probe

The electric field probe or magnetic field probe response can vary with changes in temperature. Field probes are normally calibrated at room temperature (20°C), and hence if the temperature response is known an appropriate correction can be applied for other operating temperatures.

If a temperature correction is not applied, then a standard uncertainty for temperature variation shall be added to the combined estimate. The uncertainty range for temperature response is normally provided in the manufacturer's specification sheet for the instrument. Unless specified otherwise, a 95 % confidence interval may be assumed for the uncertainty range with $d = 1,96$ (~ 2).

O.4.7 Linearity deviation of a broadband field probe

Ideally, the response of a field probe should be linear with respect to the measured E^2 or H^2 level. However, probes normally exhibit a linearity deviation which varies with the level of the measured field and which is usually greatest at the low and high extremes of the measurement range of the probe. Thus, for instance, the standard uncertainty for linearity deviation may be higher for low level environmental measurements than it would be for RF hazard compliance measurements.

The *expanded* uncertainty range for linearity deviation is normally provided in the manufacturer's specification sheet for the instrument. Unless specified otherwise, a 95 % confidence interval may be assumed for the uncertainty range with $d = 1,96$ (~ 2).

O.4.8 Mismatch uncertainty

When a spectrum analyser is connected to a measurement antenna through a transmission line, the voltages and current on the line can be described in terms of reflection coefficients and incident and reflected waves. Since usually only the magnitudes of the reflection coefficients will be known, the worst-case maximum and minimum mismatch uncertainty, a_M (dB), associated with power transfer is obtained from:

$$a_M = 20\text{Log}_{10}(1 \pm |\Gamma_A| |\Gamma_{SA}|)$$

where $|\Gamma_A|$ and $|\Gamma_{SA}|$ are the magnitudes of the reflection coefficients for the measurement antenna and the spectrum analyser. Mismatch uncertainty is asymmetric about the measured result, however, the difference it makes to the total combined uncertainty is often insignificant and it is acceptable to use the larger of the two limits. The U-shaped probability distribution function is appropriate so d is $\sqrt{2}$ and the mismatch standard uncertainty, u_M is given by:

$$u_M = \frac{a_M}{\sqrt{2}}$$

O.4.9 Mental averaging of meter fluctuations for modulated sources

In many cases, the radiated output of an RF source is continuously varying, for example due to active power control, channel occupancy or intermittent data transfer on a communications link.

When taking measurements for *instantaneous E* and *H* limits, the recommended practice is to use the maximum-hold function of the meter (if available) in which case the mental averaging influence may be assumed to be negligible.

When taking measurements for *time-averaged E* and *H* limits, it should be standard practice to record the *average* reading, rather than the peak reading. This may be achieved on some instruments by using a time averaging function built into meter which will lead to negligible uncertainty. If due to time constraints this approach is not practical, then the meter reading may be mentally averaged, though this will entail a significant uncertainty. This uncertainty could be reliably estimated by comparing repeated measures against an instrument time averaged measure of the signal, i.e. a Type A estimate.

O.4.10 Uncertainty due to power variation in the RF source

There are some RF sources which can vary substantially in average radiated power from one period (e.g. six minutes) to the next. If the source power is known at the time of measurement, then the measurements should be scaled by a factor to reflect the reasonable maximum operational power. The variation shall be assumed to be a *rectangular distribution*.

O.4.11 Uncertainty due to field gradients

O.4.11.1 Uncertainty due to field gradients - general

RF fields can vary rapidly with location relative to the source. Such situations occur for example in the 'near-field' of a radiator or re-radiator where the magnitude of the field can vary inversely with the cube of the distance ($1/d^3$) from the radiator. In high field gradients (e.g. close to the source or re-radiating conductors) this can lead to a significant uncertainty in the measurement if the location of the field probe is uncertain. Separation distances have been computed for a range of probe dimensions to limit the measurement uncertainty to $\pm 10\%$ (separation distances to achieve a lower uncertainty of $\pm 5\%$ are provided if this is a requirement of the evaluation plan).

In high field gradients, the variation shall be assumed to be a *rectangular distribution*. For a range of $\pm 10\%$ in *E* or *H*, the standard uncertainty is consequently calculated as $0,87/\sqrt{3} = 0,5$ dB.

O.4.11.2 Uncertainty due to field gradients - dipoles

The error (δ) in measurement of non-uniform near-field electric fields using a dipole antenna can be expressed as [37]:

$$L \leq 2R_0 \sqrt{1 - \frac{1}{\sqrt{\delta + 1}}}$$

Where L is the total length of the dipole and R_0 the distance from the centre of the dipole to the source of the near-field. The error is positive, and is the difference between the average electric field strength over its total length to the electric field strength at the centre of the dipole when this difference is normalised to the field at the centre.

EXAMPLE 1 For an error (δ) equal to 0,1 (10 % for E or 21 % for E^2), then the separation distance R_0 should be not be less than 2,3 times the total dipole length (L).

EXAMPLE 2 For an error (δ) equal to 0,05 (5 % for E or 10 % for E^2) R_0 should be not be less than 3,2 times the total dipole length (L).

Table O.1 gives guidance on minimum separation distances for some selected dipole dimensions to ensure that the uncertainty does not exceed 5 % or 10 % in a measurement of electric field strength. The variation shall be assumed to be a symmetric *rectangular distribution*. For example, a range of ± 10 % in electric field strength, the standard uncertainty is consequently calculated as $0,87/\sqrt{3} = 0,5$ dB.

Table O.1 – Guidance on minimum separation distances for some dipole lengths to ensure that the uncertainty does not exceed 5 % or 10 % in a measurement of E .

Dipole total length	Minimum separation distance	
	For $u < 10$ % (E)	For $u < 5$ % (E)
40 mm	92 mm	128 mm
67 mm	154 mm	214 mm
133 mm	306 mm	426 mm
400 mm	920 mm	1 280 mm

O.4.11.3 Uncertainty due to field gradients when using loop antennas

Guidance on the estimation of uncertainty in a magnetic field strength (H) measurement due to non-uniform near-fields is given in [36] and [38]. Tables 4 and 5 in [36] give uncertainty estimations for single-axis and three-axis loop antennas.

When using a three-axis axis loop at a separation distance (measured from the centre of the loop) equal to two times its diameter, the uncertainty in the measurement of H can range from -10,8 % to +7,6 % (and slightly less for a single loop). This is equivalent to -22,7 % to +15,8 % in H^2 . The uncertainty in H can be reduced to just under ± 5 % (or ± 10 % in H^2) if the separation distance is increased to three times the diameter of the loop.

Table O.2 gives guidance on minimum separation distances for some selected loop dimensions to ensure that the uncertainty does not exceed 5 % or 10 % in an H measurement. The variation shall be assumed to be a symmetric *rectangular distribution*. For example, a range of ± 10 % in electric field strength or magnetic field strength, the standard uncertainty is consequently calculated as $0,87/\sqrt{3} = 0,5$ dB.

Table O.2 – Guidance on minimum separation distances for some loop diameters to ensure that the uncertainty does not exceed 5 % or 10 % in a measurement of H .

Loop diameter	Minimum separation distance	
	For $u < 10 \% (H)$	For $u < 5 \% (H)$
40 mm	80 mm	120 mm
67 mm	133 mm	201 mm
133 mm	267 mm	399 mm
400 mm	800 mm	1 200 mm

O.4.12 Mutual coupling between measurement antenna or isotropic probe and object

Mutual coupling between a dipole and object (e.g. floor, wall, furniture, etc) can alter the impedance of the dipole and therefore change the relationship (e.g. antenna factor) between the electric field strength (E) along the probe and voltage at its terminals. This can lead to an error in the measurement of the field because the antenna factor established during calibration is no-longer valid. Guidance provided in [36] for dipole like antennas indicates that worst-case measurement errors, over the frequency range of 300 MHz to 3 000 MHz, can be kept below 10 % (21 % for RF field strength squared), under the following worst-case conditions:

- The detector (load) impedance is low, with respect to the antenna's source impedance, i.e., the detector draws a relatively high RF current from the receiving antenna. In contrast, a low capacitance, high-impedance diode detector will reduce the probe loading errors by about a factor of two.
- The perturbing object (passive re-radiator) may have any scattering cross section, i.e., its size can be much greater than several wavelengths at the frequency being measured. Small scatterers will introduce lower measurement errors.
- The dipole total electrical length is less than or equal to 0,4 wavelengths tip-to-tip.
- The distance between the probe and the perturbing object is greater than 200 mm at 300 MHz (0,2 wavelengths), and greater than 20 mm (0,2 wavelengths) at 3 000 MHz.

Table O.3 summarises the conditions for some selected dipole dimensions.

Table O.3 – Example minimum separation conditions for selected dipole lengths for 10 % uncertainty in E

Frequency (MHz)	Minimum separation distance (0,2 λ)	Dipole total length (0,4 λ)
3 000	20 mm	40 mm
1 800	33 mm	67 mm
900	67 mm	133 mm
300	200 mm	400 mm

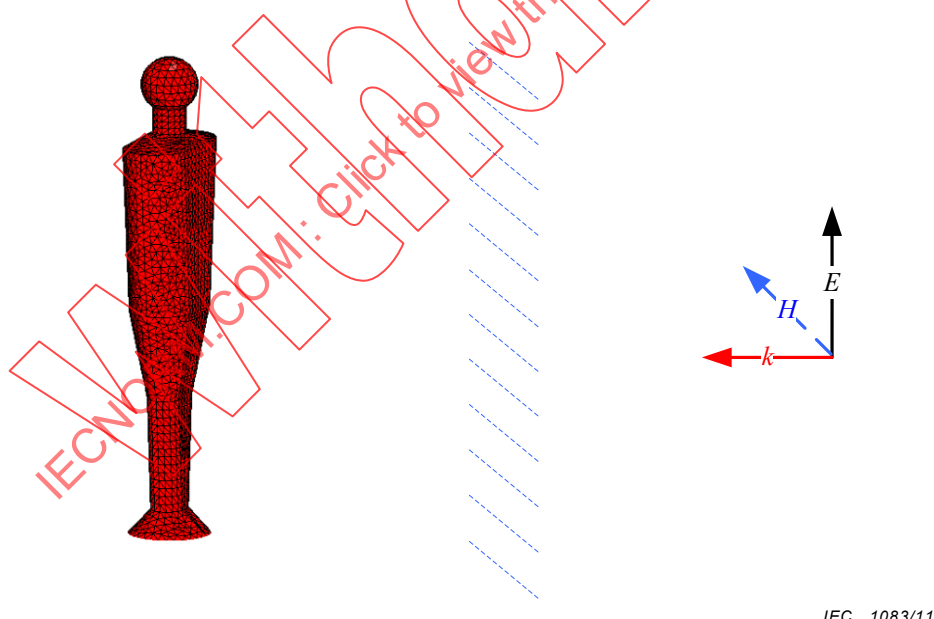
A separation of 200 mm is required for a dipole that is 400 mm in length. A 20 mm separation distance is suitable for dipoles with a maximum tip-to-tip length not more than 40 mm when used over the frequency range 300 MHz to 3 GHz. In general, arbitrary sized dipoles can be used so long as the criteria for total dipole dimension and separation distance are observed to ensure the measurement uncertainty is not greater than 10 % in E or 21 % in E^2 . The variation

shall be assumed to be a symmetric *rectangular distribution*. For a example, a range of $\pm 10\%$ in E , the standard uncertainty is consequently calculated as $0,87/\sqrt{3} = 0,5$ dB.

O.4.13 Uncertainty due to field scattering from the surveyor's body

Scattered fields from the surveyor's body can be a substantial source of uncertainty. When a person points a field probe towards a high frequency (> 300 MHz) RF source, a portion of the incident RF wave is reflected from the front of their body which combines with the incident wave to form a standing wave due to constructive and destructive interference. The perturbation due to these reflected fields is greatly affected by the distance of the measuring probe from the reflective front body surface. At lower frequencies, the scattered fields from a standing surveyor resemble the re-radiation from a monopole antenna. The influence of scattered fields is more prominent in the measurement of far-fields which are away from higher field gradients encountered near the source and which entail whole body exposure and reflections from the surveyor.

The level of field perturbation in front of a surveyor due to reflections from the body has been estimated by numerical calculation as indicated in the model setup shown in Figure O.3. The estimated range of variation is shown in Table O.3 for frequencies ranging from 300 kHz to 10 GHz. This variation is represented by an asymmetric *rectangular distribution* based on the upper (a_+) and lower (a_-) bounds indicated in Table O.4, and have been interpolated for particular types of radio services in Table O.4. Note that the perturbation effect of the body is large for mobile telephony and satellite/microwave services, and hence surveyors should take particular care to avoid body reflections when measuring these services if they wish to avoid large uncertainties. This can be achieved by standing off to the side of the main lobe of high gain antennas like microwave dishes, or by mounting the RF meter and probe on a non-conducting tripod.



IEC 1083/11

NOTE Considers adult of average height and girth standing on a perfectly conducting ground and exposed to a vertically polarized plane wave propagating in direction k .

Figure O.3 – Computational model used for the variational analysis of reflected RF fields from the front of a surveyor

The man model consisted of a homogeneous lossy material with dielectric values equivalent to 2/3 muscle at the exposure frequency. The model was analysed by method of moments using the surface equivalence principle (SEP) as implemented in the EMSS FEKO v4.2 commercial software. The dots in the diagram indicate the range of measurement points (0,7 m to 1 m in front of the centre of the body, and 0,8 m to 1,8 m above ground).

Table O.4 – Standard estimates of dB variation for the perturbations in front of a surveyor due to body reflected fields as described in Figure O.3

Frequency (MHz)	dB variation due to body reflected fields	
	<i>E</i>	<i>H</i>
0,3	-1,4 to +1,1	-0,2 to 0,0
1	-1,4 to +1,1	-0,2 to 0,0
3	-1,4 to +1,1	-0,2 to 0,0
10	-1,2 to +1,2	0,0 to 0,1
30	-0,8 to +1,6	0,9 to 2,7
100	-0,18 to +2,2	-2,6 to 0,7
300	-1,4 to +2,0	-2,8 to 1,4
1 000	-5,7 to +3,4	-6,0 to 3,7
3 000	-6,1 to 3,5	-6,1 to 3,5
10 000	-5,0 to 3,2	-5,0 to 3,2

Table O.5 – Standard uncertainty (*u*) estimates for *E* and *H* due to body reflections from the surveyor for common radio services derived from estimates provided in Table O.4

Radio service	dB variation due to body reflected fields					
	<i>E</i>			<i>H</i>		
	<i>a</i> ₊	<i>a</i> ₋	<i>u</i>	<i>a</i> ₊	<i>a</i> ₋	<i>u</i>
MF AM radio	-1,4	+1,1	0,7	-0,2	+0,0	0,1
HF radio	-1,4	+1,6	0,9	-0,2	+0,1	0,1
VHF FM radio	-0,2	+2,2	0,7	-2,6	+0,7	1,0
VHF TV	-1,4	+2,2	1,0	-2,8	+1,4	1,2
UHF TV	-2,5	+2,5	1,4	-3,0	+2,5	1,6
800 and 900 MHz mobile telephony	-5,7	+3,4	2,6	-6,0	+3,7	2,8
1 800 and 2 100 MHz mobile telephony	-6,0	+3,4	2,7	-6,0	+3,5	2,7
Microwave & satellite links	-5,5	+3,2	2,5	-5,5	+3,2	2,5

O.5 Example influence quantities for RF field strength computations by ray tracing or full wave methods

O.5.1 General

The influence quantities for calculated evaluations of fields differ from those for measurements, and may vary depending on how the calculated evaluation is performed. The following subclauses describe a minimal list of influence quantities that should be considered.

O.5.2 System

O.5.2.1 Transmitter power

Transmitter power output may vary over time depending on load and signal modulation. An estimate of the uncertainty due to variation may be obtained by monitoring output over a sufficient length of time, using manufacturers' or historical data, or information obtained from similar transmitter installations.

The type of distribution that adequately models power variation will depend on the quality of the information available to the assessor. If insufficiently characterised, the assessor may choose a uniform distribution based on best estimate of maximum and minimum variation. In other cases, a triangular or normal distribution may be suitable.

O.5.2.2 System losses

Estimation of the "losses" incurred by the signal between the output of the RF amplifier and the input ports(s) of the antenna are subject to uncertainty. Two major components of uncertainty are:

- transmission line and connector/component losses;
- antenna mismatch to the transmission line feeder.

Losses in the form of attenuation can be considered to be normally distributed while mismatch "loss" is modelled by a U-shaped distribution.

O.5.2.3 Antenna

The model of the antenna is an important source of uncertainty in ray tracing and full wave analysis. In full wave analysis, the physical antenna can be modelled to give good agreement with measured field patterns, both in the near and far field. The uncertainty in the evaluated RF field strength will depend on the degree of alignment between the model and physical antenna and in particular, accuracy in modelling feed structures. To estimate the uncertainty in the antenna model, computed field patterns should be compared with measured data and/or data obtained using other computational methods that have been verified.

In ray tracing analysis, antenna gain is an important source of uncertainty for calculations using the spherical equation or near-field calculations based on synthetic apertures. In many cases, it is possible to obtain manufacturer's specification data of the far-field gain for the horizontal radiation pattern (HRP) and vertical radiation pattern (VRP) of the antenna.

Unless reliably indicated otherwise, it may be assumed that these data (and other antenna gain data obtained from a trustworthy source) are normally distributed and will have a standard uncertainty of 1,5 dB (if the nulls in an antenna pattern are deliberately filled in to provide conservative estimates, then the standard uncertainty shall be altered accordingly to account for the asymmetric variability introduced by this approach – see Annex O.5.3).

If the gain is estimated by antenna pattern synthesis from the HRP and VRP in directions away from these planes, then an additional standard uncertainty shall be estimated for the uncertainty in the approximation introduced by the antenna pattern synthesis technique. The characteristics of this uncertainty will depend on how the antenna pattern synthesis is formulated.

If the antenna gain varies across the frequency spectrum of the source, then it is acceptable to calculate the emissions at the mid range of the transmission spectrum, with an added uncertainty estimate for the effect of varying antenna gain across the transmission spectrum.

For smart/adaptive antenna arrays, additional constraints shall be considered such as the antenna pattern of the individual narrow beams, number of beams operational at a given time, overall envelope antenna pattern formed as the peak gain varies with target direction.

O.5.2.4 Modelling of antenna structures and supports

Reflections from structures and supporting elements may contribute to the total field at assessment locations. In some cases, computational modelling tools may not be able to include the effects of structures and supports. A contribution to uncertainty shall be included to account for the effect on field patterns due to the interaction between the antenna and positioning, mounting and support structures. The rectangular distribution can be assumed unless there is information to suggest otherwise.

O.5.3 Technique uncertainties

Uncertainty in the general accuracy of the modelling technique can be difficult to estimate, but shall nonetheless be considered. Depending on the particular computational method adopted, contributions to uncertainty can include:

- model resolution;
- boundary conditions;
- convergence criteria;
- interpolations/extrapolations;
- null-filling of antenna patterns

A set of computational tools are described in 6.3 and these include the spherical, cylindrical formulae, ray tracing and full wave field. The approach taken towards validating and estimating the uncertainty will depend on the type of computational tool that is being used, and recommended approaches are provided in Annex H and [53].

O.5.4 Environmental uncertainties

The presence of scattering object near a RF field strength calculation point may introduce some uncertainty in the estimate if it has not been explicitly included in the calculation model. This uncertainty may be considered negligible if the scattering object is at least twice as far from the source than the calculation point. Otherwise, an uncertainty estimate should be provided if the scattering object has not been included in the calculation model.

In scattering environments, the relationship between the field components, E and H , will be complex and not well approximated by the free space impedance. If both components of the field are not explicitly included in the calculation model then inferring one component (e.g. H) from the evaluation of the other (e.g. E) may introduce some additional uncertainty. An estimate of uncertainty should be provided where one component is inferred from the evaluation of the other.

The rectangular distribution can be assumed unless there is information to suggest otherwise.

O.6 Influence quantities for SAR measurements

For validation and influence quantities for SAR measurements see IEC 62209-2:2010 and [59], [60], [72], [73] and [76].

O.7 Influence quantities for SAR calculations

Validation and influence quantities for SAR estimation formulae are contained in Annex H. Validation and influence quantities for full wave SAR calculations are contained in [20], [57], [58], [59], [60] and [72].

Annex P (informative)

Case studies

P.1 Overview

This annex provides a summary of worked evaluation examples at eight RBS sites using a range of methods described in this standard. The example sites include roof-tops, towers, poles, micro cells and in-building cells.

Each case study has been chosen to illustrate typical RBS sites and common evaluation tasks. Some of the case studies demonstrated multiple evaluation methods. However, in most situations, only one method would be required for completing an evaluation.

The full case studies are available in [54].

P.2 Micro cell case study

The purpose of this case study was to evaluate the RF exposure compliance boundaries from a particular micro cell installation on a building wall to determine whether they would extend to a nearby awning. Compliance boundaries were determined based on a) basic restrictions and b) reference levels to determine the minimum distance from the antenna to the compliance boundary.

The maximum values were compared against international safety guidelines known as ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) guidelines. The assessment establishes compliance against the basic restrictions known as specific absorption rate (SAR) and the spatially-averaged field strength reference levels. SAR testing was performed in a laboratory and frequency-selective field measurements were performed on site.

The equipment under test (EUT) was categorised as a simple RBS due to the single technology and single antenna of the micro cell. Nearby base stations, known as secondary sources, had negligible impact on both SAR and field strength evaluations.

The measured SAR and field strength levels were extrapolated to assess the maximum power configuration for the site. The “best estimate” uncertainty model was applied and the measured levels are reported including the extrapolation for maximum base station power configuration. The uncertainty is stated for all assessment methods used.

The compliance boundary distance for general public exposure using the on-site field strength measurement was 0,8 m and 0,08 m using the SAR evaluation.

Both the SAR evaluation and the on-site field strength measurements confirm that the general public exposure compliance boundary from the micro cell antenna does not extend onto the building awning, therefore access is permitted on the awning.

This case study illustrates:

- the benefit of performing a SAR evaluation on the small micro cell antenna to minimise its exclusion zone;
- evaluation of RF fields from cellular base station antennas located in close proximity to a roof-top awning accessible to maintenance staff.

Figure P.1 shows the surveyor and the micro cell antenna installed on the building wall.

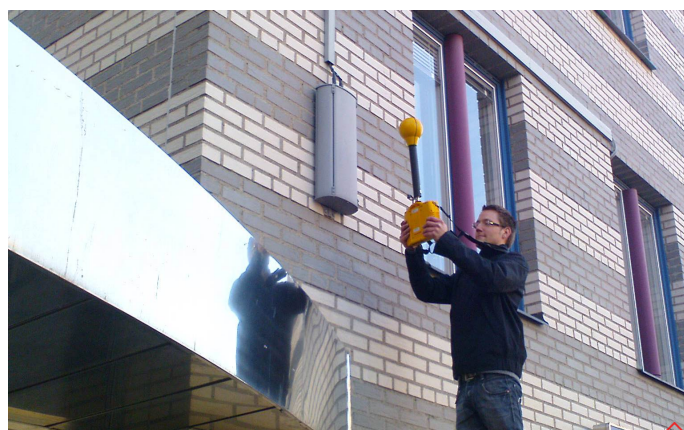


Figure P.1 – Micro cell case study

P.3 Roof-top case study with nearby apartment buildings

The purpose of this case study was to verify the RF exposure levels in the accessible areas of an office building roof-top with a cellular base station are below the uncontrolled environment exposure limits in Health Canada's Safety Code 6 Guidelines [33]. The building roof-top has cellular base station panel antennas from two separate operators, and is located near an apartment building, residential and commercial areas.

The equipment under test (EUT) was categorised as a complex RBS as there are multiple antenna systems at the site under evaluation.

This evaluation was performed by Industry Canada as part of their regulatory auditing program of radio communication and broadcasting sites. The evaluation consisted of computational modelling to determine the RF exposure compliance boundaries around the antennas, and on-site frequency-selective field strength measurements to determine the RF exposure levels in accessible areas.

The RF exposure compliance boundary (uncontrolled environment) was assessed to be 6 m directly in front of the panel antennas.

The maximum exposure level on the building roof-top was assessed to be 5,1 % of Safety Code 6 limits for the uncontrolled environment. This was on the southwest side of the roof-top underneath the cellular base station panel antennas. The maximum exposure level on the building adjacent to the base station was assessed to be 0,51 % of Safety Code 6 limits for the uncontrolled environment. This was on the roof-top car park.

Results are presented for this case study using both the best estimate and upper 95 % CI assessment schemes. The exposure levels reported using the upper 95 % CI assessment scheme i.e. including the measurement equipment expanded uncertainty in the reported level. The exposure levels reported using the best estimate assessment scheme state the actual level evaluated and the uncertainty factor for the measurement equipment.

This case study illustrates:

- evaluation of RF field strength from cellular base station antennas which are mounted on the roof-top of an office building and are accessible to maintenance workers;
- evaluation of RF field strength from cellular base stations which are located near an apartment building, residential and commercial areas;
- full compliance assessment of the site is achieved even if accessibility to certain locations was not possible;

- the results of two spatial averaging schemes are compared.

Figure P.2 (b) shows the roof-top installation from a position across the street; while Figure P.2 (a) shows the surveyor and base station antennas in situ. The building is located in Montreal.



Figure P.2 – Roof-top case study (a) with nearby apartment buildings (b)

P.4 Roof-top/tower case study in residential area

The purpose of this case study was to verify RF exposure compliance in a residential and commercial area surrounding a building with a roof-top cellular base station and satellite broadcast radio repeater. The antenna structure is mounted on the second level roof-top of an office building. The equipment under test (EUT) was categorised as a complex RBS as there are multiple antenna systems at the site under evaluation.

This assessment compared the results of the evaluations against limits set forth in Health Canada's Safety Code 6 guidelines. This compliance assessment was performed by Industry Canada as part of their regulatory auditing program of radio communication and broadcasting sites. The evaluations consisted of computational modelling to determine the RF exposure compliance boundaries around the antennas, and frequency-selective field strength measurements to determine the RF exposure levels in the surrounding residential and commercial areas. The accessible areas of the roof-top were also measured.

The RF exposure compliance boundary (uncontrolled environment) was assessed to be 4 m directly in front of the cellular panel antennas, and 2 m directly in front of the satellite broadcast repeater antenna.

The maximum exposure level on the building roof-top was assessed to be 23,92 % of Safety Code 6 limits for the uncontrolled environment which was located a few meters in front of the satellite broadcasting repeater. This location is not accessible to the general public. The maximum exposure level in the residential and commercial areas around the building was assessed to be 0,044 % of Safety Code 6 limits for the uncontrolled environment.

Results are presented for this case study using both the best estimate and upper 95 % CI assessment schemes. The exposure levels reported using the upper 95 % CI assessment scheme include the measurement equipment expanded uncertainty in the reported level. The exposure levels reported using the best estimate assessment scheme state the actual level assessed and the uncertainty factor for the measurement equipment.

This case study illustrates:

- evaluation of RF field strength from cellular base station antennas and satellite broadcast radio repeater which are mounted on multi-storey building, which houses a centre for continuing education;
- evaluation of RF field strength from cellular base station signals in a residential area;
- the comparison of the results of two (2) spatial averaging schemes.

Figure P.3 shows the building in Montreal, which is subject of the evaluation; Figure P.3 (b) is wide view of the environment surrounding the building, while a close-up of the structure and antennas is shown in Figure P.3 (a).



(a) IEC 1087/11



(b) IEC 1088/11

Figure P.3 – Roof-top/tower case study (a) in residential area (b)

P.5 Roof-top case study with direct access to antennas

The purpose of this case study was to determine the RF exposure compliance and control boundaries around an operational roof-top macro base station. It demonstrates the validity of both measurement and computation evaluation methods for this base station situation.

The compliance boundary assessment determined the area around the base station antennas where the exposure limits are not exceeded, and the control boundary assessment confirmed the location of the physical access controls such as barriers and warning signs. The evaluation included on-site spatially-averaged field strength measurement at the control boundary and a desktop computation to determine the compliance boundary. The maximum values were compared against the ICNIRP international safety guidelines.

An initial visual inspection at the site showed the potential for a significant RF field contribution from other RF sources. A wide frequency sweep established that the ambient contribution would not be significant and hence only the RF fields from the RBS under evaluation needed to be considered. Prior to the on-site field strength measurements, an initial estimate of the control boundary distance was calculated to be 13,2 m from the antennas for the general public limit and 3,2 m for the occupational exposure limit.

Spatially-averaged field strength measurements were then performed on the roof-top at the selected control boundary distances of 13,2 m and 3,2 m from the antennas. The measurements demonstrated the actual field strength levels were well below the occupational and general public limits allowing for the maximum operating power. This verifies that conservative control boundaries have been selected.

A separate desktop evaluation using a commercial computation tool with ray tracing determined that the distance from the antenna to general public compliance boundary was less than 10 m, and less than 1 m to the occupational compliance boundary, along the maximum exposure radial under maximum operating power.

Full uncertainty analyses were performed for both evaluation methods indicating high confidence that actual exposure would be less than the ICNIRP limits at the specified control boundary distances. The best estimate assessment scheme was used for both the desktop evaluation and field strength measurement.

This case study illustrates:

- evaluation of RF field strength from cellular base station antennas with direct access to the antennas;
- comparison of computational evaluation and on-site measurement;
- identification of compliance boundaries on the roof-top.

Figure P.4 shows the evaluation site, in Cape Town. It is an example of a roof-top site with direct access to the antennas, which in this example are flush mounted on building's exterior.



IEC 1089/11

Figure P.4 – Roof-top case study with direct access to antennas

P.6 Roof-top case study with large antennas and no direct access

The purpose of this case study is to evaluate the RF exposure levels in accessible areas on a building roof-top in Tokyo.

The equipment under test (EUT) was categorised as a complex RBS due to the multiple frequency bands and technologies supported.

The evaluation involved frequency-selective measurements of the radio base station control channels and extrapolation for maximum operating power. The maximum values were compared against the ICNIRP guidelines [30].

The assessment showed that the total exposure level from the mobile base station antennas in accessible areas of the building roof-top was lower than the specified limits at maximum traffic, as well as at the available maximum transmitting power.

This evaluation was performed using a target uncertainty assessment scheme. If the target uncertainty is met, then the measured value is compared directly with the limit. If the target uncertainty is not met, then the comparator is the measured value increased to the upper 95 % confidence level. In this case study the target uncertainty was met.

This case study illustrates:

- RF exposure levels in accessible areas of a building roof-top from a complex base station;
- an assessment using a target uncertainty scheme;
- comparison of computational evaluation and on-site measurements;
- frequency-selective spatially-averaged measurements;
- evaluation of nearby radio and broadcast signal levels.

Figure P.5 shows the roof-top in Isehara City, Japan used for this case study.



IEC 1090/11

Figure P.5 – Roof-top case study with large antennas and no direct access

P.7 Circular cylindrical compliance boundary determination case study with large antennas and no direct access

The purpose of this survey was to determine a radio frequency (RF) exposure compliance boundary (occupational and general public) for a specific combined Long Term Evolution (LTE) and GSM site in Stockholm.

The compliance boundaries were evaluated against the international safety guidelines known as the ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) guidelines. The assessment was made in terms of the Specific Absorption Rate (SAR) for adult RF exposure using formulae for SAR estimation. The compliance boundary

- for occupational exposure using the cylinder SAR model was assessed to be 0,5 m in diameter and 1,4 m height in front of the antenna;
- for general public exposure using the cylinder SAR model was assessed to be 1,7 m in diameter and 1,5 m height in front of the antenna.

Results are presented for this case study using the upper 95 % CI assessment scheme. The SAR exposure level is reported and the uncertainty value stated.

This case study illustrates:

- a compliance boundary assessment for a combined GSM and LTE base station;
- a compliance boundary assessment using a SAR model.

Figure P.6 shows a radio base station antenna on a roof-top in Stockholm which was the subject of this evaluation involving GSM and LTE systems.

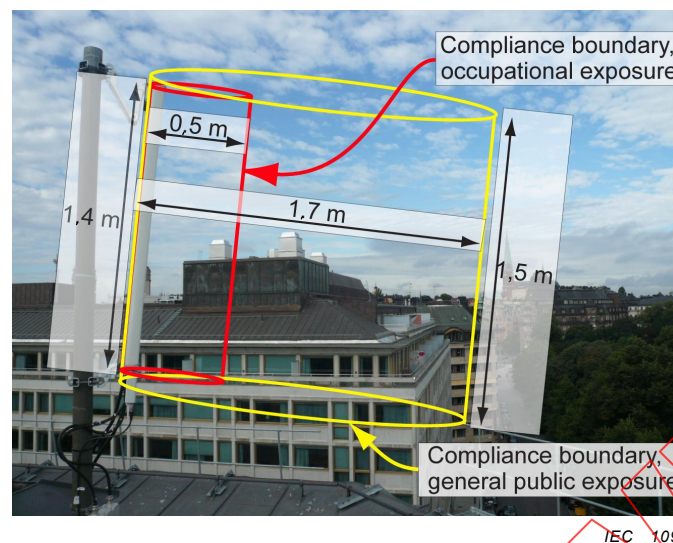


Figure P.6 – Cylindrical compliance boundary determination for dual band antenna on building

P.8 Tower case study in parkland

The purpose of the survey was to determine observed field strength values along footpaths and on a sports field adjacent to a base station site at a church green in Essex UK. This case study evaluates the RF exposure levels in a playing field in close proximity to a radio tower with broadcast and cellular base station radio services.

The maximum values would then be compared against international safety guidelines known as ICNIRP (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection) guidelines.

The equipment under test (EUT) was categorised as a complex RBS due to the multiple frequency bands and technologies supported.

Unknown transmitters on site meant that the assessment was performed by on-site measurement. All values recorded were well below ICNIRP general public reference levels. The maximum values recorded corresponded to 0,295 % of the ICNIRP reference level.

This evaluation was performed using the best estimate assessment scheme where the measured levels are reported and uncertainty stated.

This case study illustrates:

- RF exposure levels on a playing field in close proximity to a radio tower;
- an RF exposure assessment where site configuration details for some of the radio services are unknown.

The location for the evaluation site was Essex, in the United Kingdom. The structure and antennas are shown in Figure P.7 (a) and the evaluation location, which included a sporting field, in Figure P.7 (b).



(a) IEC 1092/11



(b) IEC 1093/11

Figure P.7 – Tower case study (a) in parkland (b)

P.9 Multiple towers case study at sports venue

The purpose of this case study was to determine the maximum field strength contribution from a new cellular base station to give reassurance of the low levels where the public have regular access. This base station is one of several located on lighting towers around a sports ground.

The equipment under test (EUT) was categorised as a complex RBS. Ambient fields, including those from the other RBS operating at the sports ground, were not the subject of this particular investigation. Only the dominant sector pointing into the sports ground was considered. The evaluation involved determining the location on the sports ground with the maximum exposure ratio from the RBS under evaluation. This was determined first using a conservative desktop computation and then verified by on-site frequency-selective field strength measurements. The results were assessed against the General Public reference levels defined in Australian Radiation Protection Standard (based on the ICNIRP Guidelines).

The modelled maximum cumulative RF field strength from the RBS was 0,5 % of the general public exposure limit. The measured maximum cumulative RF field strength levels from the RBS were 0,04 % of the general public exposure limit. The measurement result verifies the conservative outcome of the desktop modelling.

The frequency-selective measurements were performed using a hand held measuring instrument with integrated isotropic probe. Separate measurements were made of control channels and across the operating band for each of the technologies supported by the RBS. Measurements were performed at the computed max field strength location. Additional measurements were made at locations around the predicted location of the maximum field strength in order to confirm the validity of the computation. The maximum and time-averaged field strengths were measured at three heights above the ground where the power output is known.

The “best estimate” assessment scheme has been applied and the calculated and measured levels reported, including the extrapolation for maximum base station power configuration. This case study illustrates:

- RF exposure levels on a sports ground from base station antennas on a light tower;
- a comparison of measured and calculated RF exposure.

The subject of this evaluation is shown in Figure P.8 (b), a sports ground / showground at Perth, Australia. The site consisted of multiple radio base stations located on separate lighting poles; see Figure P.8 (a).



Figure P.8 – Multiple towers case study (a) at sports venue (b)

P.10 In-building base station case study

This case study (see Figure P.9) considers the verification of RF exposure compliance in publically accessible areas for an indoor distributed antenna system. The system is comprised of distributed antennas mounted on the ceiling of each floor of an occupied office building.

The equipments under test (EUT) are the individual radiating antennas on each floor in a low power distributed antenna system. There are no other radiating RF sources at the site under evaluation. This assessment was performed by the Electromagnetic Environment Lab of China Mobile Group Design Institute as part of their internal auditing program of mobile communication base stations. The results of the evaluations are compared against the reference limits of National Standard 8702-88 of the People's Republic of China (GB 8702-88).

This assessment was performed using computational evaluation and on-site broadband field strength measurement. The final results were based on the field strength measurement.

The maximum measured RF field strength, found on floor 14, was $13,83 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ and the expanded uncertainty was determined to be 2,26 dB. The “best estimate” assessment scheme was then applied to compare the measured RF field strength directly with the reference limit. This demonstrated that the RF field strength is considerably less than the relevant reference limits. The distributed antenna system installed in this building is therefore in compliance with National standard 8702-88 of the People's Republic of China (GB 8702-88).

This case study illustrates:

- RF exposure levels inside an office building in close proximity to small antennas which are part of a distributed antenna system;
- a comparison of field strength measurements and computational assessment.

The subject of the evaluation was a distributed antenna system installed in a Beijing office. Figure P.9 presents a wide view of the antenna *in situ* and the inset shows a close up of an in-building antenna.



IEC 1096/11

Figure P.9 – Office building in building coverage case study

Bibliography

- [1] ITU-R Recommendation F.592-4:2007, *Vocabulary of terms for the fixed service*
- [2] National Physical Laboratory (NPL), *A Guide to power flux density and field strength measurement*, Institute of Measurement and Control, 2004, ISBN 0 904457 39 7
- [3] CICCHETTI, R., FARAONE, A., and BALZANO, Q. A Uniform Asymptotic Evaluation of the Field Radiated from Collinear Array Antennas. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Jan. 2003, Vol. 51, No. 1, pp. 89-102
- [4] CICCHETTI, R., and FARAONE, A. Estimation of the Peak Power Density in the Vicinity of Cellular and Radio Base Station Antennas. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, May 2004, Vol. 46, No. 2, pp. 275-290
- [5] SAROLIC, A. Base station antenna near field radiation pattern distortion analysis. *Electrical Engineering and Electromagnetics*, WIT Press, Southampton, 2003, pp. 81-90
- [6] OLIVIER, C. and MARTENS, L. "A more accurate method to define exclusion zones", in *Proc. The wireless Conf.(RAWCON) 2000*, 2000, pp.107-110
- [7] ALTMAN, Z., BEGASSE, B., DALE, C., KARWOWSKI, A., WIART, J., WONG, M. and GATTOUFI, L. Efficient models for base station antennas for human exposure assessment. *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, Nov 2002, vol.44, pp. 588-592
- [8] FARAONE, A., TAY, R., JOYNER, K., and BALZANO, Q. Estimation of the Average Power Density in the Vicinity of Cellular Base Station Antennas. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, May 2000, Vol. 49, No. 3, pp. 984-996
- [9] MARTINEZ-BURDALO, M., NONIDEZ, L., MARIN, A. and VILLAR, A. On the calculation of safety distances for human exposure to electromagnetic fields from base-station antennas. *Microwave and optical technology letters*, September 2002, Vol.34, No.5
- [10] DAVIDSON, D. *Computational Electromagnetics for RF and Microwave Engineering*. Cambridge University Press, 2005
- [11] PETERSON, A. F., RAY, S. L. and MITTRA, R. *Computational Methods in Electromagnetics*. New York: IEEE Press, 1998.
- [12] JIN, J. *The Finite Element Method in Electromagnetics*, 2nd Edition, Wiley-IEEE Press, 2002
- [13] VOLAKIS, J., CHATTERJEE, A. and, KEMPEL, L. *Finite Element Method Electromagnetics: Antennas, Microwave Circuits, and Scattering Applications*. Wiley-IEEE Press, 1998
- [14] SILVESTER, P. P. and FERRARI, R. L. *Finite Elements for Electrical Engineers*. Cambridge: Cambridge University Press, 3rd ed., 1996
- [15] HARRINGTON, R. *Field Computation by Moment Methods*, Reprint edition, Wiley-IEEE Press, 1993
- [16] TAFLOVE, A. and HAGNESS, S. *Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method*, 3rd Edition, Artech House, 2005
- [17] YEE, K. S. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media. *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 14, pp. 302–307, May. 1966.

- [18] KUNZ, K. and LUEBBERS, R.: *The Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetics*, CRC, 1993
- [19] SADIKU, M.: *Numerical Techniques in Electromagnetics*. 2nd Edition, CRC, 2000
- [20] VAN WYK, M.J., BINGLE, M. and MEYER, F. Antennas Modelling Considerations for Accurate SAR Calculations in Human Phantoms in Close Proximity to GSM Cellular Base Station Antennas. *Bioelectromagnetics*, September 2005, Vol. 26, No. 6, page 502-509
- [21] IEEE Std 145-1993, *IEEE Standard Definition of Terms for Antennas*
- [22] IEC 62311, *Assessment of electronic and electrical equipment related to human exposure restrictions for electromagnetic fields (0 Hz – 300 GHz)*
- [23] EN 50492:2008, *Basic standard for the in-situ measurement of electromagnetic field strength related to human exposure in the vicinity of base stations*
- [24] CAPPS, C. *Near field or far field?*, www.ednmag.com, August 16 2001
- [25] THORS, B., STRYDOM, M., HANSSON, B., MEYER, F., KÄRKKÄINEN, K., ZOLLMAN, P., ILVONEN, S., TÖRNEVIK, C. On the estimation of SAR and compliance distance to RF exposure from mobile communication base station antennas. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, November 2008, Vol 50, Issue 4
- [26] BANSAL, R. The Far-Field: How Far is Far Enough?. *Applied Microwave & Wireless*, November 1999
- [27] BALANIS, C. A. *Antenna Theory*. Wiley & Sons, 1997
- [28] TRZASKA, H. *Electromagnetic Field Measurements in the Near Field*. Noble publishing corporation, 2001
- [29] LAYBROS, S., COMBES, P. F. and MAMETSA H. The “Very-Near-Field” Region of Equiphas Radiating Apertures. *IEEE Antennas and Propagation* magazine, August 2005, Vol. 47, No. 4
- [30] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys* 74: 494-522.2 1998
- [31] IEEE Std. C95.1: 2005, *IEEE Standard for Safety levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz*
- [32] Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency: *Radiation protection standard: Maximum exposure levels to radiofrequency fields – 3 kHz to 300 GHz*. ARPANSA Radiation Protection Series No 3, 2002
- [33] Health Canada: *Limits of Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Energy in the Frequency Range from 3 kHz to 300 GHz - Safety Code 6*. www.hc-sc.gc.ca
- [34] LARCHÊVEQUE, E., DALE, C., WONG, M. and WIART, J. Analysis of Electric Field Averaging for In Situ Radiofrequency Exposure Assessment. *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 54, no. 4, JULY 2005
- [35] WANG, J.: *Generalized Moment Methods in Electromagnetics: Formulation and Computer Solution of Integral Equations*. Wiley-Interscience, 1991

- [36] IEEE C95.3:2002, *IEEE Recommended Practice for Measurements and Computations of Radio Frequency Electromagnetic Fields With Respect to Human Exposure to Such Fields, 100 kHz–300 GHz*
- [37] KUCIA, H. Accuracy Limitation in Measurements of HF Field Intensities for Protection Against Radiation Hazards. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurements*, November 1972, vol. IM-21, NO. 4
- [38] ISKRA, S. and MACFARLANE, I.P. H-field sensor measurement errors in the near-field of a magnetic dipole source. *IEEE Trans. On Electromagnetic Compatibility*, August 1989, Volume 31, Issue 3, Page(s):306 – 311
- [39] BENTLEY, R. E. *National Measurement Institute (NMI) Monograph 1 – Uncertainty in Measurement: the ISO Guide, Eighth Edition*
- [40] National Association of Testing Authorities (NATA): *Assessment of Uncertainties of Measurement for calibration and testing laboratories*, by R. R. Cook, Second Edition 2002
- [41] United Kingdom Accreditation Service (UKAS): *Publication LAB12 – The Expression of Uncertainty in Testing*, Edition 1, 2001.
- [42] National Physical Laboratory (NPL): *Measurement Good Practice Guide No. 36 – Estimating Uncertainties in Testing*, 2003
- [43] National Physical Laboratory (NPL): *Measurement Good Practice Guide No. 11 – A Beginners Guide to Uncertainty of Measurement*
- [44] CISPR 16-4-1:2004, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 4-1: Uncertainties, statistics and limit modelling – Uncertainties in standardized EMC tests*
- [45] CISPR 16-4-2:2004, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 4-2: Uncertainties, statistics and limit modelling – Uncertainty in EMC measurements*
- [46] FCC/OET 65, Ed. 97-01: *Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields*
- [47] KRAUS, J. D. and MARHEFKA, R. J. *Antennas*. McGraw-Hill 2002
- [48] HAND, J. Modelling the interaction of electromagnetic fields (10 MHz–10 GHz) with the human body: methods and applications. *Phys. Med.Biol.* 53 (2008), R243-R286
- [49] THORS, B., HANSSON, B. and TÖRNEVIK, C. Generation of simple mobile communication base station antenna compliance boundaries using formulae for SAR estimation. *Phys. Med. Biol.* 54 (2009), 4243-4256
- [50] GOSSELIN, M. et.al. Hybrid SAR analysis of various human models in front of base station antennas in the frequency range from 300 MHz to 5000 MHz. *IEEE Transaction Electromagnetic Compatibility*, in review, 2011
- [51] TRINCHERO, D., GALARDINI, A., STEFANELLI, R., GIANOLA, P., SCOTTI, R., VALLAURI, R. *A Simplified and Conservative Method for Electromagnetic Field Assessment in the Fresnel Region of the Radiator*, 2009 European Conference on Antennas and Propagation, Berlin, 23-27 March 2009

- [52] TRINCHERO, D., GALARDINI, A., STEFANELLI, R., FIORELLI, B., GIANOLA, P., SCOTTI, R., VALLAURI, R. A Fraunhofer-based Approach for the Assessment of the Field Radiated in the Fresnel Region of an Antenna. *IEEE Antennas, Wireless and Propagation Letters*, Vol. 9, 2009
- [53] DU PLESSIS, F. *Near-field Computation and Uncertainty Estimation using Basic Cylindrical-Spherical Formulae* [online – cited 2011-02-18] Available on Internet: http://www.emssixus.com/download/Near_Field_Computation_using_Basic_Cylindrical_and_Spherical_Formulae_EMSS.pdf
- [54] IEC 62669, *Case studies supporting IEC 62232 - Determination of RF field strength and SAR in the vicinity of radiocommunication base stations for the purpose of evaluating human exposure*⁴⁾
- [55] IEC 62630:2010, *Guidance for evaluating exposure from multiple EM sources*
- [56] Virtual man phantom model, <http://www.virtualman.info>
- [57] UUSITUPA, T. "SAR uncertainty analysis for VF Male under base-station antenna exposure" <http://www.virtualman.info>
- [58] UUSITUPA, T. "SAR uncertainty analysis for VF Male under plane-wave exposure" <http://www.virtualman.info>
- [59] UUSITUPA, T., LAAKSO, I., ILVONEN, S. and NIKOSKINEN, K. SAR variation study from 300 to 5000 MHz for 15 voxel models including different postures. *Phys. Med. Biol.*, 55 (2010) 1157-1176
- [60] VERMEEREN, G., GOSSELIN, MC., KÜHN, S., KELLERMAN, V., HADJEM, A., GATI, A., JOSEPH, W., WIART, J., MEYER, F., KUSTER, N., MARTENS, L. The influence of the reflective environment on the absorption of a human male exposed to representative base station antennas from 300 MHz to 5 GHz. *Phys. Med. Biol.*, 55 (2010) 5541-55.
- [61] BAKKER, J.F., PAULIDES, M.M., CHRIST, A., KUSTER, N. and VAN RHOON, G.C. Assessment of induced SAR in children exposed to electromagnetic plane waves between 10 MHz and 5.6 GHz. *Phys. Med. Biol.*, 55 (2010) 3115–3130
- [62] ETSI TR 102 457 V1.1.1 (2006-08), *Transmission and Multiplexing (TM); Study on the electromagnetic radiated field in fixed radio systems for environmental issues*
- [63] RYSER, Heinrich, MÜHLEMANN, Beat. *Nichtionisierende Strahlung, Vergleichsmessungen mit UMTS Codeleistungs-Messgeräten*. METAS Bericht 2005-255-575, Bern-Wabern, 10 November 2005, [cited 2011-02-17] Available on Internet: <http://www.metas.ch/de/publication/publi2.html#bericht>
- [64] "Procédure de qualification des décodeurs P-CPICH-V1", Agence Nationale des fréquences (ANFR). <http://www.anfr.fr>
- [65] NIST/SEMATECH: "e-Handbook of Statistical Methods" [cited 2011-02-17] Available on Internet: <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/> 23 October 2009
- [66] KIM, Byung Chan, CHOI, Hyung-Do and PARK, Seong-Ook. Methods of evaluating human exposure to electromagnetic fields radiated from operating base stations in Korea. *Bioelectromagnetics*, 2008, vol. 9, no. 7, pp 579-582

⁴⁾ To be published.

- [67] IEC 60050-531:1974, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 531: Electronic tubes*
- [68] IEC 60050-712:1992, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 712: Antennas*
- [69] IEC 60050-705:1995, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 705: Radio wave propagation*
- [70] IEC 60050-121:1998, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 121: Electromagnetism*
- [71] IEC 60050-394:2007, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 394: Nuclear instrumentation – Instruments, systems, equipment and detectors*
- [72] KÜHN, S. et al. *MMF/GSMA Phase 2: Scientific Basis for Base Station Exposure Compliance Standards*, [cited 2011-02-17]
Available on Internet: <http://www.itis.ethz.ch/news-events/news/it-is-papers/2009/mmfgsma-commissioned-study-scientific-basis-for-base-station-exposure-compliance-standards/>
- [73] HANSSON, B., THORS, B. and TÖRNEVIK, C. Analysis of the effect of loading on localized SAR for base station antennas and its consequences for localized SAR measurements. submitted to *Bioelectromagnetics*.
- [74] Body weight data from the U.S. National Center for Health statistics.
<http://www.cdc.gov/nchs/about/major/nhanes/growthcharts/charts.htm>
- [75] FRIDEN, J., ISAKSSON, H., HANSSON, B. and THORS, B. Robust phase-retrieval for quick whole-body SAR assessment using dual plane amplitude-only data. *Electronics Letters*, 2009, vol. 45, No. 23
- [76] GOSSELIN, Marie-Christine, CHRIST, Andreas, KÜHN, Sven and KUSTER, Niels. Dependence of the Occupational Exposure to Mobile Phone Base Stations on the Properties of the Antenna and the Human Body. *IEEE Transactions Electromagnetic Compatibility*, Vol. 51, no. 2, May 2009
- [77] IEC 62479:2010, *Assessment of the compliance of low-power electronic and electrical equipment with the basic restrictions related to human exposure to electromagnetic fields (10 MHz to 300 GHz)*
- [78] ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	186
INTRODUCTION.....	188
1 Domaine d'application	189
2 Références normatives	190
3 Termes et définitions	190
4 Symboles et abréviations.....	196
4.1 Grandeurs physiques	196
4.2 Constantes	196
4.3 Abréviations	197
5 Elaboration du plan d'évaluation	198
5.1 Présentation générale	198
5.2 Principales tâches	198
6 Méthodes d'évaluation.....	200
6.1 Vue d'ensemble.....	200
6.2 Méthodes de mesure	201
6.2.1 Aperçu général des méthodes de mesure	201
6.2.2 Mesure de champs de radiofréquences	202
6.2.3 Méthode de mesure du DAS	213
6.3 Méthodes de calcul	217
6.3.1 Présentation et exigences générales	217
6.3.2 Méthodes de calculs de base.....	220
6.3.3 Méthodes de calculs avancés	224
6.4 Extrapolation des valeurs de DAS/intensité de champs RF évaluées aux conditions d'évaluation exigées	234
6.4.1 Méthode d'extrapolation	234
6.4.2 Extrapolation à une intensité maximale du champ de radiofréquences utilisant des mesures à large bande	235
6.4.3 Extrapolation à une intensité maximale du champ de radiofréquences pour des mesures sélectives en code et en fréquence	236
6.5 Sommation de champs de radiofréquences multiples.....	236
6.5.1 Applicabilité.....	236
6.5.2 Champs non corrélés.....	237
6.5.3 Champs corrélés	237
6.5.4 Champs ambiants	237
7 Incertitude	238
7.1 Contexte	238
7.2 Exigences de calcul de l'incertitude	238
7.3 Méthode de calcul de l'incertitude	238
7.4 Limites de l'incertitude des grandeurs d'influence de l'appareillage de mesure	239
7.5 Application de l'incertitude pour des évaluations de la conformité.....	239
8 Rapport	240
8.1 Contexte	240
8.2 Rapport d'évaluation	240
8.2.1 Généralités.....	240
8.2.2 Fiche technique de mesure.....	240

8.2.3	Fiche technique de calcul	240
8.2.4	Rapport final.....	241
8.3	Interprétation des résultats	242
8.3.1	Comparaison à la limite	242
8.3.2	Comparaison des résultats	242
8.3.3	Avis et interprétations	242
Annexe A (normative)	Elaboration du plan d'évaluation.....	243
Annexe B (normative)	Définition du plan source-environnement.....	253
Annexe C (informative)	Lignes directrices pour l'application de la norme à des fins d'évaluation spécifiques.....	262
Annexe D (normative)	Paramètres d'évaluation.....	269
Annexe E (normative)	Exigences relatives à l'appareillage de mesure de l'intensité des champs de radiofréquences	274
Annexe F (informative)	Application des calculs de base.....	276
Annexe G (normative)	Application de calculs avancés	285
Annexe H (normative)	Validation des méthodes de calcul	290
Annexe I (informative)	Lignes directrices relatives aux procédures de moyennage spatial.....	301
Annexe J (informative)	Recommandations pour la prise en compte des variations temporelles des signaux dans les mesures	304
Annexe K (informative)	Lignes directrices pour la détermination des niveaux de champs ambiants.....	305
Annexe L (informative)	Lignes directrices pour la comparaison de paramètres évalués avec une valeur limite	310
Annexe M (informative)	Lignes directrices relatives aux schémas d'évaluation.....	313
Annexe N (informative)	Lignes directrices relatives à des technologies spécifiques	324
Annexe O (informative)	Lignes directrices relatives à l'incertitude	351
Annexe P (informative)	Etudes de cas	368
Bibliographie.....		379
Figure 1	– Aperçu général des méthodes d'évaluation	200
Figure 2	– Aperçu général des méthodes de mesure des champs de radiofréquences	201
Figure 3	– Position de l'EUT par rapport au fantôme applicable	214
Figure 4	– Aperçu général des méthodes de calcul	218
Figure 5	– Réflexion due à la présence d'un plan de masse	221
Figure 6	– Cylindre inscrit autour de réseaux colinéaires avec et sans angle d'inclinaison électrique vers le bas.....	222
Figure 7	– Directions utilisées dans les expressions d'estimation du DAS.....	223
Figure 8	– Géométrie et paramètres du lancer de rayons (modèle synthétique)	226
Figure B.1	– Concept de plan source-environnement	253
Figure B.2	– Géométrie d'une antenne ayant la dimension linéaire la plus grande (L_{eff}) et la dimension la plus grande aux extrémités (L_{end}).....	254
Figure B.3	– Différence de trajet maximale pour une antenne ayant la plus grande dimension linéaire L	259
Figure B.4	– Exemple de régions d'un plan source-environnement à proximité d'une antenne de toit ayant une largeur de faisceau vertical étroite (vue en élévation non à l'échelle).....	261

Figure C.1 – Exemple de frontière de conformité complexe.....	263
Figure C.2 – Exemple de frontières de conformité cylindrique circulaire: (a) antenne sectorielle, (b) antenne omnidirectionnelle à polarisation horizontale	263
Figure C.3 – Exemple d'une frontière de conformité parallélépipédique	264
Figure C.4 – Exemple illustrant la procédure d'extrapolation linéaire.....	265
Figure C.5 – Exemple de processus d'étude	268
Figure D.1 – Coordonnées cylindriques, cartésiennes et sphériques relatives à l'antenne de la RBS	269
Figure F.1 – Cadre de référence utilisé pour les formules cylindriques de calcul d'intensité de champ en un point P (à gauche) et sur une ligne perpendiculaire à l'axe de visée (à droite).....	276
Figure F.2 – Vue bi (a) et tri-dimensionnelle (b) illustrant les trois zones valables pour le calcul de l'intensité de champ autour d'une antenne	278
Figure F.3 – Géométrie d'un conducteur d'ondes de fuite.....	283
Figure H.1 – Résultats de référence pour des formules cylindriques	290
Figure H.2 – Résultats de référence pour des équations sphériques	291
Figure H.3 – Positions de l'axe 4 en champ lointain pour l'exemple de validation du lancer de rayons	293
Figure H.4 – Paramètres d'antenne pour l'exemple de validation de l'algorithme de lancer de rayons	294
Figure H.5 – Antenne 900 MHz de RBS générique à neuf radiateurs dipôles	296
Figure H.6 – Positions des axes 1, 2 et 3 en champ proche pour la validation de l'onde complète et du lancer de rayons	296
Figure H.7 – Antenne 1 800 MHz de RBS générique à cinq radiateurs à fentes	298
Figure H.8 – Antenne de RBS placée en face d'un cylindre multicouches avec pertes	299
Figure I.1 – Procédures de moyennage spatial au niveau d'appuis pour les pieds.....	302
Figure I.2 – Moyennage spatial relatif à une hauteur de champ d'intensité maximale	303
Figure K.1 – Emplacements d'évaluation	307
Figure K.2 – Rapport de la séparation de la source radioélectrique distante et de la zone d'évaluation à la séparation des points d'évaluation entre eux.....	308
Figure M.1 – Présentation générale du schéma de l'incertitude cible	316
Figure M.2 – Evaluation de la conformité à la limite	318
Figure M.3 – Evaluation avec confiance d'un dépassement de la limite	319
Figure N.1 – Occupation spectrale pour une modulation GMSK	330
Figure N.2 – Occupation spectrale pour une modulation AMRC	331
Figure N.3 – Attribution des canaux pour un signal AMRC à bande élargie	335
Figure N.4 – Exemple de trames WiFi.....	338
Figure N.5 – Occupation du canal en fonction du temps d'intégration pour la norme 802.11b	338
Figure N.6 – Occupation du canal en fonction du taux de débit nominal pour la norme 802.11b/g	339
Figure N.7 – Capture d'écran d'une trace de spectre WiFi.....	340
Figure N.8 – Vue en plan représentant un modèle statistique conservateur	342
Figure N.9 – Fonction de probabilité cumulative binomiale pour $N = 24$, $PR = 0,125$	349
Figure N.10 – Fonction de probabilité cumulative binomiale pour $N = 18$, $PR = 2/7$	350

Figure O.1 – Probabilité qu'une valeur vraie soit supérieure (respectivement inférieure) aux valeurs évaluées en fonction du niveau de confiance supposant que l'incertitude obéit à une loi normale	354
Figure O.2 – Tracé des facteurs d'étalonnage pour E (non E^2) tiré d'un exemple de rapport d'étalonnage d'une sonde de champ électrique	356
Figure O.3 – Modélisation informatique utilisée pour l'analyse des variations de champs RF réfléchis par l'avant d'un vérificateur	363
Figure P.1 – Etude d'un cas de microcellule.....	369
Figure P.2 – Etude de cas en toiture (a) avec immeubles d'appartements voisins (b).....	370
Figure P.3 – Etude de cas en toiture/sur pylône (a) dans une zone résidentielle (b).....	371
Figure P.4 – Etude de cas en toiture avec accès direct aux antennes	373
Figure P.5 – Etude de cas en toiture avec de grandes antennes et sans accès direct.....	374
Figure P.6 – Détermination de la frontière de conformité cylindrique pour une antenne bibande sur un immeuble	375
Figure P.7 – Etude de cas sur pylône (a) dans un espace vert (b)	376
Figure P.8 – Etude de cas de plusieurs pylônes (a) dans un centre sportif (b)	377
Figure P.9 – Etude de cas d'une station de base installée dans un immeuble de bureaux	378
Tableau 1 – Liste de contrôle du plan d'évaluation.....	199
Tableau 2 – Exemple de modèle d'estimation de l'incertitude élargie pour une mesure de l'intensité des champs de radiofréquences au moyen d'un instrument de mesure sélective à bande étroite	210
Tableau 3 – Exemple de modèle de calcul de l'incertitude pour une mesure de l'intensité des champs de radiofréquences au moyen d'un instrument à large bande.....	212
Tableau 4 – Applicabilité des méthodes de calcul, pour les régions source-environnement de la Figure B.1	219
Tableau 5 – Applicabilité des formules d'estimation du DAS	223
Tableau 6 – Exemple de modèle d'estimation de l'incertitude élargie d'un calcul d'intensité de champs de radiofréquences par lancer de rayons.....	228
Tableau 7 – Exemple de modèle d'estimation de l'incertitude élargie pour un calcul de l'intensité des champs de radiofréquences utilisant la technique d'analyse par onde complète.....	231
Tableau 8 – Exemple de modèle d'estimation de l'incertitude élargie de calcul par onde complète du DAS	233
Tableau A.1 – Validité du mesurande pour des points d'évaluation dans chaque région-source	245
Tableau A.2 – Lignes directrices pour le choix de l'approche par calcul et de l'approche par mesure	246
Tableau A.3 – Choix de mesures sur site ou en laboratoire en fonction de l'objectif d'évaluation et de la catégorie de RBS	247
Tableau A.4 – Lignes directrices pour le choix entre mesures à large bande et mesures sélectives en fréquence	248
Tableau A.5 – Lignes directrices pour le choix des procédures de mesure d'intensité de champs de radiofréquences	249
Tableau A.6 – Lignes directrices pour le choix de méthodes de calcul	250
Tableau A.7 – Recommandations de classement de méthodes d'évaluation spécifiques	252
Tableau B.1 – Définition des régions-sources	255
Tableau B.2 – Frontières des régions-sources par défaut	255

Tableau B.3 – Frontières des régions-sources pour des antennes de dimension maximale inférieure à $2,5 \lambda$	256
Tableau B.4 – Frontières des régions-sources pour des réseaux d'antennes linéaires / planaires d'une dimension maximale supérieure ou égale à $2,5 \lambda$	256
Tableau B.5 – Frontières des régions-sources pour des antennes à ouverture de rayonnement équiphase (par exemple des antennes paraboliques) dont la dimension maximale des réflecteurs est bien plus grande qu'une longueur d'onde	257
Tableau B.6 – Frontières des régions-sources pour des conducteurs d'ondes de fuite	257
Tableau B.7 – Distance de champ lointain r (m) en fonction d'un angle β	259
Tableau D.1 – Variables dimensionnelles	270
Tableau D.2 – Variables de puissance RF	270
Tableau D.3 – Variables d'antenne	272
Tableau D.4 – Variables de mesurandes	273
Tableau E.1 – Exigences relatives au système de mesure à large bande	274
Tableau E.2 – Exigences applicables au système de mesure sélective en fréquence	275
Tableau F.1 – Définition de frontières pour le choix de la zone de calcul	278
Tableau F.2 – Définition de $C(f)$	281
Tableau H.1 – Paramètres d'entrée pour la validation des formules cylindriques et sphériques	290
Tableau H.2 – Paramètres d'entrée pour la validation des formules d'estimation du DAS	291
Tableau H.3 – Résultats de référence des formules d'estimation du DAS_{10g} et du DAS_{wb} des paramètres du Tableau H.2	292
Tableau H.4 – Résultats de référence de la densité de puissance du lancer de rayons	295
Tableau H.5 – Validation 1 – Résultats de référence de l'évaluation de champ par onde complète	297
Tableau H.6 – Validation 2 – résultats de référence de l'évaluation de champs par onde complète	298
Tableau H.7 – Résultats du DAS de référence pour la validation de la méthode de calcul	300
Tableau M.1 – Exemples de schémas d'évaluation génériques	315
Tableau M.2 – Détermination de l'incertitude cible	317
Tableau M.3 – Simulation de Monte Carlo avec 10 000 essais – le vérificateur et l'auditeur utilisant la "meilleure estimation"	321
Tableau M.4 – Simulation de Monte Carlo avec 10 000 essais – le vérificateur et l'auditeur utilisant une incertitude cible de 4 dB	322
Tableau M.5 – Simulation de Monte Carlo avec 10 000 essais – le vérificateur utilise un IC supérieur à 95 % tandis que l'auditeur utilise un IC inférieur à 95 %	322
Tableau N.1 – Informations spécifiques à la technologie	325
Tableau N.2 – Exemple de réglages d'analyseur de spectre pour une intégration par service	333
Tableau N.3 – Exemple de composantes de puissance constante pour des technologies spécifiques	333
Tableau N.4 – Exigences applicables au décodeur AMRC	335
Tableau N.5 – Configuration des signaux	336
Tableau N.6 – Réglage de la linéarité de puissance du générateur AMRC	336

Tableau N.7 – Réglage du générateur AMRC à bande élargie pour l'étalonnage du décodeur	337
Tableau N.8 – Réglage du générateur AMRC pour la mesure du coefficient de réflexion.....	337
Tableau O.1 – Distances de séparation minimales recommandées pour certaines longueurs de dipôles choisies afin de s'assurer que l'incertitude ne dépasse pas 5 % ou 10 % pour une mesure de E	361
Tableau O.2 – Distances de séparation minimales recommandées pour certains diamètres de cadres choisis afin de s'assurer que l'incertitude ne dépasse pas 5 % ou 10 % pour une mesure de H	361
Tableau O.3 – Exemple de conditions de séparation minimales pour certaines longueurs de dipôle choisies avec une incertitude de 10 % dans E	362
Tableau O.4 – Estimations normalisées de la variation en dB des perturbations en face d'un vérificateur dues aux champs réfléchis par le corps comme décrit dans la Figure O.3 .	364
Tableau O.5 – Estimations de l'incertitude-type (u) pour des intensités de champs de radiofréquences E et H dues aux réflexions du corps du vérificateur pour des services de radiodiffusion ordinaires, dérivées des estimations du Tableau O.4	364

Withd
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 62232:2011

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DÉTERMINATION DES CHAMPS DE RADIOFRÉQUENCES ET DU DAS AUX ENVIRONS DES STATIONS DE BASE UTILISÉES POUR LES COMMUNICATIONS RADIO DANS LE BUT D'ÉVALUER L'EXPOSITION HUMAINE

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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, des Spécifications accessibles au public (PAS) 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 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 la CEI. La CEI 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 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 brevet. La CEI 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 CEI 62232 a été établie par le comité d'études 106 de la CEI: Méthodes d'évaluation des champs électriques, magnétiques et électromagnétiques en relation avec l'exposition humaine.

Cette publication contient des fichiers attachés sous la forme d'un CD-ROM pour la version papier et des fichiers intégrés pour la version électronique. Ces fichiers sont destinés à être utilisés à titre complémentaire et ne font pas partie intégrante de la norme.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
106/221/FDIS	106/228/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.

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 la date de stabilité indiquée sur le site web de la CEI 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 traite de l'évaluation des champs de radiofréquences ou des niveaux de débits d'absorption spécifiques (DAS) au voisinage de sources de communication en radiofréquences radioélectriques non diffusées, RBS (Radio base station - station de base radioélectrique), rayonnant intentionnellement dans la gamme de fréquences de 300 MHz à 6 GHz, conformément au domaine d'application (voir l'Article 1). Elle ne couvre pas l'évaluation de la densité de courant qui est bien souvent considérée non pertinente par les recommandations relatives à l'exposition lorsqu'il s'agit d'évaluer des champs RF dans la gamme de fréquences de fonctionnement prévue des RBS.

La présente norme définit la manière dont un vérificateur qualifié doit faire un choix entre les méthodes d'évaluation décrites afin de préparer les plans d'évaluation spécifiques ou génériques et comment il doit valider leur application. Lorsque la présente norme est utilisée pour établir la conformité d'une RBS, l'ensemble des conditions de limitation doit être défini. Celles-ci peuvent comprendre par exemple, les limites d'exposition des personnes aux champs de radiofréquences, la probabilité d'accès des personnes à un lieu spécifique, les règles décisionnelles spécifiques pour l'interprétation de l'incertitude. La présente norme ne définit pas ces limites ou les exigences correspondantes pour un programme de sécurité donné. Par ailleurs, la présente norme reconnaît que des régulateurs nationaux (ou le client ayant demandé l'essai) peuvent établir des règles (appelées "schémas d'évaluation") quant à la manière d'interpréter l'incertitude pour établir la conformité. Cependant, la présente norme fournit des recommandations quant à la manière d'appliquer les méthodes d'évaluation décrites en adéquation avec lesdites règles. Des lignes directrices complémentaires peuvent être consultées dans le Rapport Technique CEI 62669 [54]¹⁾ qui comprend un ensemble d'études de cas réels donnant des exemples pratiques d'application de la présente norme.

Les Articles 2, 3 et 4 donnent respectivement les références normatives, les définitions et les abréviations.

L'Article 5 avec l'Annexe A, l'Annexe B et l'Annexe C, définissent la manière de choisir les méthodes d'évaluation à utiliser et la manière de planifier la tâche d'évaluation. La présente norme décrit différentes méthodes qui peuvent être incluses dans le plan d'évaluation et définit un classement à appliquer en cas de litige et en l'occurrence l'évaluation ayant le rang le plus élevé prévaut. Les évaluations de moindre rang sont bien entendu valables dans le cadre de leur applicabilité et peuvent être plus pratiques à mettre en œuvre.

L'Article 6 décrit les méthodes d'évaluation permettant de déterminer une valeur de mesurande (DAS ou champs de radiofréquences) en un point spécifié. Il s'agit à la fois de méthodes de mesure en laboratoire et sur site pour le DAS et le champ E ainsi que de méthodes de calcul pour le DAS, le champ S, le champ E et le champ H. L'Annexe C décrit la manière dont les méthodes d'évaluation peuvent être utilisées à des fins spécifiques. L'Annexe F et l'Annexe G fournissent des informations sur l'utilisation pratique des méthodes de calcul et l'Annexe H ainsi que les feuilles de calcul jointes en référence, fournissent des informations de validation des calculs.

L'Article 7 et l'Annexe O traitent de l'évaluation de l'incertitude des résultats ou de leur conformité à un niveau de confiance spécifié. L'Annexe L et l'Annexe M décrivent la manière de traiter l'incertitude lorsqu'il s'agit de déterminer la conformité à des valeurs limites conformes aux exigences des autorités nationales de réglementation.

L'Article 8 décrit les exigences relatives aux rapports d'évaluation.

Il est également fait référence à d'autres annexes et données bibliographiques qui donnent des clarifications ou des recommandations utiles.

1) Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

DÉTERMINATION DES CHAMPS DE RADIOFRÉQUENCES ET DU DAS AUX ENVIRONS DES STATIONS DE BASE UTILISÉES POUR LES COMMUNICATIONS RADIO DANS LE BUT D'ÉVALUER L'EXPOSITION HUMAINE

1 Domaine d'application

La présente Norme Internationale donne des méthodes de détermination des champs de fréquences radioélectriques (RF) et du débit d'absorption spécifique (DAS) au voisinage des stations de base de radiocommunication (RBS - radiocommunication base station) dans le but d'évaluer l'exposition humaine.

La présente norme:

- a) examine des RBS qui transmettent sur une ou plusieurs antennes dans la gamme des fréquences de 300 MHz à 6 GHz;
- b) décrit plusieurs méthodologies de mesure et de calcul de champs RF et de DAS avec des recommandations quant à leur applicabilité pour couvrir tant l'évaluation sur site des RBS installées que les évaluations en laboratoire;
- c) décrit la manière dont un vérificateur ayant des compétences suffisantes doit établir ses procédures d'évaluation propres convenant à ses objectifs d'évaluation;
- d) étudie les objectifs d'évaluation et notamment:
 - 1) la conformité du produit: de manière à établir qu'une RBS est conforme à un ensemble défini de conditions limites compte tenu de son usage prévu;
 - 2) la frontière de conformité: de manière à établir la ou les frontières de conformité d'une RBS par rapport à un ensemble défini de conditions limites;
 - 3) de manière à évaluer les valeurs de champs de radiofréquences ou de DAS en un ou plusieurs lieux d'évaluation et notamment:
 - i) un ou plusieurs lieux d'évaluation choisis arbitrairement à l'extérieur de la frontière de contrôle afin de fournir des informations aux parties concernées;
 - ii) un ou plusieurs lieux d'évaluation à la frontière de contrôle afin de confirmer la validité de cette frontière;
 - iii) un ou plusieurs lieux d'évaluation à l'intérieur de la frontière de contrôle, en appliquant les conditions spécifiques permettant d'étudier un présumé incident de surexposition;
- e) fournit des recommandations quant à la manière de rendre compte, d'interpréter et de comparer les résultats obtenus à partir de différentes méthodologies d'évaluation et, lorsque l'objectif de l'évaluation l'exige, prendre une décision justifiée en vertu d'une valeur limite donnée;
- f) fournit des recommandations et des informations quant à la manière d'évaluer des niveaux d'intensité ambiante des champs de radiofréquences au voisinage d'une RBS, à partir de sources RF autres que la RBS évaluée et à des fréquences à l'intérieur et à l'extérieur de la gamme comprise entre 300 MHz à 6 GHz;
- g) fournit, à titre informatif, de brèves descriptions d'exemples d'études de cas afin d'aider le vérificateur dans le cadre de la comparaison avec le Rapport Technique CEI 62669 [54].

2 Références normatives

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 60215, *Règles de sécurité applicables aux matériels d'émission radioélectrique*

CEI 62209-1:2005, *Exposition humaine aux champs radiofréquence produits par les dispositifs de communications sans fils tenus à la main ou portés près du corps – Modèles de corps humain, instrumentation et procédures – Partie 1: Procédure de détermination du débit d'absorption spécifique (DAS) produit par les appareils tenus à la main et utilisés près de l'oreille (plage de fréquence de 300 MHz à 3 GHz)*

CEI 62209-2:2010, *Exposition humaine aux champs radiofréquence produits par les dispositifs de communications sans fils tenus à la main ou portés près du corps – Modèles de corps humain, instrumentation et procédures – Partie 2: Procédure de détermination du débit d'absorption spécifique produit par les appareils de communication sans fil utilisés très près du corps humain (gamme de fréquences de 30 MHz à 6 GHz)*

ISO/CEI 17025:2005, *Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1

champs ambiants

champs électromagnétiques de fond dans la gamme de fréquences de 100 kHz à 300 GHz autres que les émissions du matériel en essai dans la gamme de fréquences de 300 MHz à 6 GHz

3.2

facteur d'antenne

rapport de l'intensité du champ électromagnétique incident sur une antenne donnée, à la tension (V) produite aux bornes d'une impédance de terminaison spécifiée (de 50 Ω par exemple) à l'extrémité de la connexion de ligne de l'antenne

3.3

évaluation

détermination d'une décision fondée sur la valeur du mesurande (par exemple, comparaison avec une limite applicable)

3.4

configuration de l'évaluation

ensemble des valeurs de paramètres qui représentent conjointement la configuration de la RBS à estimer selon l'objectif d'évaluation établi, par exemple l'évaluation de la conformité

3.5

puissance moyenne (temporelle) transmise

taux de transfert d'énergie rayonnée (W) donné par

$$\bar{P}_{\text{avg}} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt$$

où

- t_1 est l'heure de début de l'observation, exprimée en secondes;
 t_2 est l'heure de fin de l'observation, exprimée en secondes;
 $P(t)$ est la puissance instantanée transmise, exprimée en watts

NOTE La puissance transmise est la puissance conduite, appliquée au connecteur d'entrée de l'antenne moins la puissance réfléchie par le connecteur d'entrée de l'antenne et moins la puissance dissipée en chaleur dans l'antenne.

3.6

puissance absorbée (temporelle) moyenne

puissance ohmique dissipée dans un volume V donnée par

$$P_A = \int_V \sigma [E(x, y, z)]^2 dV$$

où

$E(x, y, z)$ est la valeur efficace de l'intensité de champ électrique dans les tissus, en volts par mètre;

σ est la conductivité électrique des tissus, en siemens par mètre

3.7

isotropie axiale, sonde

écart maximal du DAS , E^2 ou H^2 quand la sonde, en rotation autour de l'axe principal de son enveloppe/boîtier, est exposée à une onde de référence ayant une incidence normale par rapport à l'axe principal de la sonde

3.8

restriction de base

restriction à l'exposition de l'homme aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques, variables dans le temps, qui est fondée sur les recommandations applicables en matière d'exposition

NOTE Dans la présente norme, la grandeur physique utilisée comme restriction de base est le débit d'absorption spécifique (DAS) ou la densité de puissance (S) en fonction de la fréquence; elle est définie par la norme de conformité pertinente.

3.9

(antenne en) réseau colinéaire

antenne constituée d'un réseau linéaire d'éléments rayonnants, en général des doublets, dont les axes s'inscrivent dans une ligne droite

3.10

frontière de conformité

surface de forme arbitraire définissant un volume hors duquel il existe un niveau de confiance spécifié que la condition limite spécifiée n'est pas dépassée

3.11

frontière de contrôle

ensemble de points qui définissent conjointement la zone où l'accès humain à la frontière de conformité est contrôlé, soit par des avertissements, soit par des moyens physiques

3.12

limites de détection

limite de détection la plus basse (ou respectivement la plus haute) définie par la réponse quantifiable minimale (ou respectivement maximale) de l'appareil de mesure

3.13

directivité (d'une antenne, dans une direction donnée)

D

rapport de l'intensité de rayonnement d'une antenne dans une direction donnée, à la valeur moyenne des intensités de rayonnement dans toutes les directions de l'espace

NOTE 1 Si aucune direction n'est spécifiée, on considère celle dans laquelle l'intensité de rayonnement de l'antenne est maximale.

NOTE 2 La directivité est indépendante des pertes de l'antenne et est égale au gain isotrope dans la même direction si l'antenne est sans pertes.

NOTE 3 Ce rapport peut également être exprimé en décibels.

3.14

facteur d'utilisation

rapport de la somme des durées d'impulsions à un temps d'intégration déterminé. Lorsque les phénomènes sont répétitifs, le temps d'intégration est la période de répétition des impulsions

CEI 60050-531:1974, 531-18-15, [67]²⁾

3.15

domaine dynamique

quotient de la valeur du signal pour l'indication mesurable maximale d'une grandeur, par la valeur du signal pour l'indication mesurable minimale de cette grandeur

NOTE Dans certains cas, le domaine dynamique peut être exprimé comme un intervalle entre les valeurs correspondantes mentionnées ci-dessus.

CEI 60050-394:2007, 394-40-17, [71]

3.16

puissance isotrope rayonnée équivalente (dans une direction donnée)

PIRE

produit de la puissance de fréquence radioélectrique fournie à une antenne, par son gain isotrope dans une direction donnée

CEI 60050-712:1992 712-02-51, [68] modifiée

3.17

champ électrique

champ vectoriel E qui engendre sur toute particule chargée au repos une force F égale au produit du champ E par la charge électrique Q de la particule:

$$F = QE$$

CEI 60050-121:1998, 121-11-18, [70]

3.18

appréciation (évaluation)

processus permettant de déterminer la valeur d'un mesurande

3.19

configuration de l'évaluation

ensemble des valeurs de paramètres qui représentent conjointement la configuration de la RBS utilisée pour l'évaluation

²⁾ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

3.20**plan d'évaluation**

document définissant la méthodologie spécifique à utiliser pour un cas d'évaluation donné, préparé avant la réalisation de l'évaluation, comprenant toutes les méthodes à utiliser et les lieux d'évaluation qui seront étudiés au moyen de chacune des méthodes définies

3.21**lieu d'évaluation**

emplacement physique spécifique où une valeur unique de paramètre de champ a été mesurée ou calculée

NOTE Dans le cas d'un moyennage spatial, il s'agit du lieu de référence défini dans la procédure d'intégration.

3.22**exposition, partie du corps**

exposition localisée d'une partie du corps, générant un DAS local correspondant, distinct de celui d'une exposition du corps entier

3.23**exposition, corps entier**

exposition moyennée sur l'ensemble du corps

3.24**quotient d'exposition****EQ (exposure quotient)**

paramètre d'exposition évalué par rapport à la limite de conformité applicable, exprimé en fraction de puissance de la limite correspondante pour une fréquence donnée

NOTE Le quotient d'exposition peut également être exprimé en pourcentage, c'est-à-dire $EQ \% = EQ$ (adimensionnel) $\times 100 \%$.

3.25**champ (d'un émetteur)**

champ électromagnétique créé en un point donné par un émetteur radioélectrique à une fréquence caractéristique spécifiée, dans des conditions d'installation et pour un régime de modulation spécifiés

CEI 60050-705:1995 705-08-31, [69]

3.26**réponse en fréquence**

courbe, représentant les variations du niveau indiqué du mesurande par rapport à la fréquence, comme réponse d'un instrument de mesure à un niveau de stimulation constant

3.27**gain (d'une antenne, dans une direction donnée)**

G

rapport de l'intensité de rayonnement d'une antenne dans une direction donnée à la valeur moyenne des intensités de rayonnement dans toutes les directions de l'espace, réduit d'un facteur représentant les pertes de l'antenne

NOTE 1 Si aucune direction n'est spécifiée, on considère celle dans laquelle l'intensité de rayonnement de l'antenne est maximale.

NOTE 2 Ce rapport peut également être exprimé en décibels.

3.28**usage prévu**

usage raisonnablement prévisible d'une RBS pour l'objectif prévu, sur l'ensemble de sa gamme de fonctions applicables, conformément aux instructions du fabricant, y compris les instructions d'installation et de fonctionnement

3.29**erreur de linéarité**

expression de la déviation de la courbe par rapport à une ligne droite représentant les variations de la grandeur de sortie en fonction des variations de la grandeur d'entrée

CEI 60050-394:2007, 394-40-31, [71]

3.30**champ magnétique**

quantité vectorielle obtenue en un point donné en soustrayant l'aimantation M du quotient de l'induction magnétique B par la constante magnétique μ_0 :

$$H = \frac{B}{\mu_0} - M$$

NOTE 1 Dans le vide, le champ magnétique est en tout point égal au quotient de l'induction magnétique par la constante magnétique:

$$H = \frac{B}{\mu_0}$$

NOTE 2 Le rotationnel du champ magnétique est égal à la densité de courant total J_t :

$$\text{rot } H = J_t$$

NOTE 3 L'induction magnétique B est parfois appelée "champ magnétique", ce qui peut entraîner une confusion avec le champ magnétique H .

CEI 60050-121:1998, 121-11-56, [70]

3.31**écart de mesure (écart de puissance)**

glissement, progressif dans le temps, à partir d'une lecture reproductible de la valeur mesurée

3.32**DAS maximal moyenné**

valeur maximale du DAS moyenné dans une masse donnée

3.33**(antenne en) réseau plan**

antenne en réseau dont les éléments rayonnants se déduisent l'un de l'autre par des translations parallèles à un même plan

CEI 60050-712:1992, 712-01-07, [68]

3.34**densité surfacique de puissance**

quotient de la puissance transmise par une onde électromagnétique à travers un élément de surface normal à la direction de propagation de l'énergie de cette onde par l'aire de l'élément de surface

CEI 60050-705:1995, 705-02-03, [69]

3.35**d'onde plane équivalente**

terme associé à toute onde électromagnétique, dont l'amplitude est égale à la densité de puissance d'une onde plane

3.36**isotropie de la sonde**

degré d'indépendance de la réponse d'une sonde de champ électrique ou de champ magnétique par rapport à la polarisation et à la direction de propagation de l'onde incidente

3.37**station de base de radiocommunication**

station de base radio

RBS (radiocommunication base station)

installation fixe comprenant l'émetteur de radiofréquences et la ou les antennes correspondantes, tels qu'utilisés dans les réseaux hertziens de télécommunications

NOTE 1 Des exemples de RBS comprennent, entre autres, les stations de base sur un toit ou sur des pylônes autonomes, les installations de points d'accès, les stations de base sans cordon etc., en général non utilisées à proximité immédiate (c'est-à-dire à moins de 20 cm) du corps humain.

NOTE 2 Parmi les réseaux hertziens de télécommunications, citons par exemple ceux utilisés en communication cellulaire, dans les réseaux locaux sans fil, les réseaux de sécurité publique ainsi que les communications point à point et point à multipoints conformément à l'UIT-R F.592-3 [1].

NOTE 3 Cette notion exclut les stations pour services radar, de télévision et de radiodiffusion,

NOTE 4 Le terme fixé signifie que la RBS ne se déplace pas par rapport à sa zone de couverture RF prévue.

3.38**débit d'absorption spécifique****DAS**

dérivée dans le temps de l'incrément de l'énergie électromagnétique (dW) absorbée par (dissipée dans) un incrément de masse (dm) contenu dans un volume élémentaire (dV) d'une masse volumique (ρ)

$$DAS = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{\rho dV} \right)$$

Le DAS peut être calculé par l'équation suivante:

$$DAS = \frac{\sigma E^2}{\rho}$$

où

DAS est le débit d'absorption spécifique (en watts par kilogramme);

E est la valeur efficace de l'amplitude du champ électrique dans le tissu (en volts par mètre);

σ est la conductivité électrique du tissu (en siemens par mètre),

ρ est la densité du tissu (en kilogrammes par mètre cube).

3.39**plan source-environnement**

carte conceptuelle des régions autour d'une antenne en termes de région de la source et de complexité de l'environnement (encombré à non-encombré)

NOTE Les lieux d'évaluation (pour toutes les sources) sont mis en correspondance sur le plan source-environnement, les régions de la source étant placées sur l'axe des x et les complexités de l'environnement (diffuseur/absorbeur) sur l'axe des y .

3.40

région de la source

volume spatial entourant une antenne, divisé en trois régions en fonction de l'impact des caractéristiques du champ sur l'évaluation du champ de radiofréquences ou du DAS

NOTE Il existe deux régions de la source à proximité de l'antenne, appelées région I de la source et région II de la source, et une à une plus grande distance, appelée région III de la source

3.41

vérificateur

personne(s) responsable(s) de la planification, de l'exécution et de l'élaboration du rapport d'évaluation des niveaux de champs de radiofréquences ou des niveaux du DAS

4 Symboles et abréviations

4.1 Grandeurs physiques

Le Système International d'unités SI est utilisé dans la présente norme.

Symbole	Grandeurs	Unités	Dimensions
α	Affaiblissement linéique	inverse du mètre	m^{-1}
B	Densité de flux magnétique	tesla	$T, V s m^{-2}$
D	Induction électrique	coulomb par mètre carré	$C m^{-2}$
c_h	Capacité thermique massique	joule par kilogramme-kelvin	$J kg^{-1} K^{-1}$
E	Champ électrique; intensité d'un champ électrique	volt par mètre	$V m^{-1}$
f	Fréquence	hertz	Hz
H	Champ magnétique	ampère par mètre	$A m^{-1}$
J	Densité de courant	ampère par mètre carré	$A m^{-2}$
T	Température	kelvin	K
ϵ	Permittivité	farad par mètre	$F m^{-1}$
λ	Longueur d'onde	mètre	m
μ	Perméabilité	henry par mètre	$H m^{-1}$
Ω	Résistance	ohm	$V A^{-1}$
ρ	Masse volumique	kilogramme par mètre cube	$kg m^{-3}$
σ	Conductivité électrique	siemens par mètre	$S m^{-1}$

NOTE 1 Dans cette norme, la température est exprimée en degrés Celsius définis par $T(^{\circ}C) = T(K) - 273,16$.

NOTE 2 L'Annexe D définit les différents symboles et variables utilisés dans la présente norme.

4.2 Constantes

Symbole	Constante physique	Amplitude
c	Vitesse de la lumière dans le vide	$2,997\,9 \times 10^8 m s^{-1}$
η_0	Impédance de l'espace libre	$376,730\,3 \Omega$ (environ $120\pi \Omega$)
ϵ_0	Permittivité de l'espace libre	$8,854\,188 \times 10^{-12} F m^{-1}$
μ_0	Perméabilité de l'espace libre	$4 \pi \times 10^{-7} H m^{-1}$

4.3 Abréviations

AMPS	système téléphonique mobile perfectionné (de l'anglais <i>Advanced Mobile Phone System</i>)
BCCH	canal de commande de diffusion (de l'anglais <i>broadcast control channel</i>)
AMRC	Accès Multiple par Répartition en Code
CPICH	canal pilote commun (de l'anglais <i>common pilot channel</i>)
DECT	système de télécommunications numériques améliorées sans cordon (de l'anglais <i>Digital Enhanced Cordless Telecommunications</i>)
DPCH	canal physique dédié (de l'anglais <i>dedicated physical channel</i>)
EUT	Matériel en essai (de l'anglais <i>equipment under test</i>)
FDD	Duplex par répartition en fréquence (de l'anglais <i>frequency division duplex</i>)
AMRF	Accès Multiple par Répartition en Fréquence
FDTD	différences finies dans le domaine temporel (de l'anglais <i>Finite Difference Time Domain</i>)
FEM	méthode des éléments finis (de l'anglais <i>Finite Element Method</i>)
FIT	technique d'intégration finie (de l'anglais <i>Finite Integration Technique</i>)
GSM	système global de communications mobiles (de l'anglais <i>Global System for Mobile communications</i> - initialement <i>Groupe Spécial Mobile</i>)
HPBW	largeur du faisceau à mi-puissance (de l'anglais <i>Half Power Beamwidth</i>)
LTE	évolution à long terme (de l'anglais <i>Long Term Evolution</i>)
MdM	méthode des Moments
NMT	système téléphonique mobile nordique (de l'anglais <i>Nordic Mobile Telephone</i>)
MROF	multiplexage par Répartition Orthogonale de la Fréquence
PML	couche parfaitement adaptée (de l'anglais <i>Perfectly Matched Layer</i>)
RBS	station de base de radiocommunication (de l'anglais <i>Radiocommunication Base Station</i>)
RF	fréquence radioélectrique
eff.	valeur efficace (moyenne quadratique)
r.s.s.	valeur résultante quadratique (somme quadratique) (de l'anglais <i>root sum square</i>)
TDD	duplexage par répartition dans le temps (de l'anglais <i>Time Division Duplex</i>)
AMRT	Accès Multiple par Répartition dans le Temps
TETRA	système de radiocommunication de Terre à ressources partagées (de l'anglais <i>Terrestrial Trunked Radio</i>)
UMTS	Système universel de télécommunications mobiles (de l'anglais <i>Universal Mobile Telecommunications System</i>)
USDC	Système de téléphonie cellulaire numérique des Etats-Unis (de l'anglais <i>United States Digital Cellular</i>)
AMRC	Accès multiple par répartition en code -AMRC- à bande élargie (de l'anglais <i>wideband code division multiple access</i>)
Wi-Fi ³⁾	réseau local de type Ethernet à accès sans fil (de l'anglais <i>Wireless Fidelity</i>)

³⁾ "Wi-Fi est une marque déposée de Wi-Fi Alliance"; "Le terme "Wi-Fi" signifie "Wireless Fidelity", en référence à la qualité d'enregistrement audio connue depuis longtemps "High Fidelity - Haute Fidélité" ou "Hi-Fi"; "Wireless Fidelity" a souvent été utilisé de manière informelle, même par la Wi-Fi Alliance elle-même; cependant, du point de vue officiel, le terme n'a aucune signification particulière." Voir (<http://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>).

WiMAX Interopérabilité mondiale des accès d'hyperfréquence (de l'anglais *Worldwide Interoperability for Microwave Access*)

5 Elaboration du plan d'évaluation

5.1 Présentation générale

Le présent article définit le plan d'évaluation qui doit servir de base à l'évaluation. Des recommandations détaillées sont fournies dans les annexes:

- l'Annexe A décrit une approche par étapes d'élaboration du plan d'évaluation;
- l'Annexe B présente le plan-source environnement et décrit comment établir où se situent les points d'évaluation dans le plan source-environnement;
- l'Annexe C constitue un guide d'application des méthodes d'évaluation compte tenu des objectifs spécifiques de l'évaluation.

Des plans d'évaluation générique peuvent être élaborés pour couvrir des objectifs et types de travaux les plus communs.

5.2 Principales tâches

Les tâches suivantes doivent être réalisées:

- a) Définir les paramètres d'évaluation clés en se conformant aux étapes suivantes:
 - Catégoriser l'objectif d'évaluation (voir A.2.1).
 - Catégoriser la RBS soumise à l'évaluation (voir A.2.2). Il est à noter que la présente norme peut être utilisée pour évaluer les champs de radiofréquences / DAS d'une RBS de faible puissance. La CEI 62479 peut tout d'abord être utilisée pour déterminer si une telle évaluation est nécessaire pour se conformer à la limite correspondante;
 - Vérifier la disponibilité des informations clés (voir A.2.3).
 - S'assurer que les paramètres d'évaluation peuvent être contrôlés (par exemple par réglage de la puissance d'émission) (voir A.2.4).
 - Déterminer les points d'évaluation dans le cadre du plan source-environnement (voir A.2.5 et Annexe B).
- b) Vérifier s'il est nécessaire de tenir compte des champs ambiants.
- c) Lorsque l'objectif est d'évaluer le champ combiné de toutes les sources en un lieu donné, les champs ambiants doivent être évalués (voir l'Annexe K):
 - On doit s'efforcer raisonnablement d'identifier toutes les émissions RF entre 100 kHz et 300 GHz.
 - On doit tenir compte des champs ambiants pour identifier des sources RF fixes et permanentes. Ces sources peuvent être décelées par examen visuel, par consultation de la base de données utilisateur disponible, par des renseignements obtenus auprès du propriétaire du site ainsi que par des mesures sélectives en bande large ou en fréquence.
- d) Sélectionner la ou les méthodes d'évaluation en se conformant aux étapes suivantes:
 - Définir le mesurande approprié (voir A.3.2).
 - Sélectionner la méthode de calcul ou de mesure (voir A.3.3) et choisir
 - soit la méthode de mesure (voir A.3.4);
 - soit la méthode de calcul (voir A.3.5).
 - Revoir les considérations supplémentaires (voir A.3.6)
- e) Revoir la liste de contrôle pour parachever le plan d'évaluation (voir Tableau 1).

Le Tableau 1 fournit une liste de contrôle résumant les principaux aspects qui doivent être pris en compte lors de l'élaboration d'un plan d'évaluation spécifique.

Tableau 1 – Liste de contrôle du plan d'évaluation

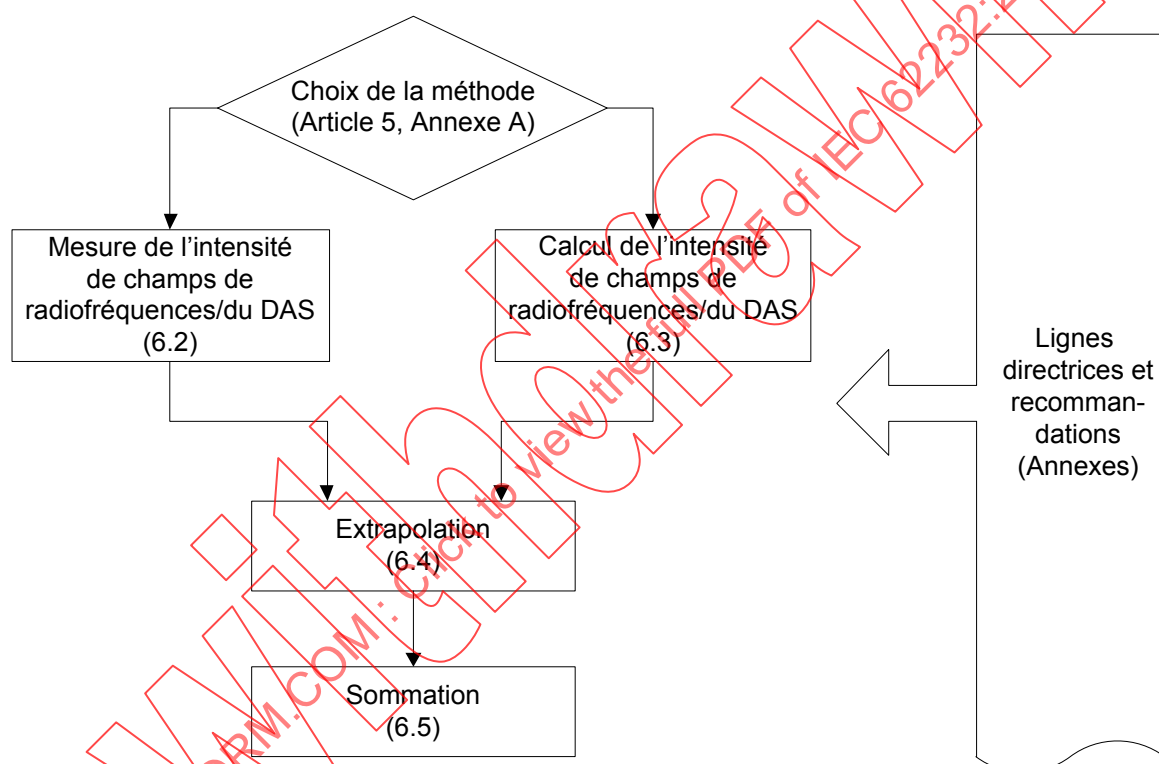
Critères	Activité du plan d'évaluation	Références	Vérifier
1) Aspects généraux relatifs à la sécurité et aux pratiques de travail sur site	Lorsque l'évaluation doit être effectuée sur site: - Rédiger une fiche de contrôle à utiliser sur site. - Identifier les permissions de travail requises (accès) - Tenir compte de la sécurité du public et des personnes qui réalisent les mesures. S'assurer qu'une évaluation des risques est effectuée pour identifier les dangers potentiels et mettre en place les protocoles de sécurité permettant de les atténuer. Les procédures et recommandations de la CEI 60215 doivent, le cas échéant, être appliquées.	CEI 60215	☐
2) Identifier les paramètres pertinents pour l'évaluation	Enregistrer tous les paramètres nécessaires à l'évaluation ainsi que toutes les mesures requises pour la détermination/vérification de leurs valeurs. Définir clairement la configuration de l'évaluation et la configuration de l'évaluation.	Article 6 et Annexe D	☐
3) Méthode d'évaluation	S'assurer que la ou les méthodes d'évaluation choisies sont clairement définies en précisant le raisonnement qui a présidé au choix et en assurant une traçabilité évidente de leur applicabilité.	Article 6; l'Annexe D; Annexe F; Annexe G; Annexe I; Annexe J; Annexe K; Annexe N; Annexe P. CEI 62669 [54]	☐
4) Lieux d'évaluation	Définir les lieux d'évaluation spécifiques nécessaires ou fournir suffisamment d'informations quant à la manière de les déterminer sur site. S'assurer que les méthodes d'évaluation utilisées pour chaque point d'évaluation sont clairement définies.	Article 6; Annexe A; Annexe B; Annexe C Annexe K.	☐
5) Appareillage de mesure	Identifier les appareils de mesure à utiliser, les exigences d'étalonnage applicables et rassembler la documentation pertinente.	Article 6; Annexe E; Annexe N.	☐
6) Calculs	S'assurer que les ressources de calcul sont disponibles. S'assurer que les activités de validation requises ont été achevées pour permettre la mise en œuvre.	Article 6, Annexe F. Article 6 et Annexe H	☐
7) Incertitude	Pour chaque valeur de champ de radiofréquences ou de DAS relevée, établir si les valeurs obtenues reposent sur la fonction de densité de probabilité d'incertitude, par exemple: meilleure estimation, limite supérieure de confiance à 95% , etc. Tenir compte du lieu sur le plan source-environnement si ceci affecte l'incertitude de l'évaluation.	Article 6; Article 7; Annexe O; Annexe P. Annexe B	☐
8) Evaluation des limites	Si la comparaison avec une limite est requise: - Définir la limite pertinente - Définir le schéma d'évaluation applicable - Définir la configuration de l'évaluation ainsi que la configuration de l'évaluation	Annexe M. Article 3; Annexe D; Annexe L.	☐
9) Rapport	Définir le format du rapport d'évaluation qui convient à l'objectif d'évaluation, compte tenu des recommandations de l'Article 8 et de l'Annexe P.	Article 8 et Annexe P	☐

6 Méthodes d'évaluation

6.1 Vue d'ensemble

Le présent article décrit les différentes méthodes d'évaluation permettant de mesurer ou de calculer les champs de radiofréquences ou les DAS. Le descriptif définit les contraintes d'applicabilité de chaque méthode, les informations requises pour la mise en œuvre de la méthode ainsi que la manière de caractériser l'incertitude d'évaluation.

La Figure 1 donne un aperçu général des méthodes d'évaluation. Les méthodes d'évaluation sont choisies lors de l'élaboration du plan d'évaluation (voir l'Article 5 et l'Annexe A) comme un processus itératif qui tient également compte du présent Article 6. Pour toute information supplémentaire, éclaircissement ou justification, les méthodes d'évaluation renvoient aux annexes ainsi qu'à des références externes.



IEC 1024/11

Figure 1 – Aperçu général des méthodes d'évaluation

Le plan d'évaluation peut utiliser une combinaison de méthodes pour pouvoir mener à bien l'évaluation.

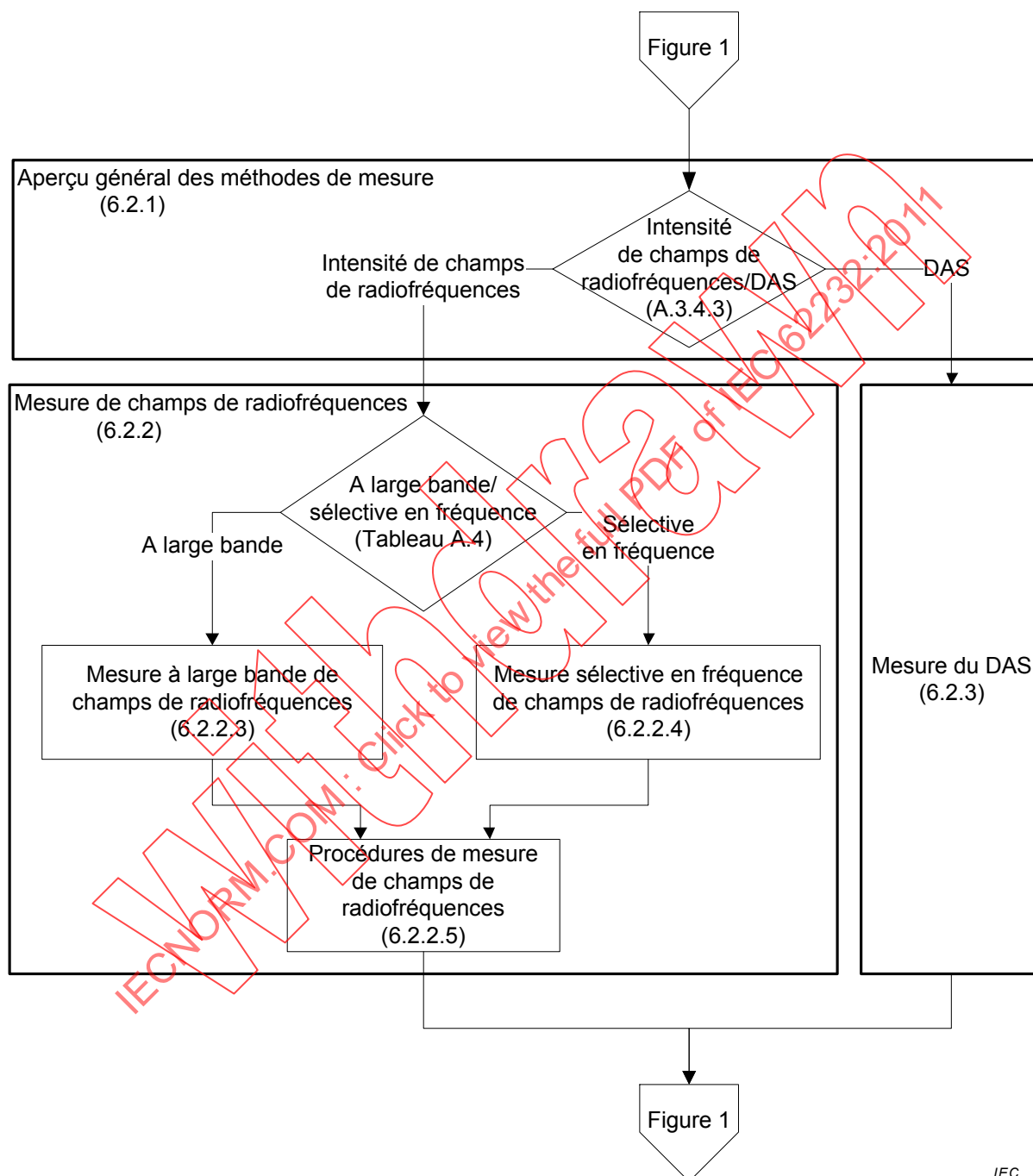
Une extrapolation (voir 6.4) est requise si l'évaluation est effectuée avec des paramètres de RBS (par exemple la puissance de sortie) qui ne représentent pas directement la configuration de la RBS devant être appréciée. Par exemple, si la puissance rayonnée d'une RBS varie sur une longue durée, l'extrapolation du résultat évalué est effectuée pour obtenir une estimation de la valeur maximale possible des champs de radiofréquences ou du DAS (voir l'Annexe N et l'Annexe J) permettant d'établir les frontières de conformité autour des antennes (voir l'Annexe C).

Une sommation (voir 6.5) est nécessaire lorsqu'il faut combiner les contributions de plusieurs sources ou fréquences.

6.2 Méthodes de mesure

6.2.1 Aperçu général des méthodes de mesure

La Figure 2, une extension du bloc de mesure de l'intensité de champs de radiofréquences / du DAS de la Figure 1, donne un aperçu général des méthodes de mesure.



IEC 1025/11

Figure 2 – Aperçu général des méthodes de mesure des champs de radiofréquences

Les méthodes de mesure de la valeur crête du DAS spatial décrites dans la présente norme sont appliquées dans une installation d'essai appropriée et sont en général parfaitement adaptées à des évaluations de la conformité du produit à des distances allant jusqu'à 0,4 m de la surface de l'antenne de la RBS. Les méthodes de mesure d'intensité du champ décrites peuvent être utilisées pour des évaluations en laboratoire ou sur site (voir l'Annexe A).

6.2.2 Mesure de champs de radiofréquences

6.2.2.1 Applicabilité de la mesure des champs de radiofréquences

La mesure de champs de radiofréquences est applicable à toutes les régions du plan source-environnement (voir le Tableau A.1 et l'Annexe B).

La mesure sélective en fréquence est toujours recommandée lorsqu'il existe plusieurs signaux simples sur une fréquence (voir Tableau A.5).

NOTE Si les appareils de mesure sont étalonnés aux fréquences d'évaluation, les méthodes de mesure des champs de radiofréquences décrites dans la présente norme peuvent être utilisées avec précaution pour évaluer des champs de radiofréquences à des fréquences inférieures à 300 MHz.

6.2.2.2 Exigences générales

Les vérifications minimales suivantes doivent être réalisées:

- Les appareils de mesure doivent satisfaire aux exigences de l'Annexe E.
- Déterminer autant de caractéristiques connues des sources de champs de radiofréquences que possible et estimer leurs caractéristiques probables de propagation.
- Estimer le champ de radiofréquences prévu en utilisant les méthodes de calcul de base décrites en 6.3.2.
- S'assurer que les signaux ambiants forts et/ou les signaux hors-bande ne génèrent pas des réponses parasites dans l'appareillage de mesure.

NOTE 1 Les sources partageant la même bande et situées au voisinage du matériel en essai (EUT) ou les champs basse fréquence des lignes haute tension peuvent affecter les instruments (notamment les appareils à bande passante large).

- Vérifier si la valeur relevée n'est pas due au bruit de l'appareillage de mesure.
- Déterminer les réglages optimaux de l'appareillage de mesure.

NOTE 2 Voir l'Annexe N, les spécifications et les recommandations des fabricants des appareils de mesure.

- Lorsqu'il est utilisé un instrument à large bande ayant une réponse pondérée en fréquence de forme particulière, s'assurer que son algorithme de sommation et l'étalonnage de la fréquence sont en adéquation avec les exigences de la norme pertinente.
- Si plusieurs antennes de mesure ou sondes isotropes sont nécessaires pour couvrir une gamme de fréquences spécifiée, dans ce cas, l'intensité totale du champ de radiofréquences doit être calculée en utilisant l'équation suivante:

$$E = \sqrt{\sum_{i=1}^N E_i^2} \quad \text{ou} \quad H = \sqrt{\sum_{i=1}^N H_i^2} \quad \text{ou} \quad S = \sum_{i=1}^N S_i \quad (1)$$

où

E est l'amplitude du champ E au point de mesure;

E_i est la valeur efficace du champ E de la i ème antenne de mesure ou sonde isotrope, au point de mesure;

H est l'amplitude du champ H au point de mesure;

H_i est la valeur efficace du champ H de la i ème antenne de mesure ou sonde isotrope, au point de mesure;

N est le nombre d'antennes de mesure et sondes isotropes;

S est la densité de puissance de l'onde plane équivalente au point de mesure;

S_i est la densité de puissance de l'onde plane équivalente de la i ème antenne de mesure ou sonde isotrope, au point de mesure.

NOTE 3 Pour les instruments de mesure à large bande, la sommation ci-dessus peut entraîner une surestimation systématique du champ de radiofréquences total si les fréquences de mesure se chevauchent. Ceci peut être évité en utilisant des mesures sélectives en fréquence

- i) Au cours de l'étude, tenir compte de l'emplacement de la source et du chemin de propagation des fréquences radioélectriques afin de réduire l'influence du corps sur les mesures (voir O.4.13). Pour les instruments de mesure tenus à la main, l'incertitude due à la diffusion du champ RF par le corps du vérificateur doit être réduite au minimum:
 - en maintenant la sonde ou l'antenne loin du corps du vérificateur (il est recommandé de maintenir une séparation d'au moins 50 cm entre l'antenne de mesure ou la sonde isotrope et le corps du vérificateur);
 - en positionnant la sonde vers la source;
 - en s'assurant que le corps du vérificateur n'est pas dans la ligne directe de propagation.
- j) L'incertitude due au couplage mutuel entre l'antenne de mesure ou la sonde isotrope et les objets physiques (par exemple, des murs, des planchers, le plafond, le mobilier et autres objets) (voir O.4.12) doit être prise en compte:
 - Des mesures réalisées à des distances de séparation de 20 cm ou plus proches sont acceptables en fonction de la fréquence de mesure et de l'appareil de mesure, mais à des distances de séparation inférieures à 50 cm, cette influence sur l'incertitude de mesure doit être incluse dans les Tableaux 2 et 3 (voir 6.2.2.6);
 - Lorsque la dimension des éléments de réception de l'antenne de mesure ou de la sonde isotrope ne dépasse pas 0,4 m, et lorsqu'une distance de séparation de 50 cm ou plus est maintenue, cette influence sur l'incertitude de mesure ne doit pas être prise en compte.
- k) L'incertitude due à des gradients d'intensité de champ RF élevés (par exemple champ proche quasi-statique) à proximité de radiateurs de fréquence radioélectrique ou de re-radiateurs (voir O.4.11) doit être prise en compte si la distance de séparation minimale entre l'antenne de mesure ou la sonde isotrope et les radiateurs de fréquence radioélectrique ou re-radiateurs est inférieure à trois fois la dimension la plus grande de l'antenne de mesure ou de la sonde isotrope.

Pour plus d'informations voir par exemple [2].

6.2.2.3 Mesure à large bande de champs de radiofréquences

6.2.2.3.1 Applicabilité des mesures à large bande de champs de radiofréquences

Les mesures à large bande donnent la somme de tous les signaux sur la gamme de fréquences de la sonde sans faire de distinction entre les contributions des différentes fréquences (qu'elles proviennent du matériel en essai ou de sources ambiantes). Ces mesures peuvent donner une valeur instantanée ou moyennée dans le temps de l'intensité de champ.

La méthode fournit pour information des résultats d'intensité de champ environnemental tels qu'observés au moment des mesures et convient pour la surveillance de champ de radiofréquences.

Une mesure à large bande permet de déterminer les niveaux d'ensemble dans l'environnement et peut aider à évaluer la nécessité d'une mesure plus approfondie au moyen de la méthode de mesure sélective en fréquence (voir 6.2.2.4).

Les mesures à large bande peuvent être extrapolées pour estimer la valeur maximale possible d'intensité du champ. Cependant, cette extrapolation peut, en fonction des caractéristiques de la sonde et des caractéristiques du matériel en essai/signaux ambiants, entraîner une surestimation importante. De ce fait, les mesures sélectives en fréquence sont recommandées lorsqu'une extrapolation précise est requise.

6.2.2.3.2 Méthode de mesure à large bande de champs de radiofréquences

Choisir un instrument de contrôle isotrope à large bande dont la plage de mesure convient aux valeurs de champ de radiofréquences estimées lors des vérifications de pré-évaluation (voir 6.2.2.2) sur la gamme de fréquences requise et remplit les exigences de l'Annexe E.

Les sondes doivent avoir une réponse plate sur les fréquences d'intérêt (Tableau E.1) ou leur réponse en fréquence doit être l'inverse de la limite de conformité dépendant de la fréquence pertinente, de manière à obtenir une lecture directe du quotient d'exposition correspondant (voir 6.2.2.3.3.2).

Pour évaluer le champ de radiofréquences le plus élevé ou le champ de radiofréquences en des points discrets d'une région donnée, effectuer une recherche en utilisant les procédures avec instrument tenu à la main (voir 6.2.2.5.1); la procédure au trépied (voir 6.2.2.5.2) ou la procédure automatisée à balayage spatial (voir 6.2.2.5.3).

Si nécessaire, le moyennage spatial du champ peut être effectué (voir 6.2.2.5.4).

Etudier les variations temporelles dans le champ pour garantir une indication stable du champ de radiofréquences (voir Annexe J) ou pour satisfaire aux exigences de temps d'intégration nécessaires à la détermination de la conformité (voir 6.2.2.5.5).

6.2.2.3.3 Interprétation de mesures de signaux multifréquence

6.2.2.3.3.1 Sonde à réponse plate en fréquence

Si des signaux à fréquences multiples sont rayonnés (par exemple 900 MHz et 1 800 MHz) et si la sonde peut fonctionner avec précision sur la bande globale de signaux, la limite de conformité applicable la plus basse pour les fréquences d'intérêt doit être utilisée afin de déterminer le quotient d'exposition composé, exprimé comme fraction/pourcentage de la limite de conformité pertinente.

6.2.2.3.3.2 Sonde à réponse pondérée en fréquence

L'instrument de mesure additionne les niveaux de mesure individuels aux fréquences des différentes sources et soumet le résultat sous la forme d'un quotient d'exposition, par exemple en pourcentage de la limite applicable.

6.2.2.4 Mesures sélectives en fréquence de champ de radiofréquences

6.2.2.4.1 Applicabilité des mesures sélectives en fréquence de champs de radiofréquences

Ces techniques utilisent l'analyse de spectre ou le décodage de canaux pour isoler et identifier des fréquences de source RBS et les fréquences ambiantes. La méthode doit être utilisée:

- pour faire la distinction entre signaux de fréquences différentes;
- lorsque les champs ambiants sont comparables, voire dépassent le niveau de la source RBS;
- lorsque des informations sont nécessaires pour permettre une extrapolation précise de la configuration de l'évaluation vers la configuration de l'appréciation;

NOTE Par exemple pour démontrer la conformité à une limite ou le dépassement d'une limite sans le risque de surestimation lié à l'évaluation à large bande.

- pour des mesures dans des environnements à faible champ de radiofréquences (par exemple des lieux publics) dans lesquels cette méthode est particulièrement adaptée, du fait de la sensibilité plus élevée des analyseurs de spectre/récepteurs par rapport aux sondes à large bande.

6.2.2.4.2 Méthode de mesure sélective en fréquence de champs de radiofréquences

Lorsque des instruments sélectifs en fréquence sont utilisés, il faut s'assurer qu'ils couvrent la gamme de fréquences des signaux à évaluer (voir Annexe N). Les mesures sur une large gamme de fréquences peuvent dans certains cas nécessiter plusieurs antennes de mesure.

La mesure de l'intensité de champs de radiofréquences doit tenir compte des contributions de toutes les directions/polarisations. Il est recommandé d'utiliser une antenne isotrope. D'autres types d'antennes peuvent être utilisés conformément aux dispositions suivantes:

- Il est admis d'utiliser des antennes à un seul axe (par exemple un doublet) à condition qu'elles soient positionnées dans trois directions orthogonales et que les mesures obtenues soient additionnées pour obtenir l'intensité de champ totale.
- Il peut être utilisé des antennes directionnelles ou sonde afin de séparer les contributions de directions différentes (non de région-source I). Ces contributions doivent être additionnées pour obtenir l'intensité de champ totale. Cependant, cette valeur sera une surestimation du niveau réel.
- Une antenne directionnelle peut être utilisée pour la méthode de balayage à condition qu'elle soit orientée pour relever la valeur maximale d'intensité de champs de radiofréquences.

La corrélation entre les résultats obtenus avec des antennes isotropes et non isotropes peut être affectée par la présence de signaux forts à trajets multiples.

Effectuer un balayage initial à spectre large afin d'identifier les signaux d'intérêt pour une analyse ultérieure.

Pour les signaux ainsi identifiés (par exemple de haut niveau), augmenter la résolution de mesure en se centrant sur la fréquence du signal et en effectuant une mesure plus précise de chaque signal.

Chacune des bandes de fréquences pertinentes à étudier doit être analysée afin de déterminer le réglage optimal de l'appareil de mesure sélective. Le réglage de la largeur de bande de résolution doit tenir compte des types de signaux de la RBS et, le cas échéant, des champs ambiants. L'Annexe N fournit des informations spécifiques concernant cette technologie, utiles pour déterminer les réglages d'appareils de mesure sélective.

Des traitements supplémentaires sont nécessaires pour mesurer les signaux qui changent de niveau en fonction du temps, par exemple en fonction du nombre d'utilisateurs qui accèdent au réseau de communications. Les variations temporelles du champ doivent être étudiées afin de garantir une indication stable du champ de radiofréquences ou de satisfaire aux exigences correspondantes de temps d'intégration pour établir la conformité à la limite applicable (voir 6.2.2.5.5). L'Annexe J fournit des recommandations supplémentaires concernant l'évaluation de signaux à variation temporelle.

Pour évaluer le champ de radiofréquences le plus élevé ou le champ de radiofréquences en des points discrets d'une région donnée, effectuer une recherche en utilisant la procédure de mesure avec instrument tenu à la main (voir 6.2.2.5.1); la procédure de mesure au trépied (voir 6.2.2.5.2) ou la procédure automatisée à balayage spatial (voir 6.2.2.5.3). En outre, on peut calculer la moyenne spatiale du champ (voir le Tableau A.1).

Une extrapolation du résultat doit être effectuée si nécessaire pour obtenir une estimation du niveau maximal possible (voir 6.4 et Annexe J). Ce post-traitement est nécessaire pour déterminer une valeur maximale possible du champ de radiofréquences indépendante du temps qui, à son tour, peut être utilisée pour établir des frontières de conformité autour des antennes.

6.2.2.5 Procédures de mesure des champs de radiofréquences

6.2.2.5.1 Mesures de champs de radiofréquences avec instrument tenu à la main

6.2.2.5.1.1 Détermination du champ de radiofréquences aux points fixes d'intérêt

Les mesures doivent être effectuées au moyen d'une antenne de mesure ou d'une sonde isotrope dont le facteur d'antenne est étalonné en fonction de la fréquence. S'il est utilisé une antenne de mesure non isotrope, elle doit être orientée de manière à relever la valeur maximale (lors de la recherche d'une valeur maximale d'intensité de champs de radiofréquences et/ou de son emplacement). Dans le cas d'une sonde / antenne de mesure à un seul axe, elle doit être tournée de manière à obtenir les trois composantes orthogonales du champ et les résultats sont ensuite additionnés (r.s.s.) pour obtenir l'intensité de champ totale.

6.2.2.5.1.2 Balayage d'un volume pour déterminer un champ de radiofréquences d'intérêt et/ou son emplacement

La méthode de balayage doit être utilisée sur site pour:

- déterminer et localiser le champ de radiofréquences d'intérêt identifié dans le plan d'évaluation;

NOTE 1 La méthode de balayage peut être utilisée pour déterminer les emplacements pour étude ultérieure au moyen des techniques de moyennage spatial.

- déterminer le champ de radiofréquences maximal dans une région sans qu'il ne soit nécessaire d'obtenir des informations quant à son emplacement.

NOTE 2 Dans le cas d'un environnement non encombré, il est probable que le champ de radiofréquences maximal d'une source unique se trouvera dans le faisceau principal de l'antenne.

L'antenne de mesure/sonde isotrope doit être déplacée lentement sur toute la région en évitant les objets (voir 6.2.2.2). En général, des mesures jusqu'à une hauteur de 2 m au-dessus du plancher ou de la voie de circulation suffisent. L'antenne de mesure/sonde isotrope doit être déplacée verticalement et horizontalement sur toute la région soumise à l'essai, tout en observant l'afficheur de l'instrument. En outre, voir 6.2.2.4.2 si une antenne de mesure/sonde non isotrope est utilisée. Un balayage minutieux est nécessaire autour du lieu où la valeur d'intérêt est prévue.

Lorsqu'il s'agit de déterminer la valeur maximale de l'intensité de champ spatiale dans une région donnée, la trace du signal affiché/enregistré doit être configurée de manière à saisir le niveau maximal (par exemple "maintien du maximum"). L'antenne de mesure/sonde isotrope doit balayer lentement toute la région afin de ne pas rater d'éventuelles valeurs maximales.

Lorsque des instruments de mesure sélective en fréquence sont utilisés:

- le détecteur de valeur efficace doit être choisi;
- le nombre de balayages par seconde de l'analyseur de spectre ne doit pas être trop élevé et les bandes de fréquence doivent être suffisamment réduites pour garantir une évaluation précise de la valeur efficace du signal (voir N.3).

Lorsqu'il y a plusieurs fréquences d'intérêt, on doit balayer l'ensemble de la gamme de fréquences d'intérêt afin d'identifier les crêtes de fréquences et leurs niveaux respectifs.

NOTE 3 Il peut être nécessaire de séparer les fréquences en divers groupes (bandes) afin d'identifier les niveaux d'émission de ces bandes individuelles.

6.2.2.5.2 Mesures de champs de radiofréquences au moyen d'un appareil/antenne sur trépied

L'appareillage de mesure et la méthodologie générale décrits en 6.2.2.5.1 s'appliquent à la méthode au trépied, cependant, l'influence du corps humain (vérificateur) est réduite. Un système de support/montage qui n'est pas ou peu perturbateur (par exemple un trépied en bois) pour le champ doit être utilisé pour maintenir l'antenne de mesure/sonde isotrope en position pendant les mesures.

Un balayage de la région objet de l'étude doit être effectué selon la méthode de balayage décrite en 6.2.2.5.1 afin de déterminer les emplacements qui comportent des niveaux significatifs de champs de radiofréquences et afin de limiter les dimensions du volume concerné. Choisir une zone/volume autour de ces emplacements et les diviser en une grille de mesure appropriée pour permettre une étude plus fine du champ. La résolution d'une telle grille doit permettre de distinguer tous les gradients de champ et d'appréhender toutes les crêtes de champ.

NOTE Le plus petit pas de grille peut être limité par la dimension de l'antenne de mesure/sonde isotrope.

6.2.2.5.3 Mesures de champs de radiofréquences au moyen d'un équipement automatique de positionnement spatial

L'intensité des champs de radiofréquences doit être mesurée en laboratoire au moyen d'un équipement automatique (ou semi-automatique) de positionnement spatial. L'antenne de mesure/sonde isotrope est montée sur le positionneur et balaie automatiquement une ligne, une zone ou un volume pour recueillir/enregistrer les valeurs d'intensité de champs de radiofréquences. Ces valeurs peuvent être traitées pour obtenir par exemple la valeur maximale ainsi que des moyennes spatiales pour la ligne/surface/volume balayé(e).

Le positionneur doit être construit de manière à réduire au minimum les réflexions et perturbations du champ dans la gamme de fréquences d'intérêt. L'effet de diffusion du positionneur doit être quantifié et inclus dans le calcul de l'incertitude.

6.2.2.5.4 Moyennage spatial

6.2.2.5.4.1 Applicabilité du moyennage spatial

Le moyennage spatial s'applique en fonction de la limite pertinente comme décrit en A.3.2.

Dans un champ de radiofréquences à ondes non planes, la comparaison de l'intensité maximale du champ de radiofréquences évaluée en un seul point, avec la limite de conformité, peut entraîner une surestimation de l'absorption de fréquences radioélectriques par le corps entier. On obtient une meilleure représentation de l'exposition du corps entier par moyennage spatial de l'intensité du champ de radiofréquences dans des régions occupées par un corps. L'Annexe I fournit des informations et des recommandations supplémentaires sur les procédures de moyennage spatial.

En cas de doute ou pour résoudre d'éventuels litiges, la méthode de référence de moyennage spatial est la moyenne spatiale de neuf points (voir Figure I.1).

Dans le cas de l'évaluation de l'exposition partielle du corps (pour établir par exemple la conformité à une limite pertinente de la valeur crête du DAS spatial ou pour effectuer une comparaison avec la limite d'intensité du champ de radiofréquences d'un point donné), il peut également être nécessaire de tenir compte de l'intensité maximale du champ de radiofréquences à l'un des points de mesure (voir A.3.2).

6.2.2.5.4.2 Méthode de mesure par moyennage spatial

Pour chaque point d'évaluation, effectuer les mesures décrites en 6.2.2.5.1, 6.2.2.5.2 ou 6.2.2.5.3; les points de mesure étant choisis conformément à la procédure de moyennage spatial (voir l'Annexe I).

La valeur moyenne spatiale de l'intensité du champ de radiofréquences en chaque point d'évaluation est déterminée en utilisant la formule suivante:

$$\bar{E} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_p} E_i^2}{N_p}} \quad \text{ou} \quad \bar{H} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_p} H_i^2}{N_p}} \quad \text{ou} \quad \bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^{N_p} S_i}{N_p} \quad (2)$$

où

$\bar{E}$ est l'amplitude du champ E calculée par moyennage spatial au point d'évaluation;

E_i est la valeur efficace du champ E au i ème point de mesure;

$\bar{H}$ est l'amplitude du champ H calculée par moyennage spatial au point d'évaluation;

H_i est la valeur efficace du champ H au i ème point de mesure;

N_p est le nombre total de points de mesure pour chaque point d'évaluation;

$\bar{S}$ est la densité de puissance de l'onde plane équivalente calculée par moyennage spatial au point d'évaluation;

S_i est la densité de puissance de l'onde plane équivalente au i ème point de mesure.

Pour une mesure sélective en fréquence, la formule ci-dessus doit être évaluée séparément pour chaque bande de fréquence.

6.2.2.5.5 Méthode de mesure par moyennage temporel

6.2.2.5.5.1 Applicabilité du moyennage temporel

Le moyennage temporel s'applique lorsque l'intensité du champ de radiofréquences varie dans le temps (par exemple suite à des changements des conditions de propagation ou à des fluctuations de la puissance de l'émetteur dues à des variations du trafic ou à une commande de puissance, ou dues au fonctionnement de l'émetteur en « émission-réception »).

Il est admis que la norme d'exposition pertinente spécifie la période de moyennage temporel applicable. Le moyennage temporel sur des périodes autres que celles données dans la norme d'exposition pertinente peut fournir des informations utiles mais il ne doit pas être utilisé à des fins de comparaison avec les limites d'exposition applicables.

Le moyennage temporel peut être utilisé pour des systèmes PTT (push-to-talk - communication à l'alternat) dans lesquels la RBS n'émet que lorsque l'opérateur active l'émetteur au cours d'une communication simplex. Si cela est nécessaire pour les besoins de l'évaluation, les données relatives au facteur d'utilisation peuvent être prises en compte comme correction supplémentaire.

NOTE 1 En fonction de la norme d'exposition pertinente, l'intensité du champ de radiofréquences instantanée peut dépasser la valeur limite applicable, à condition que sa moyenne temporelle soit inférieure à la limite applicable (A.3.2).

NOTE 2 La moyenne temporelle de l'intensité du champ de radiofréquences peut donner un résultat valide au moment de la mesure mais peut ne pas être représentative des conditions du champ en d'autres périodes.

NOTE 3 Les données relatives à la variation de l'intensité du champ de radiofréquences sur la période de mesure peuvent aider à déterminer si ces variations peuvent être considérées comme une grandeur d'influence de l'incertitude de mesure ou si une méthode de mesure par moyennage temporel est nécessaire pour l'évaluation (voir l'Annexe J).

6.2.2.5.5.2 Méthode de moyennage temporel

Les étapes suivantes doivent être réalisées:

- a) Déterminer le moment de réalisation des mesures. Par exemple, il peut s'agir d'un moment de la journée pour que l'évaluation soit effectuée dans les conditions d'intensité les plus élevées de champs de radiofréquences - c'est-à-dire lorsque le trafic est maximal.

NOTE 1 Un enregistrement des données sur une période étendue (jour/semaine) peut être utile pour déterminer le moment de réalisation de l'évaluation par moyennage temporel.

- b) Préciser la durée du temps d'intégration. Par exemple selon la norme d'exposition pertinente.
- c) Préciser l'emplacement de l'évaluation. Par exemple en utilisant la méthode par balayage (voir 6.2.2.5.1.2) afin de définir l'emplacement de la valeur maximale d'intensité de champ spatiale.
- d) Effectuer l'évaluation

NOTE 2 Ces mesures peuvent être effectuées au moyen de dispositifs portables d'enregistrement des données adaptés au temps d'intégration de la norme de conformité/recommandation d'exposition pertinente qui peut fournir une moyenne "mobile" sur le temps d'intégration approprié (c'est-à-dire la valeur instantanée de la moyenne sur une période de temps se terminant au moment présent et commençant au temps d'intégration approprié avant le moment présent).

6.2.2.6 Incertitude de mesure de l'intensité des champs de radiofréquences

Les sources d'incertitude identifiées dans le Tableau 2 ou le Tableau 3 doivent être examinées dans le cadre de trois catégories: appareillage de mesure, méthodologie de mesure et source et environnement.

- L'incertitude de l'appareillage de mesure doit être conforme à l'Annexe E.
- L'incertitude de la méthodologie de mesure doit être quantifiée.
- Les facteurs de source et d'environnement (par exemple la pluie, des fenêtres ouvertes, un encombrement environnemental) peuvent être difficiles à quantifier mais doivent au moins être décrits dans le rapport (voir Article 8).

Il est recommandé que l'incertitude élargie (composée) de l'appareillage de mesure et de la méthodologie (c'est-à-dire à l'exclusion de tous les facteurs d'influence de source et d'environnement) ne dépasse pas 4 dB.

Il est recommandé, dans toute la mesure du possible, de quantifier l'incertitude des facteurs de source et d'environnement.

Voir également d'autres aspects liés à l'incertitude dans l'Article 7, l'Annexe J, l'Annexe L et l'Annexe O.

Tableau 2 – Exemple de modèle d'estimation de l'incertitude élargie pour une mesure de l'intensité des champs de radiofréquences au moyen d'un instrument de mesure sélective à bande étroite

Source d'incertitude (grandeur d'influence)	Unité	Type de loi de prob.	Incertain ou demi- intervalle a	Diviseur d	Coeff. de sens c	Incertain de-type $u = a/d$	Fact. Corr. t	$c^2 u^2$
Appareillage de mesure								
Etalonnage de l'instrument de mesure (ou de l'analyseur de spectre)	dB	normale		1,96	1			
Etalonnage du facteur d'antenne	dB	normale		1,96	1			
Etalonnage de la perte due au câblage	dB	normale		1,96	1			
Réponse en fréquence combinée de l'instrument de mesure / câble / antenne	dB	rectang.		$\sqrt{3}$	1			
Ecart de linéarité combiné de l'instrument de mesure / câble / antenne	dB	rectang.		$\sqrt{3}$	1			
Isotropie de l'antenne	dB	rectang.		$\sqrt{3}$	1			
Réponse combinée en température et en humidité de l'instrument de mesure / câble / antenne	dB	rectang.		$\sqrt{3}$	1			
Gain de désadaptation entre l'antenne et l'instrument de mesure / analyseur de spectre	dB	U		$\sqrt{2}$	1			
Méthodologie								
Position de la sonde à des gradients de champ élevés	dB	rectang.		$\sqrt{3}$	1			
Réflexions du champ par le corps du vérificateur au cours de la mesure	dB	rectang.		$\sqrt{3}$	1			

Tableau 2 – Exemple de modèle d'estimation de l'incertitude élargie pour une mesure de l'intensité des champs de radiofréquences au moyen d'un instrument de mesure sélective à bande étroite (suite)

[illegible]

Tableau 3 – Exemple de modèle de calcul de l'incertitude pour une mesure de l'intensité des champs de radiofréquences au moyen d'un instrument à large bande

[illegible]

6.2.3 Méthode de mesure du DAS

6.2.3.1 Introduction à la méthode de mesure du DAS

La moyenne spatiale du DAS maximal (la moyenne est en général calculée sur 1 g ou 10 g de tissu) peut être évaluée par mesures des champs électriques induits dans un modèle de corps humain (par exemple, fantôme plan) exposé à des champs électromagnétiques RF. D'autres normes de la CEI spécifient les méthodes et procédures de mesure du DAS pour des terminaux de radiocommunication utilisés près de l'oreille (CEI 62209-1) et tenus près du visage ou du corps (CEI 62209-2). Les méthodes ci-dessous se fondent et renvoient à la CEI 62209-1 et à la CEI 62209-2.

6.2.3.2 Applicabilité de la mesure du DAS

Les procédures de mesure du DAS décrites dans le présent article sont applicables à des équipements/dispositifs autonomes de petite taille et à des antennes de station de base à une colonne multi-éléments de dimension inférieure ou égale à 1,5 m. La distance entre le fantôme et la surface extérieure de la structure rayonnante (antenne) ne doit pas dépasser 1 000 mm. Les mesures du DAS peuvent être effectuées sur l'ensemble de la gamme de fréquences objet de la présente norme.

6.2.3.3 Exigences de mesure du DAS

6.2.3.3.1 Exigences générales

Le système de mesure du DAS est constitué d'une enveloppe de fantôme de corps plan remplie d'un liquide simulant le tissu humain, d'un support d'appareil, d'une sonde de champ E, d'un système de balayage à sonde et des instruments électroniques de mesure. Les spécifications et exigences générales concernant tous ces éléments ainsi que l'environnement d'essai sont données dans la CEI 62209-2:2010 (Article 5) et dans la CEI 62209-1:2005 (Annexe B). D'autres matériaux simulant le tissu humain (par exemple du gel) et des systèmes de mesure de champ E (par exemple une matrice de sondes fixes) peuvent être utilisés dans la mesure où les exigences générales de la CEI 62209-1 et de la CEI 62209-2 sont remplies.

6.2.3.3.2 Sélection du fantôme

Les méthodes décrites dans la présente norme utilisent deux fantômes (Voir Figure 3):

- Pour les mesures du DAS maximal par moyennage spatial, le fantôme elliptique spécifié dans la CEI 62209-2:2010 peut être utilisé si la grande ouverture de l'EUT peut être circonscrite dans l'ellipse.
- Sinon, le fantôme du corps entier en caisson plan [50], [72] doit être utilisé.
- Ses dimensions latérales sont de 1,54 m × 0,339 m.
- L'épaisseur de l'enveloppe de fantôme doit aller jusqu'à 2 mm comme spécifié dans la CEI 62209-2:2010, cependant, des ailettes de renfort extérieures d'une hauteur (épaisseur) maximale de 3 mm peuvent être utilisées à condition que l'effet sur le DAS maximal spatial local soit inférieur à 5 %. Lorsque le fantôme est rempli d'un liquide simulant le tissu humain à la profondeur requise, l'affaissement doit être inférieur à 2 mm du plan réel.

NOTE L'effet des ailettes de renfort sur le DAS maximal spatial local est vérifié par le fabricant de fantôme. L'un des moyens de réaliser cette vérification consiste à comparer le résultat obtenu avec ceux obtenus avec le fantôme elliptique plan de la CEI 62209-2:2010. Une autre solution consiste à utiliser des simulations avec des sources de dipôle génériques permettant d'évaluer l'effet dans le champ proche et avec l'incidence de l'onde plane pour tenir compte des effets pour l'exposition en champ lointain.

- La profondeur du liquide simulant le tissu humain pendant les mesures doit être d'au moins 0,15 m de l'interface enveloppe-liquide.

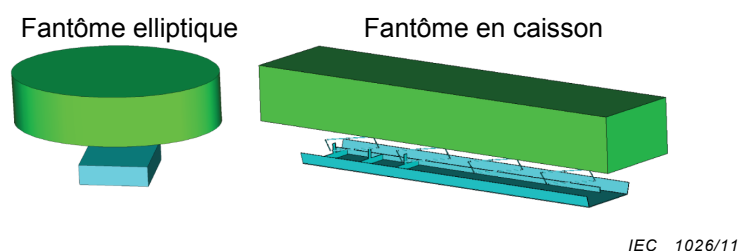


Figure 3 – Position de l'EUT par rapport au fantôme applicable

6.2.3.3.3 Configuration de l'EUT pour la mesure du DAS

Si l'appareil en essai (EUT) est une RBS à antenne(s) intégrée(s), on doit utiliser son émetteur interne, l'alimentation normale et la ou les antennes originales. La RBS doit être configurée conformément aux spécifications du fabricant; la puissance de sortie et la fréquence (canal) doivent être contrôlées au moyen d'un programme d'essai interne ou au moyen d'un appareillage extérieur approprié. Il est admis d'utiliser un signal en onde entretenue (CW) si la puissance moyenne est réglée de manière à produire des résultats conservateurs.

S'il est prévu d'utiliser la RBS avec une ou des antennes extérieures, les mêmes exigences s'appliquent; cependant, la RBS peut être remplacée par tout émetteur fournissant la même puissance d'entrée de l'antenne et la même fréquence que la RBS en cours d'évaluation.

6.2.3.3.4 Exigences de mesure

Si l'objectif de l'évaluation (mesure) est d'établir la conformité du produit, la frontière de conformité ou de confirmer la frontière de contrôle, la configuration du DAS maximal doit être la configuration d'évaluation (voir 3.4). Les exigences suivantes doivent être satisfaites:

- a) Le DAS maximal moyenné dans l'espace et le DAS du corps entier doivent être pris en compte.
- b) Il convient de réaliser la mesure au niveau de puissance de sortie le plus élevé, comme spécifié par le fabricant ou l'opérateur du réseau. La mesure peut également être réalisée à un niveau connu de moindre puissance; le résultat est ensuite numériquement extrapolé au niveau de puissance le plus élevé (voir 6.4 et l'Annexe L), et cette extrapolation est indiquée dans le rapport d'essai.
- c) Les caractéristiques d'émission RF de l'EUT doivent être prises en compte, c'est-à-dire les modes d'utilisation, les bandes de fonctionnement et les configurations d'antennes. Lorsqu'il y a plusieurs modes, bandes ou configurations d'antennes, ils doivent être mesurés aux niveaux de puissance spécifiés correspondants.
- d) Si l'EUT est capable d'effectuer simultanément des transmissions multiples (par exemple GSM 900 et GSM 1800), ce mode doit également être mesuré.
- e) Pour déterminer le DAS maximal, l'évaluation doit être effectuée avec l'antenne ou le côté de l'appareil où se trouve l'antenne en face du fantôme. L'antenne ou l'appareil doit être positionné de manière à obtenir le DAS le plus élevé possible, ce qui, dans de nombreux cas, exige que la direction du lobe principal de l'antenne soit orthogonale par rapport à la surface du fantôme.
- f) Pendant les mesures, le centre de l'EUT/de l'antenne doit être placé sous le centre du fantôme (voir 6.2.3.3) approprié (voir Figure 3). Il peut se révéler nécessaire d'effectuer de petits ajustements du positionnement afin d'éviter qu'un élément d'antenne soit positionné à proximité d'un bord du fantôme. Le positionnement de l'EUT doit être documenté dans le rapport d'essai.
- g) Pour établir la validité d'une frontière de contrôle, si les instructions d'utilisation fournies par le fabricant ou les instructions/avertissement de sécurité sur site spécifient une distance de séparation minimale (ou plusieurs distances de séparation) entre

l'appareil/antenne et le corps d'une personne, l'essai doit être effectué à une distance de séparation (ou à des distances de séparation) entre l'appareil/antenne et le liquide simulant le tissu humain correspondant à la (aux) distance(s) spécifiée(s). En l'absence de toute instruction/avertissement de ce type, la mesure doit être réalisée à une distance de 5 mm.

- h) Pour établir la frontière de conformité, les essais doivent être effectués à différentes distances de séparation, comprises entre 5 mm et jusqu'à 1 000 mm du liquide simulant le tissu humain afin de déterminer la distance de conformité, c'est-à-dire la distance à laquelle la valeur du DAS est inférieure à la limite de DAS correspondante pour la configuration d'évaluation. Il peut se révéler nécessaire d'effectuer des mesures dans d'autres positions. Pour des recommandations sur l'évaluation de la frontière de conformité, voir C.3.

Par extrapolation linéaire d'une courbe DAS / distance de séparation (voir C.3), il est possible d'obtenir les frontières de contrôle et les frontières de conformité pour différents niveaux de puissance.

6.2.3.4 Description de la mesure du DAS

6.2.3.4.1 Méthode générale

Le protocole d'évaluation du DAS est décrit ci-après. Les parties applicables (voir NOTE) des paragraphes suivants de la CEI 62209-2:2010 doivent être appliquées:

- 6.1.1 Préparation générale;
- 6.1.2 Contrôle du système;
- 6.1.4 Position de l'appareil en essai par rapport au fantôme;
- 6.1.5 Fréquences d'essai;
- 6.2.4 Evaluations rapides du DAS;
- 6.3 Procédure de mesure;
- 6.4 Traitement de données.

NOTE La CEI 62209-2 spécifie des procédures de mesure du DAS local applicables aux appareils de communication sans fil utilisés à proximité immédiate du corps humain. Par conséquent, les paragraphes de la CEI 62209-2 énumérés ci-dessus ne sont pas applicables dans leur totalité aux mesures du DAS local et du corps entier relatives aux stations de base radio. Les spécifications générales relatives à la préparation de la mesure s'appliquent aux mesures du DAS local et du DAS du corps entier. Des parties des évaluations rapides du DAS, de la procédure de mesure et du traitement ultérieur ne s'appliquent qu'aux évaluations du DAS local (évident à partir de son contexte).

6.2.3.4.2 Description de la mesure du DAS maximal par moyennage spatial

Pour chacune des configurations de mesure requises en 6.2.3.3, le DAS maximal moyenné dans l'espace doit être évalué en quatre étapes:

- a) Utiliser les procédures de mesure spécifiées dans 6.3 de la CEI 62209-2:2010 pour déterminer la valeur initiale du DAS maximal moyenné dans l'espace mesuré, $DAS_m(d)$, au moyen du fantôme approprié (voir 6.2.3.3.2).
- b) Déterminer le facteur de correction, $CF_1(d)$, à appliquer pour tenir compte d'une éventuelle augmentation du DAS maximal moyenné dans l'espace due à un effet des couches de tissu au moyen de la formule suivante:

$$CF_1(d) = \begin{cases} 1 & d < 200 \text{ mm} \\ \frac{d}{200} & 200 \text{ mm} \leq d < 400 \text{ mm} \\ 2 & 400 \text{ mm} \leq d \leq 1000 \text{ mm} \end{cases} \quad (3)$$

NOTE 1 Pour des distances d'EUT supérieures à 200 mm, le DAS maximal dans le corps d'un véritable être humain peut surpasser le DAS maximal obtenu à partir de mesures dans le fantôme plan spécifié. Pour une

distance égale ou supérieure à 400 mm, le véritable DAS peut être supérieur d'un facteur 2 au DAS fantôme. Le facteur de correction $CF_1(d)$ a été introduit pour tenir compte de cet effet.

- c) Déterminer le facteur de correction, $CF_2(d)$, pour tenir compte d'une éventuelle augmentation du DAS maximal moyenné dans l'espace, pour des petites distances de séparation entre le fantôme et l'antenne, liée aux effets de la variation des conditions de charge des éléments d'antenne [73], au moyen de la formule suivante:

$$CF_2(d) = \begin{cases} 2 & d \leq \frac{\lambda}{4} \quad AND \ N_e > 1 \\ -\frac{4d}{7\lambda} + \frac{15}{7} & \frac{\lambda}{4} < d < 2\lambda \quad AND \ N_e > 1 \\ 1 & d \geq 2\lambda \quad OR \ N_e = 1 \end{cases} \quad (4)$$

NOTE 2 Par exemple, $CF_2(d)$ a une valeur de 1 pour des antennes à un élément.

NOTE 3 Dans la fonction d'interpolation de l'équation (4), d et λ doivent toutes deux être exprimées dans la même unité (par exemple mm ou m).

- d) Déterminer le DAS maximal moyenné dans l'espace au moyen de la formule suivante

$$DAS_{psa}(d) = DAS_m(d) \times CF_1(d) \times CF_2(d) \quad (5)$$

où

d est la distance de l'EUT (mm) mesurée à partir de la surface du liquide

N_e est le nombre d'éléments dans le réseau d'antenne

$DAS_m(d)$ est le DAS maximal mesuré non corrigé, moyenné sur 1 g (DAS_{1g}) ou 10 g (DAS_{10g})

$DAS_{psa}(d)$ est le DAS maximal moyenné dans l'espace évalué sur 1 g (DAS_{1g}) ou 10 g (DAS_{10g}) selon le moyennage utilisé à l'étape a) pour la configuration de mesure

6.2.3.4.3 Description de la mesure du DAS du corps entier

Pour chacune des configurations de mesure requises en 6.2.3.3, la mesure du DAS du corps entier est réalisée en deux étapes:

- a) Déterminer en premier lieu la puissance absorbée (temporelle) moyenne, P_A , dans le fantôme à une distance de séparation donnée de l'antenne, en mesurant le champ électrique dans le volume défini par la surface du fantôme et limité par les plans $z = 0$ à $z = 0,09$ m (où $z = 0$ est l'interface enveloppe-liquide) [50], [72]. Les procédures de mesure données dans 6.3 de la CEI 62209-2:2010 doivent être appliquées, le cas échéant, au moyen de l'espacement de grille suivant:
- L'espacement de grille horizontal maximal doit être de 20 mm pour des fréquences inférieures à 3 GHz et de $(60/f_{GHz})$ mm pour des fréquences de 3 GHz et supérieure.
 - Le pas de grille dans la direction verticale pour un espacement uniforme doit être de $(8 - f_{GHz})$ mm ou moins sans toutefois être supérieur à 5 mm (CEI 62209-2:2010).
 - Si un espacement variable est utilisé dans la direction verticale, l'espacement maximal entre les deux points de mesure les plus proches de l'enveloppe de fantôme doit être de $(12/f_{GHz})$ mm ou moins sans toutefois être supérieur à 4 mm. L'espacement entre les points les plus éloignés doit augmenter d'un facteur ne dépassant pas 1,5 (CEI 62209-2:2010). Lorsqu'un espacement variable est utilisé, les programmes d'extrapolation doivent être soumis à essai avec le même espacement que celui utilisé pour les mesures.
 - Pour réduire le temps nécessaire à la réalisation des mesures du DAS du corps entier, les procédures fondées sur des mesures dans un ou plusieurs plans peuvent être

utilisées en association avec différentes techniques de propagation numérique de champ (par exemple [75]), à condition que

- la procédure ait été vérifiée de manière approfondie avec des mesures volumétriques, et
- l'incertitude ait été quantifiée.

b) La deuxième étape consiste à évaluer le DAS du corps entier, SAR_{wb} , au moyen de la formule suivante:

$$DAS_{wb}(d) = \frac{P_A(d) \times 1,8}{M} \quad (6)$$

où:

$P_A(d)$ est la puissance absorbée (temporelle) moyenne (watts) dans le fantôme, mesurée à une distance d , la distance de l'EUT (mm) mesurée à partir de la surface du liquide

M est la masse du corps mesurée en kilogrammes. Pour la détermination d'une frontière de conformité ou la confirmation d'une frontière de contrôle, il convient que pour des adultes M soit de 46 kg ([50], [72]), et pour des enfants, M soit de 12,5 kg (correspondant au 3^e percentile des données de masse corporelle pour une fille âgée de 4 ans [74]).

NOTE Le facteur de correction de multiplication de 1,8 (2,5 dB) tient compte de l'effet des couches de tissus [50], [72]).

6.2.3.5 Incertitude de mesure du DAS

L'incertitude de mesure doit être évaluée selon les spécifications de l'Article 7 de la CEI 62209-2:2010. Pour les mesures du DAS du corps entier, l'estimation de l'incertitude doit être réalisée en termes de puissance absorbée. La procédure de mesure du DAS a été conçue pour fournir des résultats se situant dans la partie conservatrice de la loi de probabilité.

6.3 Méthodes de calcul

6.3.1 Présentation et exigences générales

Les calculs de l'intensité de champs de radiofréquences et du DAS peuvent être moins exigeants que les mesures et d'une grande utilité pour des évaluations de champs de radiofréquences sur des sites de RBS. La Figure 4, une extension du bloc de calcul de l'intensité de champs de radiofréquences / du DAS de la Figure 1, présente un aperçu général des méthodes de calcul décrites dans la présente norme.

S'agissant du choix de la méthode de calcul, il convient d'utiliser la méthode applicable la plus simple permettant d'obtenir le niveau d'exactitude exigé pour le mesurande requis. Une méthode d'évaluation plus approfondie (avancée) prendra en général beaucoup plus de temps; cependant, les résultats obtenus peuvent être plus précis et prévaloir sur les résultats d'une évaluation rapide et facile - voir les rangs d'évaluation du Tableau A.7. Le Tableau A.6 donne des recommandations supplémentaires pour ce qui concerne le choix de la méthode de calcul appropriée.

Chaque méthode de calcul doit être validée avant utilisation. Au minimum, les méthodes de calcul décrites doivent être vérifiées en fonction des résultats présentés à l'Annexe H. Ces résultats ont été obtenus à partir des codes informatiques vérifiés de manière approfondie par rapport aux problèmes canoniques ainsi que des mesures spécifiées dans les documents publiés. Ces résultats de référence ont été produits par des utilisateurs expérimentés dans les techniques informatiques. Pour ce qui concerne les méthodes ou les cas non traités dans l'Annexe H, la validation doit être réalisée par rapport aux données mesurées.

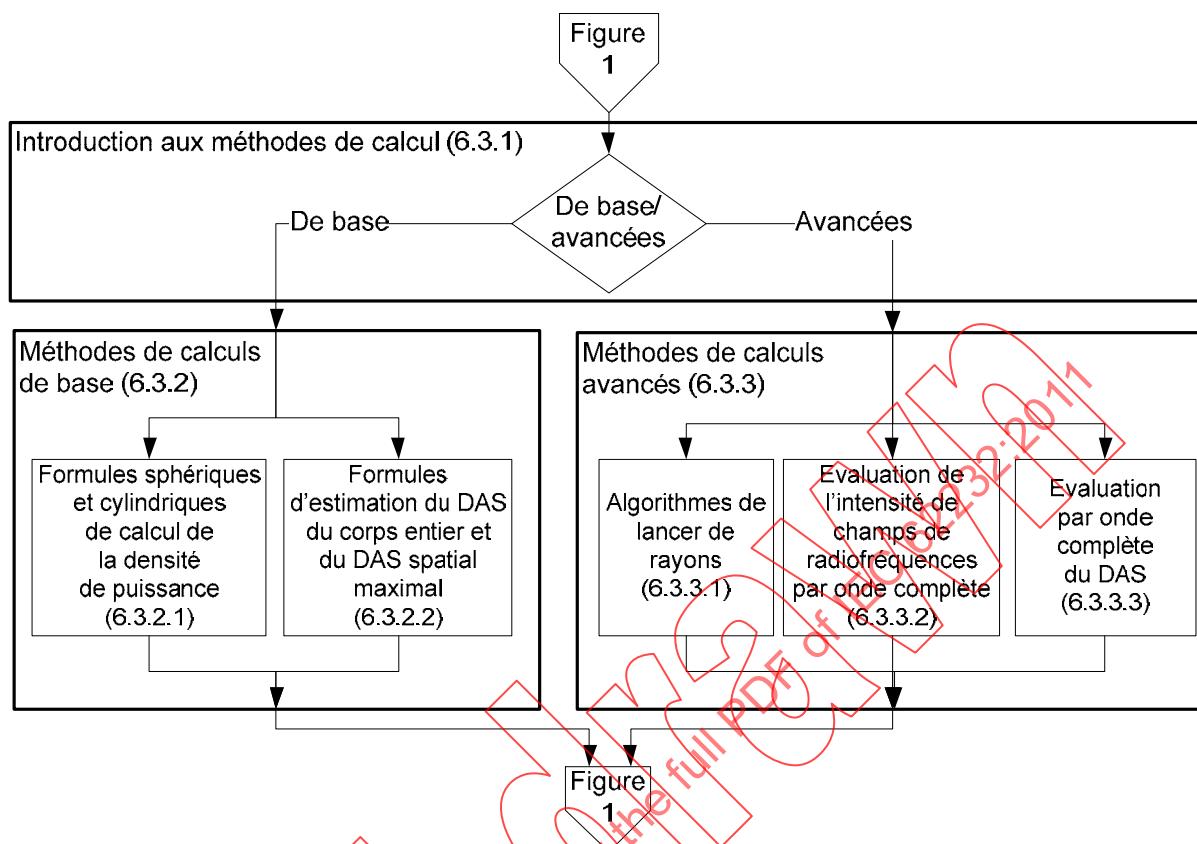


Figure 4 – Aperçu général des méthodes de calcul

Le Tableau 4 fournit un résumé des méthodes de calculs applicables (de base et avancés) dans le plan source-environnement (voir Figure B.1).

Tableau 4 – Applicabilité des méthodes de calcul, pour les régions source-environnement de la Figure B.1

	Méthodes applicables ^a		
	Région I de la source	Région II de la source	Région III de la source
Région M de l'environnement	1. Onde complète – Intensité de champ (voir 6.3.3.2) 2. Onde complète – DAS (voir 6.3.3.3)	1. Algorithme de lancer de rayons (voir 6.3.3.1) 2. Onde complète – Intensité de champ (voir 6.3.3.2) 3. Onde complète – DAS (voir 6.3.3.3)	1. Algorithme de lancer de rayons (voir 6.3.3.1) 2. Onde complète – Intensité de champ (voir 6.3.3.2) 3. Onde complète – DAS (voir 6.3.3.3)
Région 1 de l'environnement	1. Onde complète – Intensité de champ (voir 6.3.3.2) 2. Onde complète – DAS (voir 6.3.3.3)	1. Formule cylindrique sphérique (voir 6.3.2.1) 2. Algorithme de lancer de rayons (voir 6.3.3.1) 3. Onde complète – Intensité de champ (voir 6.3.3.2) 4. Onde complète – DAS (voir 6.3.3.3)	1. Formule cylindrique sphérique (voir 6.3.2.1) 2. Algorithme de lancer de rayons (voir 6.3.3.1) 3. Onde complète – Intensité de champ (voir 6.3.3.2) 4. Onde complète – DAS (voir 6.3.3.3)
Région 0 de l'environnement	1. Formule d'estimation du DAS (voir 6.3.2.2) 2. Onde complète – Intensité de champ (voir 6.3.3.2) 3. Onde complète – DAS (voir 6.3.3.3)	1. Formule d'estimation du DAS (voir 6.3.2.2) 2. Formule cylindrique sphérique (voir 6.3.2.1) 3. Algorithme de lancer de rayons (voir 6.3.3.1) 4. Onde complète – Intensité de champ (voir 6.3.3.2) 5. Onde complète – DAS (voir 6.3.3.3)	1. Formule d'estimation du DAS (voir 6.3.2.2) 2. Formule cylindrique sphérique (voir 6.3.2.1) 3. Algorithme de lancer de rayons (voir 6.3.3.1) 4. Onde complète – Intensité de champ (voir 6.3.3.2) 5. Onde complète – DAS (voir 6.3.3.3)
^a Les méthodes sont énumérées par ordre de recommandation pour la géométrie spécifique du plan source-environnement considéré.			

Calculs de base (voir 6.3.2): Les formules des calculs de base présentées en 6.3.2 sont des formules conservatrices pour l'estimation de l'intensité du champ de radiofréquences, de la densité de puissance ou du DAS. Elles sont faciles à appliquer et peuvent convenir pour l'évaluation de l'intensité du champ de radiofréquences et du DAS. Aucune estimation de l'incertitude n'est requise lorsque ces formules sont utilisées, des recommandations claires et précises sont fournies quant au lieu et au moment où elles sont applicables. Les formules des calculs de base ne peuvent être utilisées que dans des applications limitées. Ces limites sont clairement définies en 6.3.2.

Calculs avancés (voir 6.3.3): Pour certains scénarios, des évaluations plus précises peuvent être nécessaires; par exemple une évaluation du champ de radiofréquences dans la région de champ proche d'une antenne ou des évaluations du DAS sur le côté d'une antenne de RBS. Les techniques de calculs avancés sont présentées en 6.3.3 avec des lignes directrices spécifiques quant à la manière dont elles doivent être utilisées (en général, mais pas nécessairement, au moyen de logiciels disponibles dans le commerce). Si une méthode avancée est choisie, une analyse complète de l'incertitude doit être effectuée. Les paragraphes concernant l'incertitude liée à chacune des méthodes de calculs avancés décrivent les paramètres minimaux d'incertitude qui doivent être pris en compte.

6.3.2 Méthodes de calculs de base

6.3.2.1 Formules sphériques et cylindriques de calcul de la densité de puissance

6.3.2.1.1 Aperçu général des formules sphériques et cylindriques

Pour les configurations en secteur ou en réseau linéaire omnidirectionnelles avec polarisations arbitraires, très largement utilisées dans les infrastructures de communication sans fil, les champs, dans la région de champ proche de l'antenne de la RBS, ont une caractéristique cylindrique [3], [4], qui devient progressivement sphérique dans le champ lointain. Des formules simples peuvent être utilisées pour prédire les champs rayonnés par ces réseaux linéaires. Le présent paragraphe décrit les conditions d'application de ces formules d'estimation.

6.3.2.1.2 Applicabilité des formules sphériques

Les formules sphériques de champ lointain peuvent être utilisées pour évaluer les intensités de champs de radiofréquences de valeur maximale spatiale et de valeur moyenne spatiale. Les densités de puissance équivalentes de valeur moyenne spatiale et de valeur maximale spatiale peuvent être calculées comme suit:

$$S = \frac{\bar{P}_{\text{avg}} \cdot G_{\theta,\phi}}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \quad (7)$$

Les valeurs efficaces correspondantes d'intensités de champ électrique E et magnétique H peuvent être évaluées comme suit:

$$E = \sqrt{\frac{30 \cdot \bar{P}_{\text{avg}} \cdot G_{\theta,\phi}}{r}} \quad (8)$$

$$H = \frac{E}{\eta_0} \quad (9)$$

Les formules sphériques en champ lointain ne doivent être utilisées qu'en tenant compte des limitations suivantes:

- $r \geq \frac{2L^2}{\lambda}$, où L est la dimension maximale de l'antenne.
- Pour que l'estimation de S , E ou H soit conservatrice, les valeurs $\bar{P}_{\text{avg}}$ et $G_{\theta,\phi}$ doivent être les limites supérieures de l'incertitude.
- Des surfaces/objets réfléchissants, un plan de masse et des structures de montage ne sont pas admis dans la direction générale du point d'évaluation pour pouvoir utiliser l'équation ci-dessus.

Si un plan de masse réfléchissant est présent (voir par exemple la Figure 5), utiliser l'équation suivante:

$$S = (1 + |\Gamma|)^2 \cdot \frac{\bar{P}_{\text{avg}} \cdot G_{\theta,\phi}}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \quad (10)$$

avec un coefficient $|\Gamma| = 1$ de réflexion pour le scénario théorique de l'intensité de champ la plus élevée d'un plan de masse parfaitement conducteur (par exemple un toit métallique plat) ou avec un coefficient $|\Gamma| = 0,6$ de réflexion pour des conditions types de réflexion du sol [46].

La définition des variables est donnée dans l'Annexe D.

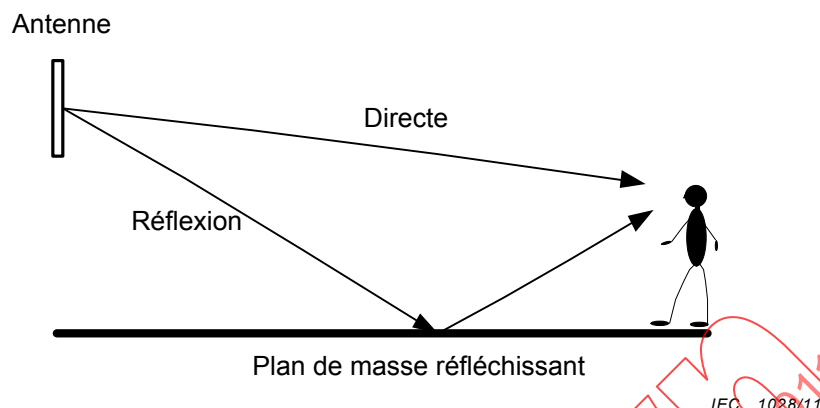


Figure 5 – Réflexion due à la présence d'un plan de masse

La formule sphérique ajustée présentée en F.2 [53] peut être utilisée dans certaines parties des régions I et II de la source (intensité de champ crête et moyenne) mais les évaluations sont limitées aux zones décrites sur la Figure F.2. L'utilisation de la formule sphérique ajustée a pour avantage de fournir des évaluations conservatrices mais réalistes de l'intensité du champ de radiofréquences beaucoup plus proches de l'antenne que celles obtenues avec la formule classique du champ lointain mentionnée ci-dessus.

Un autre ensemble de formules sphériques ajustées relativement basiques utilisables dans la région II de la source (champ proche rayonnant) est présenté dans les références [51], [52] qui fournissent également les limites de la technique.

6.3.2.1.3 Applicabilité des formules cylindriques

La formule cylindrique présentée en F.2 peut être utilisée pour calculer

- la densité de puissance maximale spatiale, S , dans les parties de l'ensemble des régions de la source (voir l'Annexe B) limitées au cylindre inscrit du réseau d'antenne (voir Figure 6); et,
- la densité de puissance moyennée dans l'espace sur la longueur de l'antenne, $\bar{S}$, dans les parties de la région III de la source limitées au cylindre inscrit du réseau d'antenne (voir Figure 6).

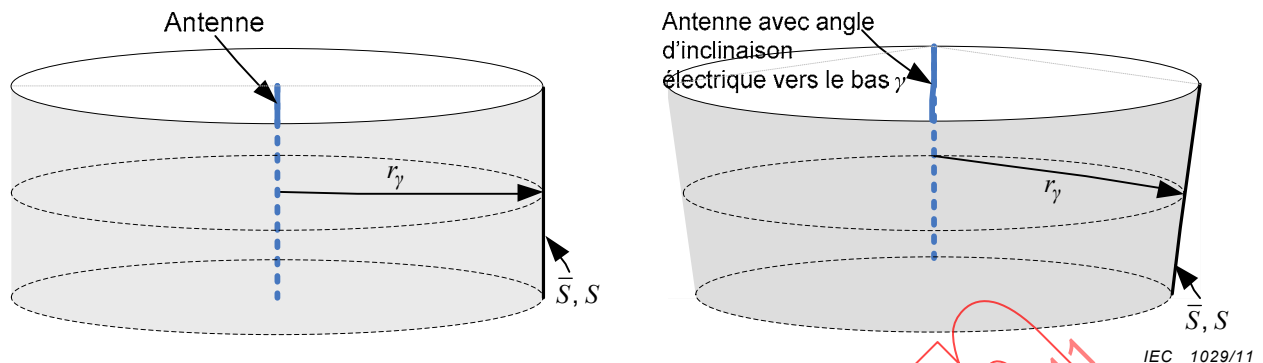


Figure 6 – Cylindre inscrit autour de réseaux colinéaires avec et sans angle d'inclinaison électrique vers le bas

Limites d'application des formules cylindriques:

- L'angle d'inclinaison électrique, γ , du réseau linéaire doit être inférieur ou égal à 10° . Les formules cylindriques ne tiennent pas compte de la formation de lobes secondaires (de périodicité) à proximité de l'antenne à rayonnement longitudinal dont la teneur énergétique devient en général significative pour les angles d'inclinaison électrique supérieurs à 10° .
- La présence de surfaces/objets réfléchissants, de plans de masse réfléchissants et de structures de montage réfléchissantes (pylônes, tours, murs, etc.) dans la direction générale du point d'évaluation, n'est pas autorisée.

6.3.2.1.4 Procédures à suivre lorsque les formules sphériques et cylindriques sont appliquées

Les procédures qui doivent être suivies lorsque les formules sphériques ou cylindriques sont utilisées pour effectuer une évaluation sont les suivantes:

- a) S'assurer que l'évaluation sera valide compte tenu des restrictions et des limites des différentes méthodes.
- b) Appliquer les formules présentées ci-dessus, dans l'Annexe F ou dans les références techniques pertinentes.

NOTE Il suffirait d'utiliser une feuille de calcul de base ou un progiciel de modélisation mathématique.

- c) Valider l'application en comparant des exemples de résultats à des résultats connus ou publiés. En ce qui concerne les formules cylindriques et les formules sphériques ajustées données dans l'Annexe F, la validation doit être effectuée en comparant les résultats obtenus à ceux présentés en H.1.
- d) Déterminer les paramètres d'entrée (voir 6.3.2.1.5).
- e) Evaluer les champs en utilisant les formules.
- f) Consigner l'évaluation dans un rapport en utilisant les recommandations données dans l'Article 8 (voir également l'Article 7, l'Annexe L et l'Annexe M).

6.3.2.1.5 Exigences relatives aux données d'entrée

Pour appliquer la formule sphérique en champ lointain, les informations suivantes sont nécessaires:

$$\bar{P}_{\text{avg}}, G_{\theta, \phi}, \eta_0, \text{ et } r \text{ (voir 4.2, l'Annexe D et F.2.1);}$$

En outre, les formules sphériques ajustées nécessitent les informations suivantes:

G , $G_{\text{side lobe}}$, $\phi_{3\text{dB}}$, $\theta_{3\text{dB}}$, γ , et λ (voir l'Annexe D)

Pour appliquer les formules cylindriques, L et r_γ (voir F.2) sont également nécessaires.

6.3.2.2 Formule pour l'estimation du DAS du corps entier et du DAS maximal moyenné

6.3.2.2.1 Applicabilité

Les formules dans le présent paragraphe permettent d'obtenir une estimation du DAS maximal moyenné et du DAS du corps entier pour des antennes de RBS lorsque leurs éléments alimentés sont dans le même axe vertical. Les formules d'estimation sont données pour les trois principales directions: avant (faisceau principal, axiale et arrière, conformément à la Figure 7.

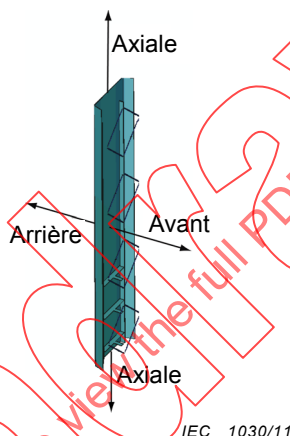


Figure 7 – Directions utilisées dans les expressions d'estimation du DAS

Le Tableau 4 résume les applications recommandées et possibles des formules d'estimation du DAS ([49], [50]) en termes de régions du plan source-environnement. D'autres contraintes relatives à l'applicabilité des formules d'estimation sont résumées dans le Tableau 5.

Tableau 5 – Applicabilité des formules d'estimation du DAS

Directions de validité	Types d'antennes	Gamme de fréquences (MHz)	Valeur d'estimation fournie	Restrictions supplémentaires
Avant	Antennes de RBS directionnelles (à polarisation verticale et à polarisation croisée) et omnidirectionnelles	300 à 5 000	Limites supérieures du DAS local et du DAS du corps entier dans le faisceau principal de l'antenne	Distance de séparation entre fantôme et antenne, d supérieure à 20 cm. Formule applicable pour évaluation de l'exposition d'un adulte aux radiofréquences
Arrière	Antennes de RBS directionnelles (à polarisation verticale et à polarisation croisée)	700 à 2 700	Limite supérieure du DAS local dans un plan orienté derrière l'antenne perpendiculairement à la direction arrière	N/A
Axiale	Antennes de RBS directionnelles (à polarisation verticale et à polarisation croisée)	700 à 2 700	Limite supérieure du DAS local dans un plan orienté au-dessus (ou en dessous) de l'antenne perpendiculairement à la	N/A

Directions de validité	Types d'antennes	Gamme de fréquences (MHz)	Valeur d'estimation fournie	Restrictions supplémentaires
	et omnidirectionnelles		direction axiale	
NOTE La gamme de fréquences est limitée à la réalisation complète de la validation. L'extension de la gamme de fréquences et des directions de validité applicables nécessite une étude supplémentaire.				

Cette méthode peut être utilisée pour des sources multiples (plusieurs antennes fonctionnant aux mêmes fréquences ou à des fréquences différentes), voir 6.5.

6.3.2.2.2 Utilisation des formules d'estimation du DAS

Les procédures suivantes lorsque les formules d'estimation du DAS sont utilisées, doivent être suivies:

- S'assurer que l'évaluation sera valide compte tenu des restrictions et des limites de la méthode.
- Appliquer les formules présentées en F.3.
- Valider l'application des formules par comparaison avec les résultats présentés en H.2.
- Déterminer les paramètres d'entrée (voir 6.3.2.2.3).
- Effectuer la ou les évaluations du DAS en utilisant l'application validée.
- Consigner l'évaluation dans un rapport en utilisant les recommandations données dans l'Article 8 (voir aussi l'Article 7, l'Annexe L et l'Annexe M).

6.3.2.2.3 Paramètres d'entrée

Pour appliquer les formules d'estimation du DAS, les informations suivantes sont nécessaires:

- Bandes de fréquences de tous les émetteurs;
- $\bar{P}_{\text{avg}}$; N_e ; $\phi_{3\text{dB}}$; $\theta_{3\text{dB}}$; G ; voir l'Annexe D;
- L : longueur physique du réseau d'antenne pour chaque bande mesurée (en mètres).

6.3.2.2.4 Incertitude des formules d'estimation du DAS

Les formules d'estimation du DAS fournissent une estimation prudente (niveau de confiance $\geq 95\%$) du DAS local et du DAS du corps entier à condition que les paramètres d'entrée soient choisis dans leur gamme applicable afin d'optimiser la valeur estimée.

6.3.3 Méthodes de calculs avancés

6.3.3.1 Algorithme de lancer de rayons

6.3.3.1.1 Applicabilité des algorithmes de lancer de rayons

Plusieurs algorithmes de lancer de rayons ont été élaborés (par exemple [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9]) et mis en œuvre dans des logiciels informatiques du commerce pour l'évaluation de l'intensité de champ de radiofréquences en toutes directions autour d'antennes de RBS. L'application spécifique du lancer de rayons pour des antennes de RBS implique en général l'obtention de l'intensité du champ électrique en un point d'observation au moyen d'une somme vectorielle d'un nombre de petits "morceaux" de l'antenne traités comme des sources séparées. C'est ce qu'on appelle également le modèle synthétique. Ces algorithmes de lancer de rayons conviennent à des évaluations dans le champ lointain (région III de la source) et dans le champ proche rayonnant (région II de la source). Le Tableau 4 résume les applications recommandées et possibles pour les méthodes de lancer de rayons. Les applications types nécessitent l'utilisation d'un, de deux ou de plusieurs rayons. L'applicabilité de chacune de ces méthodes est discutée ci-après.

a) Lancer de rayons – l'algorithme à un seul rayon est en général utilisé pour:

- L'évaluation d'intensité du champ de radiofréquences dans le champ lointain ou dans le champ proche rayonnant d'une ou de plusieurs sources, sans **aucun** réflecteur environnemental ou en présence d'un réflecteur environnemental **négligeable**, (régions III-0 et II-0 du plan-source environnement), par exemple des tours, des pylônes et des poteaux.
- Egalement utilisable dans des environnements plus complexes mais une analyse de l'incertitude plus approfondie est dans ce cas nécessaire.
- Il est également possible d'améliorer cette méthode en utilisant un facteur permettant de tenir compte de la réflexion moyenne sur le sol, comme par exemple dans le Bulletin 65 de l'OET du FCC des Etats-Unis [46], qui utilise un facteur de 1,6 pour l'intensité de champ de radiofréquences (2,56 pour la densité de puissance) (régions II-1 et III-1 du plan source-environnement).

b) Lancer de rayons – l'algorithme à deux rayons est en général utilisé pour:

- L'évaluation d'intensité du champ de radiofréquences dans le champ lointain ou dans le champ proche rayonnant (régions II-1 et III-1 du plan source-environnement) d'une ou de plusieurs sources, avec **un** réflecteur environnemental, par exemple réflexion du toit ou réflexion du sol dans des zones ouvertes et semi-construites.
- Egalement utilisable dans des environnements plus complexes mais une analyse de l'incertitude plus approfondie est dans ce cas nécessaire.

c) Lancer de rayons – l'algorithme à rayons multiples est en général utilisé pour:

- L'évaluation d'intensité du champ de radiofréquences dans le champ lointain ou dans le champ proche rayonnant d'une ou de plusieurs sources, avec **plusieurs** réflecteurs environnementaux (régions II-M et III-M du plan-source environnement), par exemple des toits complexes ou des zones construites complexes.
- Cette méthode fournirait en théorie des résultats plus précis que les techniques à un seul ou à deux rayons, mais pour qu'il en soit ainsi, des informations très détaillées et très précises sont nécessaires concernant les divers objets environnementaux. Dans la pratique, les méthodes à un ou à deux rayons, avec une analyse appropriée de l'incertitude et tenant compte des éventuels réflecteurs environnementaux multiples, pourraient suffire.

6.3.3.1.2 Exigences relatives aux données d'entrée pour les algorithmes de lancer de rayons

Les exigences relatives aux données d'entrée pour les techniques de lancer de rayons sont énumérées ci-après:

- puissance de l'émetteur;
- pertes dues au système de transmission de radiofréquences;
- gain d'antenne;
- ouverture d'antenne;
- diagramme d'antenne;
- hauteur de montage, position et orientation de l'antenne;
- caractéristiques d'encombrement environnemental (sol, bâtiments);
- topographie.

Si une ou plusieurs des valeurs de données d'entrée sont inconnues, il est encore possible d'utiliser le lancer de rayons, mais l'estimation de l'incertitude doit inclure des sources supplémentaires d'incertitude liée aux valeurs des données estimées.

6.3.3.1.3 Description des algorithmes de lancer de rayons

Les algorithmes de lancer de rayons utilisent une approche simple qui tire parti d'une synthèse du diagramme de rayonnement de l'antenne et de la propagation des ondes dans l'espace libre sphérique pour calculer des valeurs de champ approchées dans le champ proche rayonnant ainsi que dans le champ lointain des antennes (régions II-* et III-* du plan source-environnement). Les paramètres d'antenne (gain, coupes du champ lointain horizontal et vertical) sont en général obtenus à partir des données publiées par les fabricants. La méthodologie est largement connue et peut être utilisée pour évaluer des sources multiples et des fréquences différentes. Les détails techniques concernant la mise en œuvre des algorithmes de lancer de rayons sont donnés dans, par exemple, les références [3], [4], [5], [6], [7], [8] et [9].

La Figure 8 illustre la géométrie et les paramètres types d'application du lancer de rayons avec le modèle synthétique où r_1 à r_5 représentent le trajet direct du centre des cinq éléments rayonnants individuels dans le réseau au point d'intérêt et r'_5 représente le trajet à deux rayons de l'élément le plus bas du réseau réfléchissant du sol au point d'intérêt.

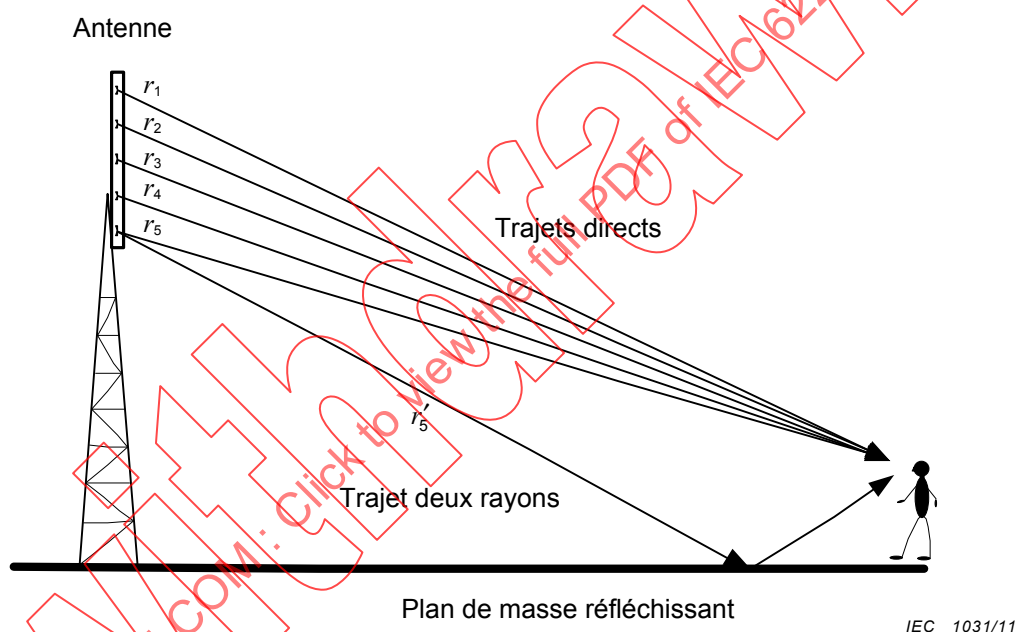


Figure 8 – Géométrie et paramètres du lancer de rayons (modèle synthétique)

Les algorithmes de lancer de rayons surestiment généralement l'intensité du champ de radiofréquences du fait de l'absorption de l'énergie RF dans le sol, les murs des bâtiments et autres structures artificielles qui ne sont pas prises en compte par les applications de base. Cette surestimation doit être incluse dans l'analyse de l'incertitude.

Les procédures qui doivent être suivies lorsque les algorithmes de lancer de rayons sont utilisés sont les suivantes:

- a) S'assurer que l'évaluation sera valide compte tenu des restrictions et des limites de la méthode.
- b) Choisir le logiciel commercial ou appliquer les algorithmes.
- c) Valider au moyen des exemples pré-calculés (voir H.3).
- d) Etablir les paramètres d'entrée (voir 6.3.3.1.2).
- e) Effectuer l'évaluation (appliquer le lancer de rayons).
- f) Effectuer l'analyse de l'incertitude (voir 6.3.3.1.4).
- g) Appliquer l'incertitude à l'interprétation des résultats (voir l'Article 7, l'Annexe L et l'Annexe M).
- h) Rendre compte de l'évaluation dans un rapport (voir l'Article 8).

6.3.3.1.4 Paramètres d'incertitude du lancer de rayons

Les facteurs d'incertitude pour le lancer de rayons s'inscrivent dans trois catégories: le système émetteur, la technique de modélisation et l'environnement. Le Tableau 6 identifie les principaux facteurs liés à l'incertitude pour ces trois catégories. Le vérificateur doit travailler dans ce sens pour s'assurer qu'il comprend et soumet à essai chaque source d'incertitude applicable.

6.3.3.2 Calcul par onde complète de l'intensité de champs de radiofréquences

6.3.3.2.1 Applicabilité du calcul par onde complète de l'intensité de champs de radiofréquences

Les techniques d'analyse par onde complète (c'est-à-dire les méthodes nécessitant de résoudre les équations de Maxwell à tout emplacement) sont essentiellement utilisées lorsqu'il est nécessaire d'obtenir une précision élevée d'évaluation des champs de radiofréquences, par exemple pour l'évaluation de l'intensité de champs RF ou du DAS d'une RBS dans la région I d'une source (le champ proche réactif de la ou des antennes), où les méthodes de lancer de rayons ne peuvent pas être utilisées avec suffisamment d'exactitude. Un modèle numérique précis et réaliste de l'antenne doit être élaboré pour une analyse par onde complète du champ. Il est possible de modéliser plusieurs antennes (sources) à des fréquences multiples.

Les méthodes par onde complète peuvent également être utilisées dans la région II de la source (~champ proche rayonnant) et dans la région III de la source (~champ lointain) mais l'effort investi pour élaborer un modèle précis ainsi que les besoins accrus en matière de ressources informatiques peuvent ne pas justifier la faible augmentation de précision obtenue dans ces régions par rapport aux techniques de lancer de rayons. Le Tableau 4 résume une application recommandée (1) et les applications admises (2 à 4) pour les évaluations par onde complète de champ. Si l'une des techniques par onde complète est utilisée pour l'analyse dans la région I de la source (~champ proche réactif) avec un ou plusieurs réflecteurs présents dans la région I de la source, il est nécessaire de disposer d'une description détaillée de la géométrie du ou des réflecteurs et de les inclure dans le modèle.

Il est admis d'utiliser l'analyse par onde complète dans les régions II et III de la source (~champ proche rayonnant ou ~champ lointain). Pour ces scénarios, les antennes, et éventuellement un plan de masse, peuvent être inclus dans l'analyse par onde complète. Si les réflecteurs environnementaux sont plus nombreux (région M de l'environnement), une analyse de l'incertitude élargie est requise pour tenir compte de ces réflexions.

6.3.3.2.2 Exigences relatives au calcul par onde complète de l'intensité de champs de radiofréquences

Les ressources informatiques nécessaires pour effectuer une analyse par onde complète varient largement en fonction de la complexité et de la taille de la structure analysée, ainsi qu'en fonction de la méthode d'analyse choisie. Pour pouvoir modéliser une antenne et évaluer l'intensité de champ RF, les données minimales suivantes sont nécessaires:

- puissance de l'émetteur;
- pertes dues au système de transmission de radiofréquences;
- description détaillée de la géométrie de l'antenne;

NOTE Cependant, le modèle peut être simplifié pour réduire les coûts de calcul en omettant par exemple des détails inutiles qui n'affectent pas les résultats, tels que le réseau d'alimentation ou en "lissant" un plan métallique irrégulier dont les variations sont beaucoup plus faibles que celles d'une longueur d'onde à plan régulier. Il est possible également d'omettre les détails tels que les vis et joints ou encore les orifices qui sont bien plus petits que la longueur d'onde ($\lambda_0/20$ de la fréquence la plus élevée); dans ce cas il est possible par exemple d'obstruer les trous de fixation. En outre, pour les simulations d'antennes de stations de base, il est possible en général de ne pas tenir compte des structures de radôme diélectrique.

- l'excitation de l'élément d'antenne;
- hauteur de montage, position et orientation de l'antenne.

En outre, aux fins de vérification, les données suivantes doivent être obtenues auprès du fabricant:

- gain d'antenne
- diagramme d'antenne;

Les données d'encombrement environnemental (sol, bâtiments) et les données topographiques sont requises ou doivent être prises en compte dans l'analyse d'incertitude/rapport.

NOTE Les données concernant l'environnement ne sont pas une exigence pour les évaluations de la conformité du produit si on considère par hypothèse que l'antenne transmet en espace libre.

6.3.3.2.3 Description du calcul par onde complète de l'intensité des champs de radiofréquences

Les principales méthodes utilisées avec l'analyse par onde complète sont la méthode des moments (MmM) [15], [35], [10], [11], [48], la méthode des éléments finis (FEM) [12], [13], [14], [15], [48] et la méthode des différences finies dans le domaine temporel (FDTD) [10], [16], [17], [18], [19], [48]. Ces méthodes sont complexes et difficiles à mettre en œuvre. Il existe néanmoins divers progiciels du commerce (ainsi que de nombreux logiciels de recherche développés en interne) utilisables pour l'analyse par onde complète des champs. D'autres techniques existent également et sont utilisées dans les progiciels du commerce. Ils sont étroitement liés aux trois méthodes mentionnées ci-dessus.

Chacune de ces trois méthodes a ses propres avantages et inconvénients. L'Annexe G fournit des informations spécifiques à chaque méthode d'évaluation par onde complète des champs.

Les procédures qui doivent être suivies pour effectuer une analyse par onde complète des champs, qu'il s'agisse d'un progiciel du commerce ou d'une application interne mettant en œuvre l'une des trois techniques, sont les suivantes:

- a) S'assurer que l'évaluation sera valide compte tenu des restrictions et des limites de la méthode.
- b) Choisir le code du commerce ou mettre en œuvre la méthode.
- c) Valider le code 3D par rapport aux résultats de référence (voir H.4).
- d) Préparer des modèles d'antennes détaillés et vérifier par rapport aux mesures pour les évaluations dans la région I de la source.
- e) Effectuer une évaluation du champ pour chaque antenne (voir Annexe G).
- f) Étudier la convergence de chaque antenne (voir Annexe G).
- g) Valider les résultats de la convergence par rapport aux spécifications de l'antenne (de chaque antenne).
- h) Effectuer des calculs de champ pour toutes les antennes (voir Annexe G).
- i) Effectuer une analyse de l'incertitude (voir 6.3.3.2.4).
- j) Utiliser l'analyse de l'incertitude pour l'interprétation des résultats (voir l'Article 7, l'Annexe L et l'Annexe M).
- k) Rapport d'évaluation (voir l'Article 8).

6.3.3.2.4 Incertitude du calcul par onde complète de l'intensité des champs de radiofréquences

Divers paramètres doivent être pris en compte dans l'estimation de l'incertitude élargie liée à une solution par onde complète d'évaluation des champs. Le Tableau 7 est un modèle d'estimation de l'incertitude énumérant les différents paramètres d'incertitude qui doivent être pris en compte lorsque l'on utilise l'analyse par onde complète de l'intensité des champs de radiofréquences - voir également O.5.

Tableau 7 – Exemple de modèle d'estimation de l'incertitude élargie pour un calcul de l'intensité des champs de radiofréquences utilisant la technique d'analyse par onde complète

[illegible]

6.3.3.3 Calcul par onde complète du DAS

6.3.3.3.1 Applicabilité des méthodes par onde complète d'évaluation du DAS

L'avantage des techniques par onde complète est qu'outre l'évaluation du champ, elles peuvent également être utilisées pour évaluer le DAS et par conséquent permettre une comparaison avec la limite de conformité du DAS applicable. Le paragraphe 6.3.3.2.1 fournit des informations sur les différentes méthodes et leur applicabilité pour l'évaluation des champs électromagnétiques dans la région de champ proche d'une antenne. Toutes les questions traitées en 6.3.3.2.1 doivent être prises en compte dans les analyses par onde complète du DAS car cela fait référence à la précision de la modélisation numérique de la (des) antenne(s) utilisables comme sources pour les calculs par onde complète du DAS. D'autres points sont décrits dans leurs grandes lignes dans le présent paragraphe. L'Annexe G fournit des informations spécifiques à la méthode. Le Tableau 4 (voir 6.3.1) résume les applications pour des évaluations par onde complète du DAS.

6.3.3.3.2 Exigences relatives aux méthodes de calcul par onde complète du DAS

Outre les éléments énumérés en 6.3.3.2.2, il est nécessaire de disposer d'un fantôme ou d'un modèle du corps humain incluant des données sur les paramètres électriques du matériel (permittivité et conductivité applicables à la fréquence étudiée) et sur la masse volumique. Tout fantôme peut être utilisé pour l'évaluation, cependant une analyse complète de l'incertitude doit être réalisée.

6.3.3.3.3 Description des méthodes de calcul par onde complète du DAS

La méthode la plus souvent utilisée pour une évaluation par onde complète du DAS est la méthode des différences finies dans le domaine temporel (FDTD pour Finite-Difference Time-Domain) [15], [35], [10], [16], [12], [13], [17], [14]. Cette méthode peut être utilisée pour modéliser la source (antenne de la RBS) comme discuté en 6.3.3.2; elle est idéale pour modéliser le corps humain hétérogène. Les analyses par onde complète du DAS ont utilisé avec succès à la fois la méthode des éléments finis (FEM) [15], [35], [10], [16], [12], [13], [17], [14] et la méthode des moments (MoM) [15], [35], [10], [16], [12], [13], [17], [14] ainsi que des hybrides de ces techniques. Divers logiciels du commerce (ainsi que de nombreux logiciels de recherche développés en interne) sont disponibles et peuvent être utilisés pour l'analyse par onde complète du DAS.

Les procédures suivantes doivent être suivies pour effectuer une analyse par onde complète du DAS, au moyen soit d'un logiciel du commerce, soit d'une application interne mettant en œuvre l'une des trois techniques:

- a) S'assurer que l'évaluation sera valide compte tenu des restrictions et des limites de la méthode.
- b) Choisir le code du commerce ou mettre en œuvre la méthode.
- c) Réaliser la validation de l'antenne source (voir 6.3.3.2).
- d) Validation du code 3D par rapport aux résultats de référence (voir H.5);
- e) Préparation des modèles d'antennes détaillés (voir 6.3.3.2) et vérification par rapport aux mesures pour les évaluations dans la région I de la source.
- f) Préparation du modèle complet avec le fantôme sélectionné (voir Annexe G).
- g) Effectuer le calcul du DAS (voir Annexe G).
- h) Etudier la convergence des résultats du DAS (voir Annexe G).
- i) Analyse de l'incertitude (voir 6.3.3.3.4).
- j) Utilisation de l'analyse de l'incertitude pour interpréter les résultats (voir l'Article 7, l'Annexe L et l'Annexe M).
- k) Elaboration du rapport d'évaluation (voir l'Article 8).

6.3.3.3.4 Incertitude du calcul par onde complète du DAS

Pour le calcul par onde complète du DAS, l'analyse de l'incertitude comprend les incertitudes associées à la modélisation de la source (antenne) ainsi que les paramètres d'incertitude liés au fantôme et aux simulations du fantôme. Le Tableau 8 définit la liste des paramètres qui doivent être pris en compte (voir O.5 et O.7 ainsi que [61] et [76]). Des tableaux séparés d'estimation de l'incertitude du DAS sont nécessaires pour DAS_{wb} , DAS_{10g} (membres ou tête/tronc), DAS_{1g} (membres ou tête/tronc).

Lorsque l'on utilise le fantôme du père de famille virtuel hétérogène [56], les informations correspondantes relatives à l'incertitude ([57], [58], [59], [60] et [72]) peuvent être utilisées pour estimer l'incertitude élargie. Si un fantôme différent est retenu, les valeurs a d'incertitude applicables doivent être déterminées pour le fantôme spécifique concerné.

Tableau 8 – Exemple de modèle d'estimation de l'incertitude élargie de calcul par onde complète du DAS

Source de l'incertitude (grandeur d'influence)	Unité	Type de loi de prob.	Incertitude ou demi-intervalle a	Diviseur d	Coeff. de sens c	Incertitude de type $u = ald$	Fact. de corr. t	c^2u^2
Systèmes								
Variation de puissance de l'émetteur RF à partir de son niveau nominal	dB	Rect.		$\sqrt{3}$	1			
Pertes du système de transmission RF	dB	Normal		1.96	1			
Désadaptation entre l'antenne et son alimentation	dB	U		$\sqrt{2}$	1			
Modèle d'antenne	dB	Normal		1.96	1			
Incertitudes liées à la technique								
Technique d'analyse	dB	Normal		1.96	1			
Résolution du modèle (erreurs liées à une discrétisation finie)	dB	Normal		1.96	1			
Interpolations / Extrapolation	dB				1			
Etat stable (FDTD)	dB	Rect.		$\sqrt{3}$	1			
Pour FDTD/FEM: Efficacité de la condition de limite d'absorption	dB	Rect.		$\sqrt{3}$	1			
Pour FDTD: Imprécision liée à la troncature du temps de simulation	dB	Rect.		$\sqrt{3}$	1			
Incertitudes liées à l'environnement								
Propagation des fréquences radioélectriques - réflexions multiples, diffuseurs et pertes dues aux fouillis	dB	rect.		$\sqrt{3}$	1			
Incertitudes liées au fantôme								
Position et posture du fantôme	dB				1			
Rotation du fantôme	dB				1			
Forme et dimension du fantôme	dB				1			
Estimations des paramètres du matériel électrique	dB				1			
Facteur de correction pour un fantôme homogène (le cas échéant)	dB				1			

Tableau 8 – Exemple de modèle d'estimation de l'incertitude élargie de calcul par onde complète du DAS (suite)

Source de l'incertitude (grandeur d'influence)	Unité	Type de loi de prob.	Incertain-tude ou demi-intervalle a	Diviseur d	Coeff de sens c	Incertain-tu de type $u_i = a/d$	Fact. de corr. t	$c^2 u^2$
Incertain-tudes liées aux calculs du DAS								
Incertain-tudes de l'algorithme de la valeur crête du DAS du corps entier et du DAS localisé. Celles-ci pourraient être particulièrement importantes pour des calculs de valeurs crêtes du DAS localisé	dB				1			
Erreurs dues à une discrétisation finie du modèle de fantôme humain	dB				1			
Dans le champ proche réactif, les erreurs introduites dans la répartition d'énergie de l'élément d'antenne, du fait de la présence du fantôme et de ses effets sur le réseau d'alimentation réactif [20].	dB				1			
Facteur de correction composé, $t_c = \sum_{i=1}^N t_i$								N/A
Incertain-tude-type composée, $u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^N (c_i^2 u_i^2)}$								
Facteur d'élargissement pour un niveau de confiance requis (par exemple, de 95 %), k								
Incertain-tude élargie, $U = k \times u_c$								
NOTE 1 La valeur du diviseur d pour la loi de probabilité normale s'applique à un niveau de confiance de 95 %, voir O.2.								
NOTE 2 Les erreurs d'arrondi sont négligeables en comparaison à toutes autres incertain-tudes énumérées ci-dessus.								
NOTE 3 Une autre approche conservatrice d'estimation de l'incertain-tude-type pour la désadaptation de l'antenne consiste à considérer une adaptation parfaite.								
NOTE 4 Voir l'Annexe O pour des recommandations sur les variables du présent tableau.								

6.4 Extrapolation des valeurs de DAS/intensité de champs RF évaluées aux conditions d'évaluation exigées

6.4.1 Méthode d'extrapolation

Lorsque la configuration de l'évaluation de l'EUT est différente de la configuration de l'évaluation requise, il est possible d'effectuer soit une seule mesure en indiquant qu'il s'agit d'une mesure instantanée dont la valeur risque d'être inférieure à la valeur potentielle du DAS/intensité maximale des champs de radiofréquences, soit un facteur de correction (le facteur d'extrapolation) doit être appliqué à la valeur évaluée de l'intensité des champs de radiofréquences ou du DAS.

L'extrapolation doit suivre les étapes suivantes:

- Etablir les valeurs des paramètres qui définissent la configuration de la RBS telle qu'évaluée (la configuration de l'évaluation) et la configuration de la RBS à apprécier (la configuration de l'évaluation). Si nécessaire, il faut tenir compte des critères pertinents pour définir le cas potentiel d'une intensité maximale des champs de radiofréquences (voir 6.4.2 et 6.4.3). Identifier les paramètres applicables qui affectent l'intensité des champs de radiofréquences ou le DAS.
- Etablir le facteur d'extrapolation spécifique au cas considéré F_{ext} (voir Annexe N), en tenant compte de tous les paramètres pertinents.

- c) Déterminer l'intensité des champs de radiofréquences ou du *DAS* pour la configuration de l'évaluation en appliquant le facteur d'extrapolation F_{ext} aux valeurs évaluées d'intensité de champs de radiofréquences/ *DAS* de la manière suivante:

$$E_{\text{asmt}} = E_{\text{eval}} \times \sqrt{F_{\text{ext}}} \quad (11)$$

$$H_{\text{asmt}} = H_{\text{eval}} \times \sqrt{F_{\text{ext}}} \quad (12)$$

$$S_{\text{asmt}} = S_{\text{eval}} \times F_{\text{ext}} \quad (13)$$

$$DAS_{\text{asmt}} = DAS_{\text{eval}} \times F_{\text{ext}} \quad (14)$$

où

E_{asmt}	est le champ E de l'évaluation (V m^{-1});
E_{eval}	est le champ E évalué (V m^{-1});
H_{asmt}	est le champ H de l'évaluation (V m^{-1});
H_{eval}	est le champ H évalué (V m^{-1});
S_{asmt}	est la densité de puissance appréciée (W m^{-2});
S_{eval}	est la densité de puissance évaluée (W m^{-2});
DAS_{asmt}	est le DAS de l'évaluation (W kg^{-1});
DAS_{eval}	est le DAS évalué (W kg^{-1}).

EXEMPLE 1 En fonction de la technologie spécifique utilisée, l'intensité des champs de radiofréquences mesurée d'une partie stable du signal transmis (par exemple un "canal de commande") peut être utilisée pour déterminer l'intensité des champs de radiofréquences correspondant à l'intensité maximale du champ RF pour le RBS dans les conditions d'évaluation requises. Par exemple, une telle extrapolation peut être utilisée pour évaluer l'intensité du champ du RF si le RBS lorsque la transmission est à son niveau maximum de puissance (per exemple, opérant à pleine capacité avec tous les canaux de transmissions à leurs niveaux respectifs de puissance maximales) si c'était l'exigence pour une décision de conformité.

EXEMPLE 2 Une RBS temporaire peut être évaluée dans le cadre d'une étape préliminaire avant le déploiement final. Le niveau de puissance RF transmis et la directivité de l'antenne de la RBS temporaire peuvent être différents de ceux de la RBS finale proposée. L'intensité maximale du champ de radiofréquences peut être estimée sur la base des valeurs connues du gain de l'antenne concernée (compte tenu de l'orientation vers les lieux d'évaluation) et des paramètres de puissance transmise de la RBS temporaire et de la RBS finale.

6.4.2 Extrapolation à une intensité maximale du champ de radiofréquences utilisant des mesures à large bande

Les mesures à large bande ne peuvent être extrapolées avec précision pour déterminer la valeur maximale d'intensité du champ de radiofréquences que si les conditions de mesure suivantes sont appliquées:

- les paramètres de l'EUT au moment de la mesure sont connus (notamment la puissance transmise);
- il n'y a pas de signaux ambiants significatifs (voir l'Annexe K); et
- les transmissions de l'EUT s'effectuent dans une gamme de fréquences unique (connue).

Dans toutes les autres conditions, les hypothèses suivantes sont exigées et entraînent une surestimation de l'intensité maximale du champ:

- l'EUT (ainsi que les éventuels signaux ambiants pertinents) est en fonctionnement à la puissance d'émission la plus faible – par exemple seule la composante des signaux invariable dans le temps est présentée (voir l'Annexe N);
- appliquer le facteur d'extrapolation le plus élevé de tous les systèmes actifs au voisinage du point de mesure;

- lorsqu'il s'agit d'évaluer le quotient d'exposition, si la limite correspondante dépend de la fréquence, appliquer la valeur limite la plus faible pour la gamme de fréquences des champs de radiofréquences mesurés.

L'amplitude de la surestimation doit être prise en compte et consignée dans le rapport.

6.4.3 Extrapolation à une intensité maximale du champ de radiofréquences pour des mesures sélectives en code et en fréquence

Pour extrapoler les signaux variables dans le temps aux éventuelles conditions de puissance de sortie maximale, une composante invariable dans le temps du signal (par exemple le canal pilote et le canal de commande – voir Annexe N) est évaluée. Le rapport entre la valeur maximale possible du signal et la composante invariable dans le temps du signal est déterminé sur la base des connaissances acquises de la technologie et sur la base de la configuration de la RBS spécifique. Ce rapport est utilisé pour déterminer le facteur d'extrapolation. Des exemples sont donnés dans l'Annexe N pour certaines des technologies les plus usitées, telles que l'AMRT (GSM, TETRA) et l'AMRC à bande élargie.

S'il n'est pas possible d'isoler l'intensité du champ de radiofréquences de la partie invariable dans le temps du signal (par exemple des canaux pilotes – voir l'Annexe N), l'approche surestimant l'intensité maximale de champ de radiofréquences consiste ici encore à appliquer le rapport établi et de supposer que les niveaux évalués (E_{eval} , H_{eval} , S_{eval}) proviennent uniquement de la partie invariable du signal. L'incertitude due à la mesure et à l'extrapolation doit être prise en compte et consignée dans le rapport.

EXEMPLE Soit le cas d'une RBS GSM capable de transmettre simultanément à 10 W sur chacune des quatre fréquences, y compris la composante invariable dans le temps (BCCH), c'est-à-dire $F_{\text{ext}} = 4$. Soit le cas où, au moment de la mesure, la puissance transmise (temporelle) moyenne $\bar{P}_{\text{avg}}$ était équivalente à 25 W. Si le champ électrique de BCCH peut être discriminé, alors $E_{\text{eval}} = E_{\text{BCCH}}$ et E_{asmt} peut être déterminé plus précisément à partir de $E_{\text{asmt}} = E_{\text{eval}} \times \sqrt{4}$. S'il n'a pas été possible de discriminer le champ électrique à partir de BCCH $E_{\text{eval}} = \sqrt{\frac{25}{10}} \times E_{\text{BCCH}}$, une extrapolation fondée sur $E_{\text{asmt}} = E_{\text{eval}} \times \sqrt{4}$ surestime E_{asmt} par un facteur de $\sqrt{\frac{25}{10}}$. L'étendue de la surestimation dépend par conséquent du rapport $\sqrt{\frac{E_{\text{eval}}}{E_{\text{BCCH}}}}$. L'estimation de l'incertitude surestimée dépend de la connaissance de la loi de probabilité dans le temps de $\bar{P}_{\text{avg}}$ entre, dans ce cas, 10 W et 40 W, c'est-à-dire +0 dB à +6 dB compte tenu de l'absence de tout autre champ RF ambiant.

6.5 Sommation de champs de radiofréquences multiples

6.5.1 Applicabilité

Il est nécessaire d'effectuer la sommation des champs de radiofréquences pour une valeur combinée d'intensité de champs de radiofréquences ou de DAS dans les situations suivantes:

- lorsque la RBS émet des champs de radiofréquences sur de multiples fréquences et/ou de multiples bandes de fréquence;
- lorsqu'il s'agit d'évaluer des champs de radiofréquences de plusieurs sources.

Le rapport technique CEI 62630 [55] fournit des recommandations quant à la manière d'effectuer la sommation de ces champs, selon qu'ils ont ou non une corrélation temporelle. La corrélation temporelle s'applique sachant que la méthode de la sommation des champs et les instruments de mesure correspondants sont étroitement liés à la corrélation des champs. On sait notamment que des champs ayant des fréquences distinctes sont nécessairement non corrélés dans le temps, puisque de nombreux cas pratiques présentent des sources qui fonctionnent dans des bandes différentes (par exemple, GSM et Wi-Fi).

6.5.2 Champs non corrélés

En vertu des hypothèses posées en [55] qui s'appliquent généralement aux systèmes communs de communication sans fil, il est possible, pour les signaux non corrélés, de calculer la somme algébrique du DAS et de la densité de puissance en tout point de l'espace, conformément aux formules suivantes, dans le cas de sources de champs N générant des distributions particulières du DAS [$DAS_k(x,y,z)$] ou de la densité de puissance [$S_k(x,y,z)$]:

$$SAR_T(x,y,z) = \sum_{k=1}^N DAS_k(x,y,z) \quad (15)$$

$$S_T(x,y,z) = \sum_{k=1}^N S_k(x,y,z) \quad (16)$$

NOTE En cas d'application de limites de densités de puissance qui dépendent de la fréquence, $S_{\lim}(f)$, comme l'exigent certaines recommandations internationales d'exposition, il convient d'exprimer la sommation de la densité de puissance en termes de quotients d'exposition:

$$EQ_T(x,y,z) = \sum_{k=1}^N EQ_k(x,y,z) = \sum_{k=1}^N \frac{S_k(x,y,z)}{S_{\lim}(f_k)} \quad (17)$$

où f_k sont les fréquences de champ et l'indice T est utilisé pour indiquer total.

De ce fait, les sondes de champ scalaires (par exemple des doublets-détecteurs à diodes miniatures), qui sont déjà largement utilisées dans les mesures d'intensité des champs de radiofréquences, sont également appropriées pour la sommation de champs non corrélés.

6.5.3 Champs corrélés

Des champs corrélés présentent nécessairement des bandes de fréquence qui se chevauchent [55]. La sommation de plusieurs champs corrélés implique le calcul de la somme vectorielle des champs individuels:

$$|e(x,y,z)|_{\text{eff.}}^2 = \left| \sum_{k=1}^N e_k(x,y,z) \right|_{\text{eff.}}^2 = \sum_{w=x,y,z} \left| \sum_{k=1}^N e_k^w(x,y,z) \right|_{\text{eff.}}^2 \quad (18)$$

où $e_k = \hat{x}e_k^x + \hat{y}e_k^y + \hat{z}e_k^z$, $k = 1 \dots N$ et le symbole caret indique un vecteur unitaire.

Cette approche rigoureuse peut entraîner un accroissement notable de la complexité de mesure car il faudrait utiliser des capteurs vectoriels capables de mesurer l'amplitude et la phase de chaque composante du champ. Par conséquent, il est souhaitable de permettre l'utilisation de capteurs de champ scalaires largement disponibles dans le commerce lorsqu'il s'agit d'effectuer la sommation de champs multiples corrélés; deux approches conservatrices permettant l'utilisation de capteurs scalaires sont donc présentées en [55].

6.5.4 Champs ambiants

Les considérations ci-dessus, relatives à la sommation des champs, s'appliquent à des sources connues et non connues générant des champs ambiants. Peu d'informations sont disponibles concernant les champs ambiants, et il est fréquent, à quelques exceptions près (par exemple à proximité des stations de radiodiffusion) que les niveaux produits soient très

faibles. Par conséquent, il convient de considérer ces champs comme non corrélés dans le temps par rapport à d'autres champs.

7 Incertitude

7.1 Contexte

Même si elles sont effectuées avec beaucoup de soin et d'attention, les mesures ou les calculs de l'intensité de champs de radiofréquences ou du DAS comportent toujours un certain degré d'erreur aléatoire. Une analyse méticuleuse permet de quantifier de manière statistique les limites de cette erreur et de la présenter comme une estimation de l'incertitude. L'estimation de l'incertitude d'une évaluation constitue également une mesure de qualité qui permet d'obtenir un niveau de confiance en termes de fiabilité. Ces estimations sont notamment importantes lorsqu'il s'agit de déterminer la conformité aux limites.

NOTE Par exemple, un automobiliste prudent peut conduire légèrement en dessous de la limite de vitesse exigée pour tenir compte d'une erreur éventuelle de son compteur de vitesse. Inversement, lorsqu'il s'agit de juger des excès de vitesse, il est commun de permettre des vitesses légèrement plus élevées que la limite autorisée afin de tenir compte d'une certaine surestimation de la vitesse du conducteur mesurée par un radar de police ou une caméra de surveillance de la vitesse.

7.2 Exigences de calcul de l'incertitude

Lorsqu'une méthode d'évaluation est conçue pour fournir uniquement une valeur "conservatrice", les sources d'incertitude doivent être enregistrées et évaluées de manière à démontrer que les contraintes applicables à l'incertitude sont satisfaites.

Autrement, une estimation de l'incertitude doit être calculée pour chaque intensité de champ de radiofréquences mesurée et calculée ou pour toute évaluation du DAS effectuée de manière à obtenir des données pertinentes conformément au schéma d'évaluation applicable (voir Annexe M).

NOTE En général, l'estimation de l'incertitude fournira la meilleure estimation (c'est-à-dire la plus probable) de la valeur du mesurande ainsi que les limites supérieure et inférieure de l'incertitude pour un intervalle de confiance (IC) de l'évaluation de 95 %, par exemple ± 3 dB.

7.3 Méthode de calcul de l'incertitude

En général, le calcul d'une estimation de l'incertitude comporte les quatre tâches suivantes:

- identification de toutes les sources d'incertitude (c'est-à-dire les grandeurs d'influence) qui risquent raisonnablement d'entraîner une variation ou une incertitude significative de l'évaluation. (voir le Tableau 2, le Tableau 3, le Tableau 6, le Tableau 7 et le Tableau 8);
- pour chaque source d'incertitude, une estimation du type de loi de probabilité et des paramètres correspondants;
- une définition de la manière dont les sources d'incertitude sont combinées pour fournir une valeur de l'incertitude totale (c'est-à-dire un modèle mathématique définissant la manière dont les grandeurs d'influence sont combinées ou additionnées);
- un calcul de la meilleure estimation de l'évaluation et de l'incertitude élargie pour un IC de 95 %.

NOTE En fonction du schéma d'évaluation (voir l'Annexe M) utilisé, il est admis que la meilleure estimation ne convienne pas comme valeur de comparaison.

Il existe de nombreuses et excellentes références et publications quant à la manière de calculer l'incertitude, parmi lesquelles le Guide ISO/CEI 98-3:2008. L'Annexe O fournit des conseils et informations spécifiques quant à la manière de calculer l'incertitude pour des évaluations de l'exposition aux fréquences radioélectriques.

7.4 Limites de l'incertitude des grandeurs d'influence de l'appareillage de mesure

L'Annexe E spécifie des restrictions normatives quant à la valeur de l'incertitude-type de diverses grandeurs d'influence d'appareils de mesure utilisés pour les évaluations de l'intensité de champ de radiofréquences.

7.5 Application de l'incertitude pour des évaluations de la conformité

Il existe diverses possibilités d'utilisation de l'incertitude pour déterminer ou vérifier la conformité de l'intensité de champs de radiofréquences ou du DAS par rapport à une limite spécifiée, le schéma d'évaluation (voir l'Annexe M).

Deux approches sont généralement utilisées pour traiter l'incertitude (voir Figure O.1), c'est-à-dire:

- L'approche de risque partagé pour laquelle la valeur de la meilleure estimation est comparée à la limite applicable et l'incertitude élargie ne doit dépasser une valeur maximale définie; et,
- L'approche conservatrice pour laquelle la valeur supérieure du niveau de confiance de 95 % est comparée à la limite applicable.

Dans les deux cas, l'incertitude élargie est généralement estimée pour un intervalle de confiance de 95 %.

Pour comprendre la probabilité de concordance entre deux déterminations indépendantes de la conformité, il est nécessaire, pour chaque détermination, de tenir compte de la manière dont l'incertitude est traitée ainsi que du schéma d'évaluation (voir l'Annexe M).

NOTE Par exemple, un vérificateur peut utiliser la limite supérieure de l'IC de 95 % de son évaluation pour établir une frontière de conformité, et inversement, un second vérificateur, l'auditeur, chargé de contrôler l'évaluation initiale, peut utiliser la limite inférieure de l'IC de 95 % pour vérifier la conformité à la frontière du premier vérificateur. De la même manière, le vérificateur et l'auditeur peuvent tout simplement appliquer les meilleures estimations de leurs évaluations.

La présente norme admet que la spécification du schéma d'évaluation incombe à l'autorité de réglementation compétente ou au client. Cependant, lors du choix d'un schéma d'évaluation approprié, il est recommandé de tenir compte des éléments suivants:

- a) Quelle est la probabilité de détermination d'une non conformité; en d'autres termes un auditeur déclare non conforme à la limite pertinente l'intensité du champ de radiofréquences ou le DAS obtenu à la frontière de conformité du vérificateur?
- b) Quelle est la probabilité d'une erreur de conformité; en d'autres termes un auditeur décide que la frontière de conformité du vérificateur est conforme à la limite pertinente alors qu'en réalité elle ne l'est pas?
- c) Quelle est la probabilité d'une erreur de non conformité; en d'autres termes un auditeur décide que la frontière de conformité du vérificateur n'est pas conforme à la limite pertinente alors qu'en réalité elle l'est?
- d) Quelle est la pénalité appliquée à la comparaison de l'évaluation avec la limite de conformité applicable?

De plus amples informations sur les schémas d'évaluation sont fournies dans l'Annexe M. L'Annexe L fournit des recommandations d'application des schémas d'évaluation pour la détermination de la conformité à une limite donnée.

8 Rapport

8.1 Contexte

Les deux principaux objectifs du rapport sont les suivants: qu'une autre personne qualifiée dispose de toutes les informations nécessaires pour répéter l'évaluation ; et de présenter les résultats de l'évaluation.

De manière générale, le rapport comprend:

- Des fiches techniques d'évaluation - utilisées pour enregistrer les réglages des équipements ainsi que les résultats mesurés ou calculés.
- Le rapport final – un rapport technique détaillé et un résumé. Le résumé est généralement fourni au client et son contenu varie considérablement en fonction des exigences du client.

Le rapport technique doit consigner tous les aspects liés à l'évaluation conformément à la présente norme (voir l'Annexe P et [54]).

8.2 Rapport d'évaluation

8.2.1 Généralités

Le rapport d'évaluation doit se conformer aux exigences d'ordre général définies au 5.10 de l'ISO/CEI 17025:2005.

Toutes les informations pertinentes utilisées pour élaborer le rapport d'évaluation doivent être consignées sur une fiche technique - qui peut être en format papier ou électronique.

8.2.2 Fiche technique de mesure

- Appareillage de mesure utilisé
- Méthode utilisée telle que sélective en fréquence ou à large bande, à moyennage spatial ou crête, etc.
- Toute autre information permettant la répétabilité et la reproductibilité des résultats mesurés
- Les unités et les opérations nécessaires de traitement ultérieur des données pour celles qui n'ont pas été traitées
- Les données réellement mesurées
- D'autres informations comme indiqué en 5.10 de l'ISO/CEI 17025:2005

8.2.3 Fiche technique de calcul

- Les paramètres d'entrée utilisés dans le modèle
- La traçabilité de la validation
- Le modèle choisi (par onde complète, lancer de rayons, etc.)
- Toute autre information permettant la répétabilité et la reproductibilité des résultats calculés
- Les unités utilisées pour les données non traitées
- Les données réellement calculées
- D'autres informations comme indiqué en 5.10 de l'ISO/CEI 17025:2005

8.2.4 Rapport final

Le format doit être choisi de manière à tenir compte de chaque type d'évaluation effectuée et de réduire au minimum toute possibilité de malentendu ou d'usage abusif. Des exemples de rapports sont présentés comme études de cas en [54].

NOTE 1 Il convient de prêter une attention particulière à la disposition du rapport d'essai ou du certificat d'étalonnage, notamment pour ce qui concerne la présentation des données d'essai ou d'étalonnage et leur facilité de compréhension par le lecteur.

NOTE 2 Il convient, dans toute la mesure du possible, de normaliser les titres et les rubriques.

Il convient que le rapport proprement dit comporte, de manière non limitative, les informations suivantes:

- a) un titre (par exemple "Rapport d'évaluation");
- b) le nom et l'adresse du laboratoire ainsi que le lieu où les mesures / calculs ont été effectués s'il est différent de l'adresse du laboratoire;
- c) une identification unique du rapport (comme par exemple le numéro de série), et, sur chaque page, une identification permettant de reconnaître la page comme faisant partie du rapport d'essai ainsi qu'une identification claire de la fin du rapport d'essai;
- d) le nom et l'adresse du client;
- e) une description de l'état et une identification univoque du ou des appareils évalués;
- f) la ou les dates d'exécution de l'évaluation;
- g) les lieux où l'intensité du champ de radiofréquences / DAS ont été évalués;
- h) les conditions qui peuvent affecter les données évaluées;
 - pour les évaluations effectuées à l'extérieur, une description du terrain, du sol, de son revêtement, de l'altitude du site, des coordonnées de lieu et de la position des objets diffuseurs (arbres, bâtiments, centrales d'énergie, conditions météorologiques et atmosphériques, etc.);
 - pour les évaluations effectuées en intérieur, des descriptions de la structure, y compris les matériaux de construction, les dimensions des planchers, des murs et des plafonds, les dimensions et les emplacements des fenêtres, le type d'isolation, les luminaires, les chemins de câbles électriques, les canalisations d'air, le nombre d'étages et leur altitude ainsi que les photographies;
 - les conditions généralement considérées comme des conditions d'essai particulières (proximité des antennes par rapport à des structures absorbantes, diffusantes ou re-rayonnantes placées au-dessus, sur ou sous la surface, conditions météorologiques extrêmes et déplacements de personnes inhabituels ou incontrôlables dans la zone d'étude);
- i) les méthodes d'évaluation utilisées (décrites soit explicitement, soit par référence au document décrivant la méthode d'évaluation);
- j) les résultats d'évaluation ainsi que, le cas échéant, les unités de mesure; par exemple pour des études du spectre, des tracés ou des tableaux présentant l'intensité de champs de radiofréquences par rapport à la fréquence;
- k) appareillage de mesure utilisé;
 - les listes des instruments, des antennes de mesure, etc.;
 - l'antenne de mesure/sonde utilisée (sa hauteur, les informations quant à l'orientation, le facteur/gain et le type d'antenne ainsi que la gamme de fréquences);
 - l'affaiblissement dû au câblage entre l'antenne /sonde de mesure et les appareils associés, à moins que cette perte ne soit déjà incluse dans le facteur /gain d'antenne;
 - tous les gains ou pertes des constituants du système de mesure – par exemple amplificateurs, atténuateurs, diviseurs de puissance, filtres, etc.;
 - tout réglage éventuel de l'atténuateur interne;

- la ou les fréquences mesurées;
 - la largeur de bande utilisée pour l'évaluation;
 - les fonctions choisies et les caractéristiques du détecteur – par exemple les constantes de temps, le décodage du canal;
 - les caractéristiques du filtre post-détection, telles que la largeur de bande;
 - le type de sortie – par exemple journal, enregistrement linéaire et caractéristique (par exemple la plage);
 - les niveaux de signal et de bruit mesurés;
 - la confirmation de la traçabilité de l'étalonnage;
- l) le nom, la fonction et la signature ou une identification équivalente de la ou des personnes chargées d'effectuer l'évaluation et d'approuver le rapport d'évaluation;
- m) le cas échéant, une déclaration stipulant que le résultat concerne uniquement les appareils soumis à l'essai;
- n) le cas échéant, une déclaration stipulant que l'évaluation tient compte de l'usage prévu de la RBS;
- o) l'analyse de l'incertitude;
- p) le cas échéant, le schéma d'évaluation utilisé (voir l'Article 5 et l'Annexe M).

8.3 Interprétation des résultats

8.3.1 Comparaison à la limite

L'Annexe L fournit pour information différentes options de comparaison du mesurande avec les valeurs limites correspondantes compte tenu du schéma d'évaluation applicable (voir l'Annexe M).

8.3.2 Comparaison des résultats

L'Article 6 et l'Annexe A fournissent des recommandations permettant d'établir un classement approprié entre deux évaluations.

Le paragraphe M.4 donne des recommandations concernant l'interprétation de plusieurs évaluations.

8.3.3 Avis et interprétations

Lorsque des avis et des interprétations sont prévus, le laboratoire doit justifier par écrit les fondements de ces avis et interprétations. Les avis et interprétations doivent être clairement identifiés en tant que tels dans le rapport d'évaluation.

Les avis et interprétations contenus dans un rapport d'évaluation peuvent comprendre, de manière non limitative:

- le cas échéant, un avis relatif à la déclaration de conformité/dépassement des résultats par rapport aux limites exigées;
- le respect des exigences contractuelles;
- les recommandations relatives à la manière d'utiliser les résultats;
- les lignes directrices à utiliser pour des améliorations.

Pour plus d'informations, voir l'ISO/CEI 17025.

Annexe A (normative)

Elaboration du plan d'évaluation

A.1 Présentation générale

La présente annexe décrit la manière d'élaborer le plan d'évaluation, en définissant toutes les méthodes à utiliser pour le cas d'évaluation particulier, ainsi que les lieux d'évaluation qui seront étudiés au moyen de chacune des méthodes définies.

Le plan d'évaluation doit:

- définir la ou les méthodes d'évaluation en se fondant sur l'objectif de l'évaluation par rapport aux catégories de RBS (petit dispositif autonome, RBS simple ou RBS complexe). Il est admis d'utiliser plusieurs méthodes d'évaluation. En général, il convient que le plan d'évaluation choisisse la méthode la plus simple répondant à l'objectif de l'évaluation;
- tenir compte de la validité du mesurande en se fondant sur l'emplacement des points d'évaluation par rapport aux régions du plan source-environnement (voir Annexe B);
- tenir compte des aspects pratiques pertinents et des avantages d'une évaluation par calcul par rapport à une évaluation par mesure;
- confirmer l'applicabilité de la méthode d'évaluation proposée, la disponibilité des données (tant pour l'évaluation que pour le calcul de l'incertitude), la disponibilité des instruments de mesure / ressources de calcul ainsi que les compétences du vérificateur pour entreprendre l'évaluation;
- tenir compte des exigences nationales applicables.

A.2 Détermination des paramètres d'évaluation clés

A.2.1 Objectif de l'évaluation

L'évaluation doit être classée en fonction de l'un des objectifs suivants:

- Etablir la conformité d'une RBS à un ensemble défini de conditions limites, compte tenu de son usage prévu.
- Etablir la ou les frontières de conformité d'une RBS par rapport à un ensemble défini de conditions limites.
- Fournir des informations d'intensité de champs de radiofréquences / DAS aux parties concernées, obtenues en des lieux choisis arbitrairement hors de la frontière de contrôle.
- Confirmer la validité d'une frontière de contrôle de RBS.
- Fournir des informations d'intensité de champs de radiofréquences / DAS en un ou plusieurs lieux d'évaluation à l'intérieur de la frontière de contrôle de la RBS, en appliquant par exemple les conditions spécifiques permettant d'étudier un incident de surexposition présumée.

A.2.2 Catégorie de RBS

La RBS évaluée doit être classée comme étant:

- Un petit appareil/dispositif autonome: Cette catégorie correspond à un dispositif de faible puissance, par exemple des appareils destinés au grand public tels qu'une petite station de base WiFi ou une base de téléphone sans fil, une antenne cellulaire femto/pico/micro pour utilisation à l'intérieur des bâtiments ou à couverture locale.

- Une RBS simple: Choisir cette catégorie si la RBS dispose d'un site autonome sans sources supplémentaires de fréquences radioélectriques co-localisées ou si l'objectif de l'évaluation n'exige pas une évaluation des intensités de champs de radiofréquences émises par ces sources.
- Une RBS complexe: Choisir cette catégorie si l'évaluation doit tenir compte de plusieurs antennes de RBS rayonnantes, éventuellement appartenant à plusieurs opérateurs.

A.2.3 Disponibilité des informations

Les informations nécessaires à une évaluation sont fonction de la ou des méthodes d'évaluation utilisées. Les informations nécessaires à la mise en œuvre de la méthode choisie doivent être disponibles. Dans le cas contraire, une autre méthode appropriée doit être sélectionnée.

NOTE Parmi ces informations: le gain de l'antenne, la largeur du faisceau, l'orientation, la directivité, les dimensions, la technologie (interface-air), les fréquences, la puissance transmise (c'est-à-dire la puissance RF non réfléchie aux bornes de l'antenne), la distance de la ou des sources par rapport au lieu d'évaluation, les objets diffuseurs, l'accessibilité.

Dans le cas où la configuration de l'évaluation est différente de la configuration de l'évaluation, les informations doivent être disponibles pour ces deux configurations.

A.2.4 Contrôle des paramètres d'évaluation

Il doit être établi la possibilité de contrôle des paramètres de la RBS pour l'évaluation.

NOTE Si l'évaluation comprend une mesure, l'aptitude à contrôler les paramètres de la RBS (ou au moins à connaître les paramètres précis au moment de l'évaluation) peut être un facteur décisif de l'applicabilité de certaines méthodes d'évaluation. Si la puissance et les fréquences d'émission utilisées pour l'évaluation peuvent être réglées, ceci peut permettre l'utilisation de techniques de mesure en laboratoire et à large bande.

A.2.5 Détermination des points d'évaluation sur le plan source-environnement

Il doit être établi les régions du plan source-environnement (voir Annexe B) dans lesquelles se trouvent les points d'évaluation.

A.3 Choix de la méthode d'évaluation

A.3.1 Présentation générale

La méthode d'évaluation doit être choisie en se fondant sur les recommandations de la présente Annexe compte tenu des paramètres d'évaluation clés (voir A.2) et de l'applicabilité des méthodes d'évaluation (voir l'Article 6). Plusieurs méthodes d'évaluation peuvent être valables. En cas de litige, la méthode d'évaluation ayant le rang le plus élevé prévaut (voir le Tableau A.7). Les évaluations de moindre rang sont cependant valables dans le cadre de leur applicabilité et peuvent être plus pratiques à mettre en œuvre.

Une méthode d'évaluation peut être utilisée dans le cadre de ses contraintes d'applicabilité. Les recommandations fournies dans la présente norme doivent être appliquées pour choisir la ou les méthodes d'évaluation (voir l'Article 6).

Il peut être nécessaire d'utiliser plusieurs méthodes pour mener à bien l'évaluation. (pour des exemples, voir les études de cas dans [54]).

Sélectionner la ou les méthodes d'évaluation en se conformant aux étapes suivantes:

- a) définir le mesurande approprié (voir A.3.2);
- b) sélectionner la méthode de calcul et de mesure (voir A.3.3) et choisir
 - soit la méthode de mesure (voir A.3.4);
 - soit la méthode de calcul (voir A.3.5);
- c) revoir les considérations supplémentaires (voir A.3.6).

A.3.2 Détermination du mesurande

Le Tableau A.1 définit la validité et le classement du mesurande (intensité de champ, densité de puissance, DAS) en se fondant sur l'emplacement du point d'évaluation dans le plan source-environnement (voir l'Annexe B) ainsi que la limite applicable.

Tableau A.1 – Validité du mesurande pour des points d'évaluation dans chaque région-source

Classement	Validité du mesurande d'évaluation (Mesuré / calculé) ^a		
	Région-source I	Région-source II	Région-source III
1	DAS local et du corps entier ^{b, c, f}		
2	Champ E et champ H ^{d, f}		Champ E ou champ H / Densité de puissance équivalente d'onde plane ^{e, f}

^a Le mesurande peut être exprimé comme une valeur ou comme un quotient d'exposition.

^b Certaines normes et recommandations internationales de sécurité reconnaissent explicitement le DAS comme étant une restriction de base, lui donnant ainsi la priorité sur la mesure de l'exposition à des intensités de champs de radiofréquences.

^c L'évaluation du DAS dans la région III de la source n'est pas envisagée dans la présente norme.

^d Les composantes de puissance réactive ne sont pas négligeables, de telle sorte qu'il est nécessaire d'évaluer le champ E et le champ H (voir Annexe B).

^e Le classement du moyennage spatial dépend des limites applicables selon deux cas:

Cas i) la norme de conformité ou les recommandations d'exposition applicables définissent des limites différentes pour les valeurs maximales spatiales et les valeurs moyennes spatiales d'intensité de champs de radiofréquences (les deux conditions doivent être remplies): Dans ce cas, la valeur moyenne spatiale de l'intensité de champs de radiofréquences a un classement supérieur à la valeur maximale spatiale d'intensité de champs de radiofréquences lorsqu'il s'agit d'effectuer une comparaison avec la limite à moyennage spatial. La valeur moyenne spatiale de l'intensité de champs de radiofréquences ne doit pas être comparée avec la limite de valeur maximale spatiale.

Cas ii) la norme de conformité ou les recommandations d'exposition applicables définissent une seule limite couvrant à la fois les évaluations de la valeur maximale spatiale et de la valeur moyenne spatiale: Dans ce cas, la valeur moyenne spatiale de l'intensité de champs de radiofréquences a un classement supérieur à celui de la valeur maximale spatiale de l'intensité de champs de radiofréquences sauf si la valeur maximale spatiale d'intensité de champs de radiofréquences est supérieure ou égale à la limite applicable.

^f Lorsque la norme de conformité ou les recommandations d'exposition applicables spécifient une période de moyennage temporel, l'évaluation moyennée dans le temps a un classement d'évaluation supérieur à celui de l'évaluation non moyennée dans le temps.

A.3.3 Choix entre l'approche par calcul ou l'approche par mesure

Le Tableau A.2 fournit des recommandations quant au choix entre les méthodes de calcul et les méthodes de mesure en se fondant sur un certain nombre d'aspects pratiques.

Tableau A.2 – Lignes directrices pour le choix de l'approche par calcul et de l'approche par mesure

Calcul (6.3)		Mesures (6.2)
Impossibilité d'accéder à la zone à évaluer (par exemple du fait de considérations liées à la sécurité ou à l'interdiction d'accéder aux bâtiments/propriétés).	←	
	→	Insuffisance des informations disponibles pour effectuer le calcul.
Exigence d'une visualisation globale du champ.	←	
	→	Exigence de couverture d'itinéraires/lieux limités spécifiques (par exemple itinéraires d'accès, lieux désignés).
	→	Exigence par le client de l'approche par mesure.
Exigence par le client de l'approche par calcul.	←	
L'exigence comprend une évaluation en des lieux ou à des moments où la RBS ne rayonne pas (par exemple avant construction).	←	
	→	Exigence d'une démonstration physique pour les parties concernées.
NOTE Le symbole correspondant aux échelles est utilisé pour l'application de la balance lors de la détermination de la méthode. La flèche indique la colonne recommandée compte tenu de l'applicabilité des cas décrits dans les cellules.		

Si l'approche par mesure est choisie, l'étape suivante est A.3.4. Dans le cas contraire, si l'approche par calcul est choisie, l'étape suivante est A.3.5.

A.3.4 Choix de la méthode de mesure

A.3.4.1 Etapes du choix

Déterminer la méthode de mesure selon les étapes suivantes:

- déterminer si des mesures en laboratoire ou sur site sont appropriées (voir A.3.4.2);
- déterminer si une mesure du DAS ou de l'intensité de champs de radiofréquences est appropriée (voir A.3.4.3);
- choisir la méthode de mesure à large bande ou sélective en fréquence (voir A.3.4.4);
- déterminer les procédures de mesure applicables (voir A.3.4.5).

A.3.4.2 Choix entre mesures en laboratoire ou sur site

Déterminer s'il est approprié d'effectuer une mesure en laboratoire ou sur site conformément au Tableau A.3 compte tenu de l'objectif d'évaluation et de la catégorie de la RBS.

Tableau A.3 – Choix de mesures sur site ou en laboratoire en fonction de l'objectif d'évaluation et de la catégorie de RBS

Objectif de l'évaluation (voir A.2.1)	Mesures sur site ou en laboratoire	
	Catégorie de RBS: Petit appareil / dispositif autonome (voir A.2.2)	Catégorie de RBS: RBS simple ou complexe (voir A.2.2)
Etablir la conformité d'une RBS à un ensemble défini de conditions limites, compte tenu de son usage prévu.	Laboratoire ^b	Sans Objet ^a
Etablir la ou les frontières de conformité d'une RBS par rapport à un ensemble défini de conditions limites.		Sur site
Confirmer la validité d'une frontière de contrôle de RBS.		
Fournir des informations d'intensité de champs de radiofréquences / DAS en un ou plusieurs lieux d'évaluation à l'intérieur de la frontière de contrôle de la RBS, en appliquant les conditions spécifiques permettant d'étudier un incident de surexposition présumée.		
Fournir des informations d'intensité de champs de radiofréquences / DAS aux parties concernées, obtenues en des lieux choisis arbitrairement hors de la frontière de contrôle.	Sur site	
^a Dans ce cas, redéfinir l'objectif: établir la frontière de conformité et/ou confirmer la validité de la frontière de contrôle de la RBS.		
^b La mesure sur site peut être utilisée en variante.		

A.3.4.3 Choix entre mesures d'intensité du champ et mesures du DAS

Pour toute mesure sur site et dans les régions d'environnement *-1 et *-M (* signifie I ou II ou III, voir Annexe B), les mesures d'intensité de champs de radiofréquences s'appliquent.

Pour des mesures en laboratoire (voir A.3.4.2) dans des régions de plan source-environnement I-0 et II-0 (voir l'Annexe B), il est possible de choisir soit la mesure de l'intensité des champs de radiofréquences (voir 6.2.2) soit la mesure du DAS (voir 6.2.3). La mesure du DAS est recommandée pour la région I-0 et lorsqu'il s'agit principalement d'obtenir les résultats les plus précis, par exemple avec le volume le plus petit contenu dans la frontière de conformité. La mesure de l'intensité de champs de radiofréquences peut être choisie lorsqu'elle est plus simple à mettre en oeuvre.

NOTE En règle générale, la valeur maximale spatiale de l'intensité de champs de radiofréquences est étroitement liée au DAS local [72].

A.3.4.4 Choix entre mesures à large bande et mesures sélectives en fréquence

Déterminer la méthode de mesure appropriée (à large bande ou sélective en fréquence) selon le Tableau A.4.

Tableau A.4 – Lignes directrices pour le choix entre mesures à large bande et mesures sélectives en fréquence

À large bande (voir 6.2.2.3)		Sélective en fréquence (voir 6.2.2.4)
<u>Indication du champ total:</u> Une mesure à large bande peut être un moyen simple d'indiquer le champ total et peut être utilisée avec soin dans certaines circonstances à condition que les résultats soient correctement interprétés et présentés: • Aucune discrimination en fréquence n'est requise • Connaissance/contrôle précis des paramètres d'évaluation • Evaluation pour information - par exemple un balayage initial afin de trouver la valeur d'intensité crête du champ au moyen d'une sonde à large bande peut être suivi d'une mesure plus approfondie utilisant un instrument à fréquence sélective.	↔	<u>Indication du champ total:</u> une mesure sélective en fréquence est exigée lorsqu'une discrimination en fréquence est requise, par exemple • pour évaluer la partie constante du signal transmis à des fins d'extrapolation (voir N.4) • pour évaluer la pondération en fréquence pour obtenir le quotient d'exposition.
<u>Comparaison avec une limite:</u> Lorsque les valeurs d'intensité du champ sont notablement inférieures à la limite applicable; Lorsque la RBS est la seule source dominante et que soit une évaluation "brute" sans extrapolation est requise; soit la puissance de sortie de la RBS est contrôlée pendant la mesure.	↔	<u>Comparaison avec une limite:</u> Identification et évaluation de signaux à fréquence unique et multiple pour comparaison avec une limite. Lorsqu'une extrapolation est exigée à partir d'une partie à niveau constant du signal, en présence d'autres signaux.
	→	<u>Dépassement de limite:</u> En cas de doute, ou lorsque l'objectif est de confirmer qu'une limite a été dépassée, il est recommandé d'utiliser la méthode de mesure sélective en fréquence.
	→	<u>Discrimination de signaux:</u> Une méthode de mesure sélective en fréquence est essentielle pour l'évaluation de bandes de fréquences individuelles ou de types de signaux. Ceci inclut l'identification de champs ambiants afin de les inclure ou des exclure du traitement final et du compte-rendu de résultats.
	→	<u>Champs de faible niveau:</u> Identification et mesure des signaux dans des environnements à faible intensité de champs de radiofréquences (par exemple des lieux publics).
NOTE 1 Le terme "sélective en fréquence" est utilisé au lieu de "à bande étroite" afin d'appliquer l'aptitude de discrimination aux fréquences. Le terme "à large bande" est utilisé lorsqu'une gamme à spectre large est simultanément mesurée sans discrimination en fréquence. Un instrument qui peut indiquer l'intensité de champs de radiofréquences à partir d'un canal logique (en utilisant par exemple un décodeur de canal) est également considéré être "sélectif en fréquence". NOTE 2 Le symbole correspondant aux échelles est utilisé pour l'application de la balance lors de la détermination de la méthode. La flèche indique la colonne recommandée compte tenu de l'applicabilité des cas décrits dans les cellules.		

A.3.4.5 Choix des procédures de mesure de l'intensité des champs de radiofréquences

Choisir les procédures de mesure appropriées en fonction du Tableau A.5.

Tableau A.5 – Lignes directrices pour le choix des procédures de mesure d'intensité de champs de radiofréquences

Procédure de mesure	Recommandations pour le choix
Appareil tenu à la main – Point fixe d'intérêt (voir 6.2.2.5.1.1)	Commode et économe en temps pour identifier des champs en des points d'intérêt spécifiques.
Appareil tenu à la main – Balayage d'un volume donné pour déterminer une valeur d'intensité de champ de radiofréquences d'intérêt et/ou son emplacement (voir 6.2.2.5.1.2)	Méthode commode et économe en temps pour identifier un lieu où est observé un niveau d'intensité de champ de radiofréquences spécifique; par exemple utile pour l'établissement d'une frontière de contrôle. Méthode commode et économe en temps pour identifier la valeur maximale spatiale d'une intensité de champ de radiofréquences dans un volume donné; par exemple utile dans des lieux publics afin de détecter de faibles intensités des champs ou définir des emplacements où une évaluation plus précise est requise à des fins de comparaison avec une valeur limite.
Trépied – (voir 6.2.2.5.2)	Lorsqu'une ou plusieurs des conditions suivantes sont importantes: • des mesures en des points fixes ou désignés de l'espace sont requises; • une surveillance à long terme des champs; • une influence réduite du corps pendant la mesure;
Balayage automatique – (voir 6.2.2.5.3)	Lorsque l'intensité des champs RF est évaluée dans des conditions de laboratoire.
Moyennage spatial – (voir 6.2.2.5.4.2)	Lorsqu'une valeur moyenne spatiale est requise pour établir la moyenne représentative de l'intensité d'un champ de radiofréquences sur le corps humain dans des conditions de champs complexes (régions 1 et M de l'environnement).
Moyennage temporel – (voir 6.2.2.5.5)	Pour établir une moyenne temporelle de l'intensité du champ; par exemple à des fins d'information ou pour établir une valeur de comparaison plus représentative avec une valeur limite considérée comme une moyenne dans le temps.

A.3.5 Choix de la méthode de calcul

Choisir les procédures de calcul appropriées en fonction du Tableau A.6.

Tableau A.6 – Lignes directrices pour le choix de méthodes de calcul

Méthodes de calculs de base (voir 6.3.2)		Méthodes de calculs avancés (voir 6.3.3)
Lorsque la principale exigence est la simplification de l'évaluation Un minimum d'informations sur la source ou l'environnement sont requises/disponibles		Lorsque la principale exigence est d'obtenir les résultats les plus précis possibles, par exemple avec une frontière de conformité du plus petit volume. Lorsque la source significative et les informations d'environnement requises sont disponibles.
		
Calculs de base – Formules sphérique et cylindrique (voir 6.3.2.1) Champ simple convenant mieux à des régions-sources II et III Choisir les formules cylindrique-sphérique pour une évaluation simple et rapide de la densité de puissance. Les calculs sont faciles à effectuer sans la complexité/les dépenses liées à des calculs avancés, mais aux dépens de la précision; c'est-à-dire que les formules simples cylindrique-sphérique donneront en général des évaluations de la densité de puissance rapides mais trop conservatrices.		Calculs avancés – Lancer de rayons (voir 6.3.3.1) Calculs d'intensité de champ avancés - Conviennent parfaitement pour des évaluations précises de la densité de puissance dans les régions-sources II et III. L'algorithme est relativement facile à appliquer et à vérifier; des progiciels du commerce peuvent également être utilisés. Lorsqu'une application / progiciel est disponible, cette méthode peut être très puissante pour obtenir des évaluations de la densité de puissance rapides, précises et significatives du point de vue visuel pour des sites de RBS simples ou complexes.
Calculs de base– Formules d'estimation du DAS (voir 6.3.2.2) Estimation simple du DAS; convient à des régions-sources I et II. Choisir la méthode d'estimation pour une évaluation rapide et simple du DAS. La méthode d'estimation du DAS est plus rapide que les méthodes plus avancées; elle est de ce fait quelque peu conservatrice. Lorsqu'il s'agit d'établir des frontières de conformité, cette méthode produira probablement des frontières autour d'un volume plus petit par rapport aux techniques fondées sur des évaluations de la densité de puissance.		Calculs avancés - Calculs par onde complète de l'intensité de champs de radiofréquences (voir 6.3.3.2) Calculs avancés du champ - Conviennent parfaitement pour des évaluations très précises de la densité de puissance dans les régions-sources I et II. Application et vérification très complexes et chronophages de ces algorithmes mais un bon nombre de progiciels du commerce sont disponibles. Même avec ces progiciels, l'utilisateur doit être compétent en matière d'utilisation de ces progiciels et il convient de ne pas sous-estimer le temps nécessaire au réglage et à la vérification de modèles d'antenne précis. Cependant, les résultats de densité de puissance obtenus avec une telle évaluation seront plus précis à la fois dans les régions I et II.

Méthodes de calculs de base (voir 6.3.2)		Méthodes de calculs avancés (voir 6.3.3)
		Méthode avancée – Calcul par onde complète du DAS (voir 6.3.3.3) Méthode avancée de calcul du DAS - Convient parfaitement pour des évaluations très précises du DAS dans les régions-sources I et II. Application et vérification très complexes et chronophages de ces algorithmes mais un bon nombre de progiciels du commerce sont disponibles. Même avec ces progiciels, il convient que l'utilisateur soit compétent en matière d'utilisation de ces progiciels et il convient de ne pas sous-estimer le temps nécessaire au réglage et à la vérification de modèles d'antenne précis ainsi que de modèles de fantômes humains précis. Cependant, elle permet d'obtenir les résultats d'évaluation de DAS les plus précis et les plus déterminants pour les régions I et II.
NOTE Le symbole correspondant aux échelles est utilisé pour l'application de la balance lors de la détermination de l'approche de base ou avancée fondée sur la rangée du haut. La flèche à deux têtes indique la colonne recommandée compte tenu de la description de cellule la plus applicable. Après avoir déterminé l'approche de base ou avancée, la flèche descendante avancée/de base appropriée indique l'ensemble des méthodes décrites dans la norme. La description qui correspond le mieux à la tâche spécifique requise indique le choix de la méthode spécifique.		

A.3.6 Considérations supplémentaires

A.3.6.1 Simplicité

En général, choisir la méthode d'évaluation la plus simple qui satisfait à l'objectif de l'évaluation; par exemple une simple évaluation de la valeur maximale de l'intensité de champs RF, qui est conservatrice, peut être utilisée avec précaution pour démontrer la conformité.

NOTE Par rapport aux méthodes simples, les évaluations plus complexes sont à même de confirmer la conformité à une limite donnée, à proximité de l'antenne de la RBS; par exemple, une évaluation du DAS peut confirmer les plus petits volumes autour d'une antenne dans lesquels les limites peuvent être dépassées.

A.3.6.2 Classement des méthodes d'évaluation

Lorsque les résultats d'une évaluation donnée sont comparés à ceux d'une seconde évaluation, la méthode d'évaluation de rang le plus élevé doit prévaloir, à condition que les deux méthodes soient applicables à l'objectif et aux conditions spécifiques de l'évaluation.

La méthode d'évaluation ayant le rang le plus élevé et dont l'application est valable est la méthode de référence pour ce mesurande.

La classification des méthodes d'évaluation de la présente norme est donnée dans le Tableau A.7.

Tableau A.7 – Recommandations de classement de méthodes d'évaluation spécifiques

Mesurande d'évaluation (voir le Tableau A.1)	Classement de la méthode d'évaluation (1 est le rang le plus élevé)				
	1	2	3	4	5
DAS (corps entier & local)	Mesure (locale)	Onde complète	Formules d'estimation du DAS		
Densité de puissance; champ E ou, champ H	Mesure sélective en fréquence ^a	Mesure à large bande ^{a, b}	Onde complète	Lancer de rayons	Formules sphériques/cylindriques
^a La mesure sélective en fréquence a le classement le plus élevé pour l'évaluation de l'intensité de champs de radiofréquences. ^b Dans des conditions d'évaluation très limitées lorsque toutes les informations pertinentes sont connues pour permettre une interprétation / extrapolation précise (voir l'Article 6), les mesures à large bande conviennent. Dans le cas contraire, les mesures à large bande peuvent entraîner une surestimation systématique de l'intensité de champs de radiofréquences et sont classées 6.					

A.3.6.3 Application de plusieurs méthodes pour la détermination de la conformité

Il est admis d'utiliser, séquentiellement ou simultanément, plusieurs méthodes valables pour évaluer l'intensité de champ à proximité d'une antenne RBS. S'il est valablement démontré que la valeur limite pertinente n'est pas dépassée (voir Annexe L) par un quelconque moyen non contredit par une évaluation de rang supérieur, il est admis d'utiliser la méthode la plus proche de l'antenne.

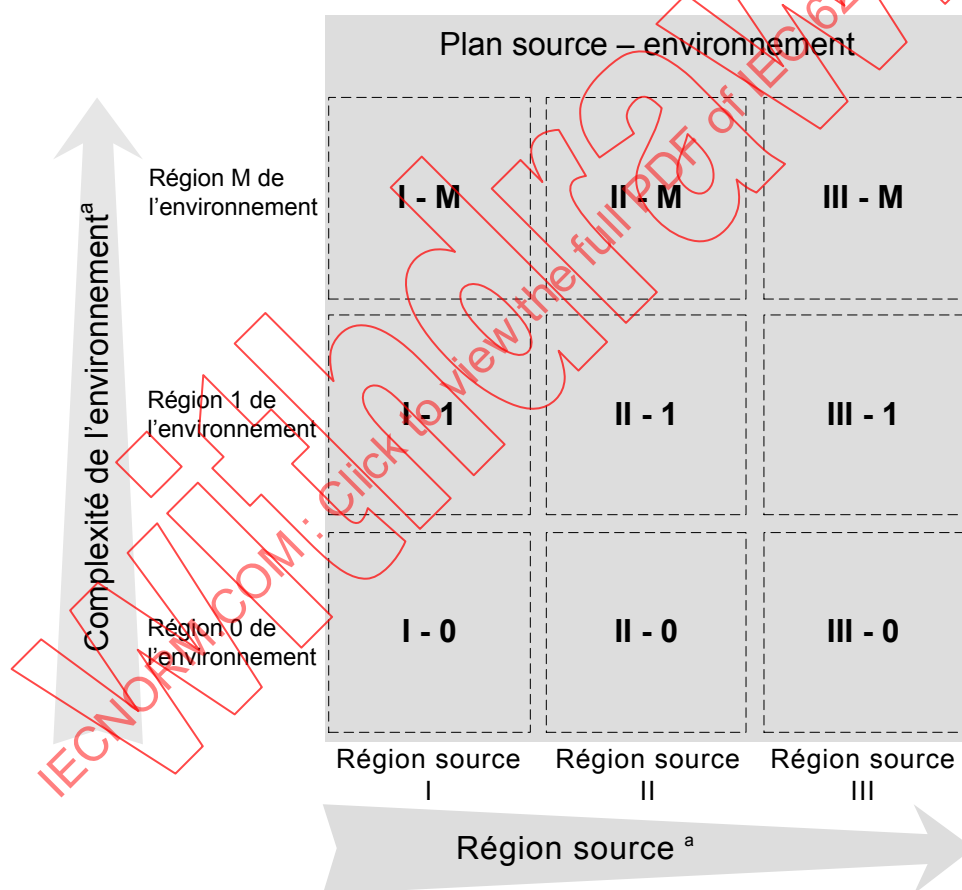
NOTE Cette méthode peut être utilisée pour établir le plus petit volume circonscrit par la frontière de conformité; par exemple une mesure du DAS autour d'une antenne cellulaire micro ou une modélisation du DAS autour d'une antenne de station de base plus grande, est susceptible de fournir le plus petit volume inscrit.

Annexe B (normative)

Définition du plan source-environnement

B.1 Présentation générale

La présente annexe définit le concept de plan source-environnement qui permet de caractériser les points d'évaluation; neuf régions y sont définies. L'axe positif des "x" représente la distance à partir d'une source localisée à l'origine du système de coordonnées et l'axe positif des "y" représente les effets de diffusion qui contribuent au total des champs aux points d'observation (voir Figure B.1). Voir B.5 pour un exemple de caractérisation. Les méthodes d'évaluation peuvent être limitées à certaines régions. Les facteurs d'influence d'incertitude peuvent avoir différentes significations dans les différentes régions du plan source-environnement.



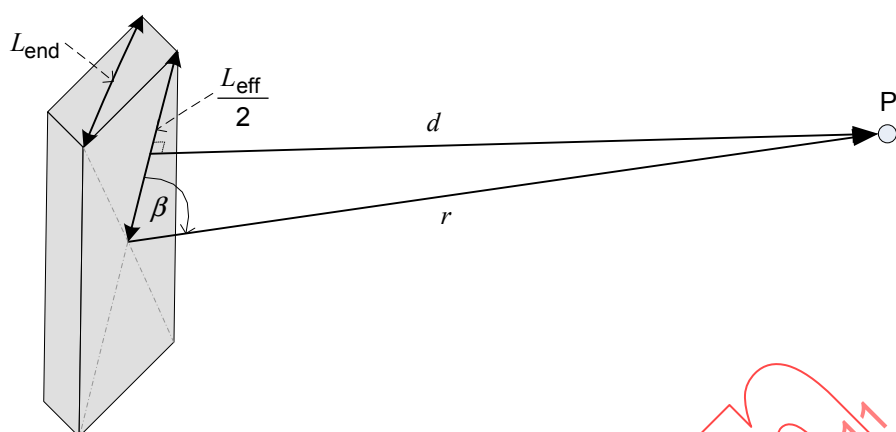
IEC 1032/11

^a Dans la présente norme, si un * remplace le caractère de la région d'environnement, ceci signifie que toute région d'environnement (c'est-à-dire. 0, 1 ou M) s'applique. Si un * remplace le caractère de la région de la source, il signifie que toute région de la source (c'est-à-dire. I, II ou III) s'applique.

Figure B.1 – Concept de plan source-environnement

B.2 Régions-sources

La Figure B.2 présente la géométrie de la configuration de l'antenne.



IEC 1033/11

Figure B.2 – Géométrie d'une antenne ayant la dimension linéaire la plus grande (L_{eff}) et la dimension la plus grande aux extrémités (L_{end}).

Dans la présente annexe, les variables suivantes sont utilisées.

- r est la distance du point central sur l'axe majeur de l'antenne à un point P. De manière plus spécifique
- r_{III} est la distance minimale (m) jusqu'à la frontière entre la région-source II et la région-source III
- d est la distance minimale de la surface de l'antenne à un point P. De manière plus spécifique:
- d_{I} est la distance minimale (m) jusqu'à la frontière entre la région-source I et la région-source II
- d_{III} est la distance minimale (m) jusqu'à la frontière entre la région-source II et la région-source III
- d_{end} définit une surface selon le Tableau B.4, compte tenu de L_{end}
- d_r définit une surface selon le Tableau B.4, compte tenu de L_{eff}
- λ est la longueur d'onde (m)
- β est l'angle entre l'axe principal de l'antenne et la ligne depuis l'origine de l'antenne jusqu'à un point donné (par exemple sur la frontière entre les régions-sources II et III)
- L_{end} est la dimension maximale aux extrémités (m)
- L_{eff} est la dimension maximale (m) entre deux points sur l'antenne

Le Tableau B.1 définit les régions-sources.

Tableau B.1 – Définition des régions-sources

Région-source I $0 \leq d < d_I$	Région-source II $d_I \leq d < d_{III}$ ou $d \geq d_{III}$ et $r < r_{III}$	Région-source III $d_{III} \leq d < \infty$
Dans la région I, les composantes des puissances réactives ne sont pas négligeables. La densité de puissance est fluctuante, et, en fonction du lieu d'évaluation, des valeurs plus faibles peuvent être obtenues plus près de l'antenne et au contraire des valeurs plus élevées en s'éloignant de l'antenne.	Le diagramme d'antenne selon les spécifications du fabricant n'est pas encore valide.	Conditions de champ lointain
Les distances d_I, d_{III} et r_{III} étant définies dans les Tableaux B.2, B.3, B.4 et B.5 en fonction de la classification de l'antenne: – Frontières des régions-sources par défaut – voir Tableau B.2. – Antennes de dimension maximale inférieure à $2,5 \lambda$, - voir Tableau B.3. – Réseaux d'antennes linéaires / planaires constitués de petits éléments alignés de manière linéaire perpendiculairement à un axe vertical, et avec plus d'éléments sur l'axe vertical que sur l'axe horizontal et d'une dimension maximale supérieure à $2,5 \lambda$ – voir Tableau B.4. – Ouvertures rayonnantes équiphases (par exemple une antenne parabolique) de dimension maximale $\gg \lambda$, - voir Tableau B.5. – Conducteurs d'ondes de fuite – voir Tableau B.6. NOTE Les méthodes d'évaluation décrites dans la présente norme peuvent spécifier des contraintes supplémentaires définissant les lieux où les méthodes peuvent être employées. De ce fait, les zones d'évaluation peuvent être différentes des régions-sources.		

Les frontières des régions-sources par défaut (voir le Tableau B.2) doivent être utilisées en cas de doute quant à la classification de l'antenne-source. Pour des classifications d'antennes communes, les frontières des régions sources sont définies dans les Tableaux B.3, B.4 et B.5.

Tableau B.2 – Frontières des régions-sources par défaut

Frontière entre la région-source I et la région-source II	Frontière entre la région-source II et la région-source III ^a
Dans la référence [23], le CENELEC recommande la frontière entre la région-source I et la région-source II: $d_I = \max \left(\begin{array}{l} \lambda \\ L_{\text{eff}} \\ \frac{L_{\text{eff}}^2}{4\lambda} \end{array} \right)$	Dans la référence [23], le CENELEC recommande la frontière entre la région-source II et la région-source III: $d_{III} = \max \left(\begin{array}{l} 5\lambda \\ 5L_{\text{eff}} \\ \frac{0,6L_{\text{eff}}^2}{\lambda} \end{array} \right)$
NOTE Les limites de distance des régions-sources par défaut sont inférieures à celles proposées dans des manuels qui donnent des descriptions exactes des antennes. Les limites de distance données dans les manuels ont été réduites en se fondant sur le fait qu'elles n'influencent pas de manière significative l'incertitude de l'évaluation de l'intensité des champs de radiofréquences [46]. ^a Ces limites de distance des régions sont d'application générale. Il existe des antennes pour lesquelles ces limites sont conservatrices, par exemple pour la région-source I, λ ou moins peut être suffisante même si les longueurs L_{eff} ou $L_{\text{eff}}^2 / (4\lambda)$ sont plus importantes. A moins que ces cas ne soient inclus dans l'Annexe B, ils doivent cependant s'appuyer sur une démonstration viable.	

Tableau B.3 – Frontières des régions-sources pour des antennes de dimension maximale inférieure à $2,5 \lambda$

Frontière entre la région-source I et la région-source II	Frontière entre la région-source II et la région-source III
$d_I = \lambda$	Dans la référence [26], la surface de la frontière entre la région-source II et la région-source III est une sphère de rayon r_{III}, centrée au milieu de l'antenne: $\eta_{III} = \begin{cases} 1,6\lambda & L_{eff} < 0,3\lambda \\ 5L_{eff} & 0,3\lambda \leq L_{eff} < 2,5\lambda \end{cases}$
^a Il est admis de mesurer E ou H jusqu'à $\lambda/4$ lorsque l'on tient compte (a) de l'augmentation de l'incertitude (voir B.3.2.1) et (b) et du fait que les valeurs de densité de puissance peuvent être obtenues à proximité de l'antenne contrairement aux valeurs supérieures plus éloignées.	

Tableau B.4 – Frontières des régions-sources pour des réseaux d'antennes linéaires / planaires d'une dimension maximale supérieure ou égale à $2,5 \lambda$

Frontière entre la région-source I et la région-source II	Frontière entre la région-source II et la région-source III
$d_I = \lambda$	La frontière entre la région-source II et la région-source III est spécifiée en examinant deux surfaces entourant l'antenne, évaluées à partir de fonctions de L_{eff} et L_{end}: Une grande surface décrite par r, centrée au milieu de l'antenne: $r = \frac{2L_{eff}^2}{\lambda} \sin^2 \beta + \frac{L_{eff}}{2} \cos \beta - \frac{\lambda}{32}$ A partir de là, il est possible de déterminer la distance correspondante, d_r, jusqu'à la surface de l'antenne: $d_r = r \sin \beta $ Une surface plus petite décrite par d_{end}, compte tenu des dimensions d'extrémité de l'antenne: $d_{end} = \begin{cases} 1,6\lambda & L_{end} < 0,3\lambda \\ 5L_{end} & 0,3\lambda \leq L_{end} < 2,5\lambda \\ \frac{2L_{end}^2}{\lambda} & L_{end} \geq 2,5\lambda \end{cases}$ $d_{III} = \max \begin{pmatrix} d_r \\ d_{end} \end{pmatrix}$
^a Il est admis de mesurer E ou H jusqu'à $\lambda/4$ lorsque l'on tient compte (a) de l'augmentation de l'incertitude (voir B.3.2.1) et (b) du fait que les valeurs de densité de puissance peuvent être obtenues à proximité de l'antenne contrairement aux valeurs supérieures plus éloignées.	

Tableau B.5 – Frontières des régions-sources pour des antennes à ouverture de rayonnement équiphase (par exemple des antennes paraboliques) dont la dimension maximale des réflecteurs est bien plus grande qu'une longueur d'onde

Frontière entre la région-source I et la région-source II	Frontière entre la région-source II et la région-source III
Dans le faisceau principal de l'antenne avant d'atteindre le premier zéro de rayonnement: $d_I = \frac{L_{\text{eff}}^2}{4\lambda}$ Hors du faisceau principal de l'antenne et après avoir atteint le premier zéro de rayonnement ^a: $d_I = \max \left(\frac{\lambda}{L_{\text{eff}}} \right)$	$d_{III} = \frac{0,6 L_{\text{eff}}^2}{\lambda}$
^a hors du faisceau principal et après avoir atteint le premier zéro, il est admis de mesurer E ou H jusqu'à $\lambda/4$ lorsque l'on tient compte (a) de l'augmentation de l'incertitude (voir B.3.2.1) et (b) et du fait que les valeurs de densité de puissance peuvent être obtenues à proximité de l'antenne contrairement aux valeurs supérieures plus éloignées.	

Tableau B.6 – Frontières des régions-sources pour des conducteurs d'ondes de fuite

Frontière entre la région-source I et la région-source II	Frontière entre la région-source II et la région-source III
$d_I = \frac{\lambda}{4}$	En général, d_{III} n'est pas définissable car les longueurs des conducteurs d'ondes de fuite vont communément de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de mètres, qui sont donc beaucoup plus grandes que la distance du point d'évaluation à partir de la structure rayonnante

B.3 Principes des frontières des régions-sources (informative)

B.3.1 Contexte

Le présent article fournit des informations supplémentaires et une justification des frontières de régions-sources spécifiées dans la présente annexe.

L'espace autour d'une antenne est par convention divisé en deux régions principales, l'une à proximité de l'antenne appelée région de champ proche et l'autre à une plus grande distance appelée région de champ lointain. De manière générale, la région de champ proche est subdivisée en régions de champ proche réactive et rayonnante. La région de champ lointain est par principe définie comme étant la région du champ de l'antenne où la répartition du champ en fonction de la direction (distribution angulaire) est pratiquement indépendante de la distance à partir d'un point spécifié dans la région de l'antenne alors que la région de champ proche réactive est définie comme la partie de la région de champ proche au voisinage immédiat de l'antenne, dans laquelle le champ réactif est prépondérant [21].

Les régions du champ de l'antenne sont souvent décrites dans les manuels sur la base:

- de la frontière de champ proche réactif/rayonnant qui peut être défini de plusieurs manières; par exemple l'endroit où les champs réactifs et rayonnants ont la même amplitude ou l'endroit où les champs rayonnants sont prépondérants d'une valeur définie;

- du champ lointain, qui peut être défini comme étant la distance par rapport à l'antenne pour laquelle il est possible d'évaluer avec précision la directivité telle qu'elle serait observée à partir d'un point lointain par rapport à l'antenne.

Pour les besoins de la présente norme, l'élément important de la région-source est la manière d'évaluer, avec une incertitude raisonnable, une intensité de champs de radiofréquences / valeur de *DAS* à toute distance/orientation. De ce fait, il peut également être nécessaire que l'évaluation établisse que le niveau d'intensité du champ n'augmentera pas lorsqu'il est observé à une plus grande distance de l'antenne. Dans la présente norme, l'*application* la plus importante des régions-sources est la suivante:

- la région-source I où l'évaluation à la fois du champ E et du champ H est exigée (ou du *DAS*);
- la région-source II où l'évaluation de soit le champ E soit le champ H est exigée (ou du *DAS* ou du S); pour le calcul, il est nécessaire d'utiliser un certain algorithme de correction en champ proche plutôt que d'utiliser tout simplement les données du diagramme de rayonnement en champ lointain;
- la région-source III où il est admis d'utiliser soit le champ E soit le champ H (ou le *DAS* ou S); pour le calcul, il est admis d'utiliser les données du diagramme de rayonnement en champ lointain.

B.3.2 Frontière entre les régions-sources pour des antennes de RBS à petits éléments (par exemple des doublets/antennes à fente(s)/cadres)

B.3.2.1 Frontière entre la région-source I et la région-source II

La frontière entre les régions-sources I et II dépend de l'étendue de la région de champ proche réactive qui dépend plus précisément de la géométrie de l'antenne.

Compte tenu de la région dans laquelle l'intensité de champs de radiofréquences maximale peut être trouvée, une valeur d_1 de λ est appropriée.

Compte tenu de l'exigence de mesurer à la fois le champ électrique (E) et le champ magnétique (H) (ou le *DAS*):

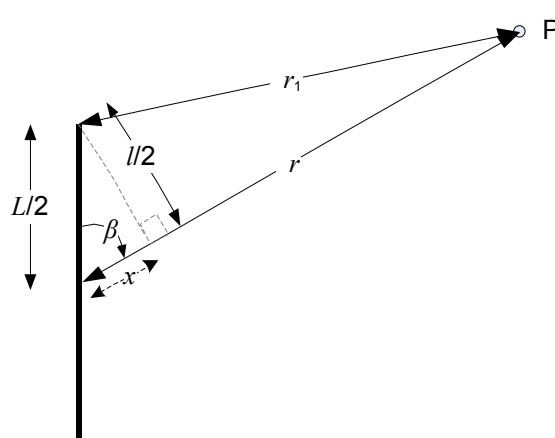
- Pour les doublets utilisés dans la plupart des conceptions d'antennes de RBS, une analyse a été effectuée en [22] sur la base des expressions analytiques des champs rayonnés par un élément linéaire court. En calculant le rapport de la densité de puissance totale à la densité de puissance rayonnée pour une paire de simples antennes réseaux, ainsi que pour un élément de doublet unique, il a été trouvé que la différence maximale effective entre la densité de puissance totale et la densité de puissance rayonnée serait de 10 %, 0,4 dB, ou moins pour des distances supérieures à un quart de longueur d'onde.
- En [24], [47], l'erreur de mesure est déclarée être inférieure à 1 dB pour une distance d'un quart de longueur d'onde.
- En [25], la valeur du *DAS* local et du corps entier est donnée en fonction de la distance pour un certain nombre de scénarios utilisant différentes antennes de RBS et montrant la transition progressive entre différentes régions du champ.

Pour les besoins de la présente norme, il est admis de réaliser la mesure du champ électrique ou du champ magnétique à des distances jusqu'à $\lambda/4$ à partir de la surface de l'antenne à condition de tenir compte de l'augmentation de l'incertitude.

B.3.2.2 Frontière entre la région-source II et la région-source III pour une dimension maximale d'antenne $L \geq 2,5 \lambda$ et des éléments en configuration linéaire

Une exigence généralement utilisée pour considérer que les conditions de champ lointain s'appliquent est que l'erreur de phase maximale (différence de phase entre des champs émanant du centre et du bord de l'antenne) soit inférieure à $\pi/8$ [27]. Traduit en distance, ceci

correspond à une différence de trajet de $\lambda/16$ entre le point d'observation et les sources de courant aux extrémités du réseau d'antenne.



Légende

L est la longueur totale du réseau d'antenne

l est la longueur projetée du réseau d'antenne au point d'observation P

IEC 1034/11

Figure B.3 – Différence de trajet maximale pour une antenne ayant la plus grande dimension linéaire L

Soit la configuration générale de la Figure B.3 présentant une antenne de longueur L et une évaluation de point P. La longueur du trajet représentée par x est constante pour toute valeur de r x et permet de définir la directivité en champ lointain. La contrainte $\lambda/16$ s'applique par conséquent à la différence de longueur entre les trajets $r-x$ et r_1 .

À partir de la géométrie et de [28],

$$x = \frac{L}{2} |\cos \beta| \quad \text{et} \quad r_1^2 = r^2 + \frac{L^2}{4} - rL |\cos \beta|$$

Pour une contrainte $r_1 - (r-x) = \lambda/16$:

$$r = \frac{2L^2}{\lambda} \sin^2 \beta - \frac{\lambda}{32} + \frac{L}{2} |\cos \beta| \quad (\text{B.1})$$

Pour le cas particulier de $\beta = 90^\circ$ (faisceau principal) et en ignorant le $\frac{\lambda}{32}$ terme, ceci simplifie

l'expression souvent citée $r = \frac{2L^2}{\lambda}$ Il faut noter cependant que pour d'autres valeurs de β , l'équation (B.1) donne des distances de champ lointain moins longues; voir par exemple le Tableau B.7.

Tableau B.7 – Distance de champ lointain r (m) en fonction d'un angle β

[illegible]

Dans le faisceau principal, appliquer les critères du cas où la fluctuation de la densité de puissance en fonction de la distance s'arrête, comme spécifié dans le document ETSI TR 102 457 [62], et tels qu'utilisés dans le Bulletin 65 de l'OET du FCC des Etats-Unis [46]. Une discussion supplémentaire est fournie dans [29].

Hors du faisceau principal et après que le premier zéro de rayonnement ait été atteint, les conditions d'«équiphase» ne s'appliquent pas et de ce fait, les régions-sources peuvent être déterminées à partir du Tableau B.2 et en tenant compte de B.3.2.1, en utilisant les dimensions projetées de l'antenne (voir Figure B.3).

B.4 Définition des régions de l'environnement

Les régions de l'environnement se fondent sur la proximité ou les effets des objets diffuseurs au voisinage de la source, au voisinage du point d'évaluation ou qui, de toute autre manière, affectent l'intensité du champ de radiofréquences entre l'antenne et le point d'évaluation.

– Région 0 de l'environnement

Dans cette région, il n'existe aucun obstacle entre l'antenne-source et le point d'évaluation; les niveaux provenant d'une quelconque réflexion sont suffisamment faibles pour ne pas affecter matériellement le niveau évalué compte tenu de l'incertitude de l'évaluation.

NOTE 1 Exemples: Des zones sans aucun objet dans la ligne de visibilité entre l'antenne et le point d'évaluation et où la longueur du trajet source-rélecteur-point d'évaluation est égale à plus de cinq fois la distance source-point d'évaluation.

– Région 1 de l'environnement

Dans cette région, il n'y a aucun obstacle entre l'antenne-source et le point d'évaluation; il y a tout juste un réflecteur clairement prépondérant comme par exemple le sol. Les autres réflecteurs répondent aux critères de la région 0 de l'environnement.

NOTE 2 Exemples: Evaluation en face mais également sous l'antenne se trouvant sur un toit. Evaluation sur le sol, dans une large zone ouverte dans la ligne de visibilité vers la source.

– Région M de l'environnement

Lorsqu'il y a un obstacle entre l'antenne-source et le point d'évaluation et/ou lorsqu'il y a deux ou plusieurs réflecteurs.

NOTE 3 Exemples: Evaluation sur le sol à proximité d'un ou de plusieurs murs ou évaluation dans un bâtiment.

B.5 Exemple de caractérisation d'un plan source-environnement (informative)

La Figure B.4 présente un exemple des régions source-environnement de la Figure B.1 pour une installation type sur le toit d'un bâtiment. Elle montre une vue de profil d'une antenne à largeur de faisceau vertical étroite montée au-dessus du local de machinerie d'ascenseur du bâtiment. L'antenne est représentée en noir et le faisceau principal dans une nuance plus claire. Cette figure fournit une référence visuelle de la manière dont les régions varient en fonction de l'augmentation de la distance par rapport à l'antenne et compte tenu des réflexions.

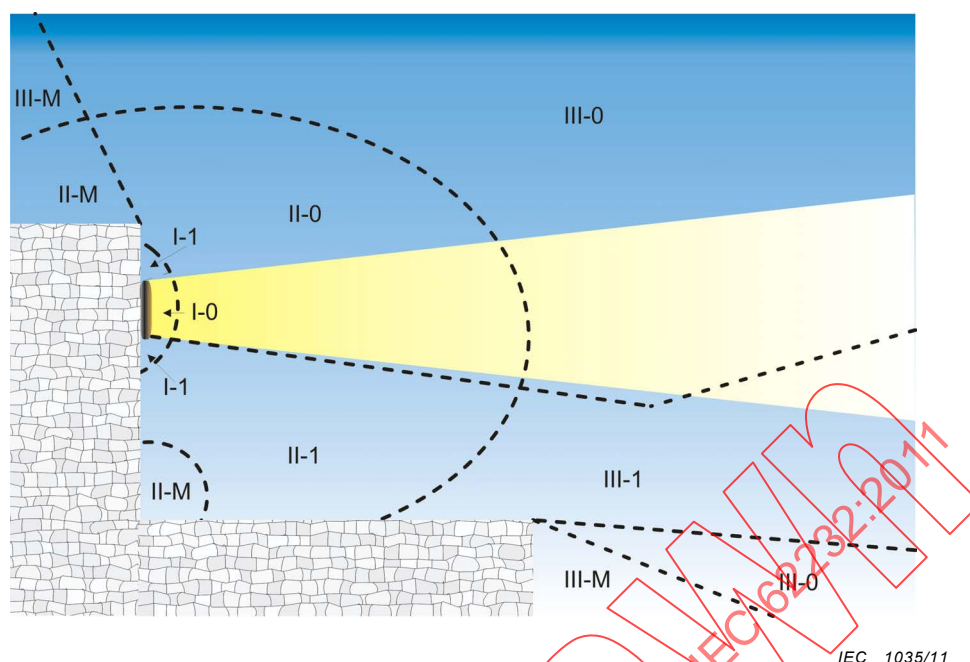


Figure B.4 – Exemple de régions d'un plan source-environnement à proximité d'une antenne de toit ayant une largeur de faisceau vertical étroite (vue en élévation non à l'échelle)

En fonction de la fréquence et des dimensions, les régions-sources passent de I à III. Dans la Figure B.4, les régions de l'environnement sont classées comme suit:

- Pour une grande partie du faisceau principal (ton plus clair), les réflexions sont négligeables, de sorte que la région 0 de l'environnement s'applique.
- Hors du faisceau principal, à proximité immédiate de l'antenne, il y a un seul réflecteur - le mur vertical - de sorte que la région 1 de l'environnement est applicable.
- Le long de la voie de circulation sous l'antenne, le réflecteur significatif est la partie supérieure de la voie de circulation, de sorte que la région 1 de l'environnement s'applique également.
- Dans l'angle de la toiture, le mur et la voie de circulation sont tous deux réflecteurs (bien qu'ils soient bien éloignés du faisceau principal) de sorte que la région M de l'environnement s'applique pour cet emplacement.
- La ligne de visibilité vers l'antenne, dans les zones se trouvant sur le toit, au-dessus et sous l'antenne, est obscurcie par le bâtiment et dans ce cas la région M de l'environnement s'applique.
- Dans la ligne de visibilité vers l'antenne se trouvant sous la toiture, il y a un volume où les réflexions du toit sont négligeables, de sorte que la région 0 de l'environnement s'applique.

Annexe C (informative)

Lignes directrices pour l'application de la norme à des fins d'évaluation spécifiques

C.1 Présentation générale

Cette annexe informative fournit des recommandations sur la manière d'appliquer les méthodes d'évaluation de la présente norme à des fins d'évaluation ordinaires. Ceci peut aider à l'élaboration du plan d'évaluation.

C.2 Conformité du produit

La conformité du produit peut être démontrée de diverses manières. Si l'exigence est de fournir une frontière de conformité, voir C.3. Si l'exigence est de vérifier la conformité à une limite d'exposition dans des emplacements se trouvant à une distance de séparation spécifiée de la RBS, utiliser les méthodes décrites à l'Article 6.

C.3 Détermination des frontières de conformité

C.3.1 Présentation générale de la détermination des frontières de conformité

Le présent paragraphe fournit les recommandations quant à la manière de définir une frontière au-delà de laquelle la source spécifique est considérée ne pas donner lieu à une non conformité à des valeurs limites définies, en utilisant les méthodes d'évaluation décrites dans les articles normatifs.

En principe, il est possible d'utiliser toute méthode d'évaluation pour définir une frontière de conformité à condition qu'elle soit conçue pour permettre une prise de décision claire fondée sur une démonstration du non dépassement d'une limite définie (Annexe L). Il est en fait acceptable d'appliquer plusieurs de ces méthodes pour déterminer une frontière donnée. Ceci signifie qu'en n'importe quel point sur une frontière de conformité proposée, s'il existe une méthode d'évaluation valable démontrant la conformité, celle-ci prévaut sur toute autre méthode qui peut être incapable de démontrer la conformité en ce point.

Même si chacune des méthodes est décrite séparément dans la présente annexe, il est tout à fait acceptable d'associer les méthodes afin d'établir la frontière de conformité minimale.

Au vu du nombre important de méthodes d'évaluation décrites dans la présente norme, la présente annexe ne fournit que quelques exemples de détermination de la frontière de conformité.

La manière la plus simple de traiter les champs ambiants est de déterminer une tolérance fondée sur le quotient d'exposition. La valeur de la limite de conformité pour la frontière de conformité d'une RBS est ensuite réduite en conséquence.

Soit un ensemble de données décrivant les champs RF ou les valeurs de DAS induites dans une région autour d'une antenne de RBS; dans ce cas les frontières de conformité peuvent être définies de plusieurs manières allant du très compliqué au plus simple. Quelques exemples de frontières de conformité possibles sont spécifiés ci-après.

C.3.2 Exemples de frontières de conformité

C.3.2.1 Frontières de conformité complexes

La frontière de conformité la plus précise (minimale) est obtenue comme étant l'isosurface; la valeur de l'isosurface est donnée par la limite de conformité applicable (voir la Figure C.1).

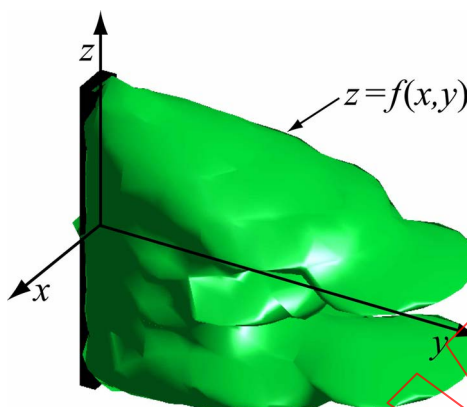


Figure C.1 – Exemple de frontière de conformité complexe

Dans ce cas, il convient que la forme de la frontière de conformité soit décrite avec précision, par exemple en termes de fonction mathématique $z = f(x, y)$.

C.3.2.2 Frontières de conformité simples

En inscrivant l'isosurface mentionnée ci-dessus dans divers solides, on peut générer des frontières de conformité simples et plus conservatrices.

Les cas (a) et (b) de la Figure C.2 présentent deux frontières de conformité circulaires, de forme cylindrique, pour une antenne sectorielle et une antenne omnidirectionnelle à polarisation horizontale, respectivement.

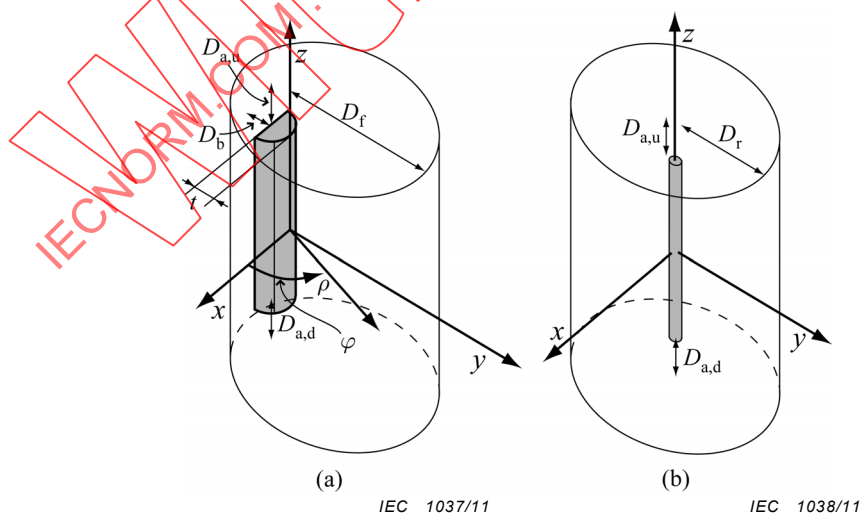


Figure C.2 – Exemple de frontières de conformité cylindrique circulaire: (a) antenne sectorielle, (b) antenne omnidirectionnelle à polarisation horizontale

La frontière de conformité de l'antenne sectorielle est décrite en termes de D_f , D_b , $D_{a,d}$, $D_{a,u}$, ainsi qu'en hauteur et épaisseur de l'antenne conformément à la Figure C.2. On notera que pour l'antenne sectorielle, les distances D_f et D_b doivent être déterminées de façon à ce que l'isosurface ci-dessus mentionnée soit complètement circonscrite par le cylindre. De manière similaire, la frontière de conformité de l'antenne omnidirectionnelle à polarisation horizontale est décrite en termes de D_r , $D_{a,d}$, $D_{a,u}$, ainsi qu'en hauteur et rayon de l'antenne.

Une autre possibilité consiste à utiliser la frontière de conformité de forme parallélépipédique illustrée en Figure C.3. Dans ce cas, la frontière de conformité est décrite en termes de D_f , D_b , $D_{a,d}$, $D_{a,u}$, D_s , ainsi qu'en dimensions de l'antenne.

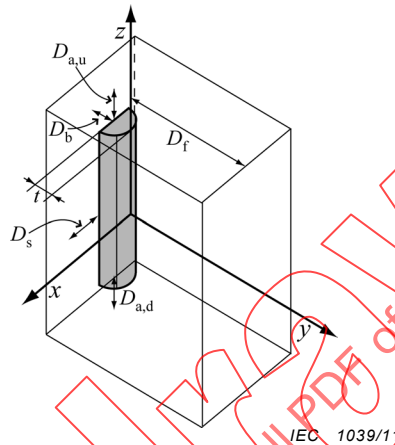


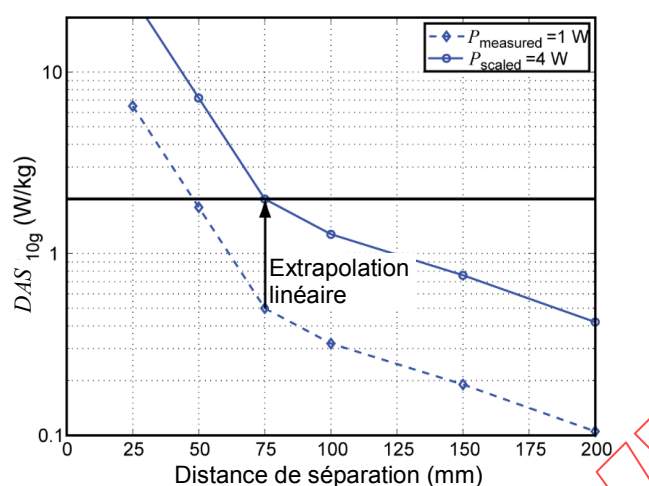
Figure C.3 – Exemple d'une frontière de conformité parallélépipédique

C.3.3 Détermination de la frontière de conformité au moyen de mesures d'intensité du champ de radiofréquences

Des frontières de conformité cylindriques ou parallélépipédiques peuvent être générées en mesurant l'intensité de champs de radiofréquences dans des directions appropriées par rapport à l'antenne émettrice (par exemple à l'avant, à l'arrière, sur les côtés ainsi qu'au-dessus/au-dessous), et de comparer ensuite l'intensité de champs de radiofréquences obtenue aux limites de conformité pertinentes.

C.3.4 Détermination de la frontière de conformité par mesure du DAS

Des frontières de conformité cylindriques ou parallélépipédiques peuvent être générées en mesurant le DAS par des orientations appropriées de l'antenne en fonction de la distance, en utilisant la procédure de mesure décrite en 6.2.2. Par extrapolation linéaire d'une courbe DAS/distance de séparation, il est possible d'obtenir les distances de conformité pour différents niveaux de puissance en comparant les résultats à des limites de conformité pertinentes (voir Figure C.4).



IEC 1040/11

NOTE Extrapolation linéaire permettant de déterminer la distance de conformité à un niveau de puissance de 4 W, lorsque les mesures du DAS ont été réalisées à un niveau de puissance de 1 W pour une limite de conformité de 2 W/kg.

Figure C.4 – Exemple illustrant la procédure d'extrapolation linéaire

Les valeurs extrapolées du DAS sont calculées à partir des valeurs mesurées par multiplication avec le rapport entre les niveaux de puissance extrapolés et mesurés. La distance de conformité est ensuite obtenue à partir de la figure en déterminant sur la courbe le point d'intersection du DAS extrapolé avec la valeur de la limite du DAS applicable. Dans l'exemple de la Figure C.4, la limite du DAS a été considérée égale à 2 W/kg donnant lieu à une distance de conformité de 75 mm.

C.3.5 Détermination de la frontière de conformité au moyen des formules cylindrique-sphérique

Il convient de calculer la densité de puissance dans une région autour de l'antenne de la station de base pour la puissance maximale qu'il est possible de transmettre en utilisant la procédure décrite en 6.3.2.1. Une frontière de conformité isosurfacique peut ensuite être obtenue au cours d'une étape de traitement ultérieure en utilisant la limite de conformité pertinente comme valeur de l'isosurface. Des frontières de conformité plus simples et plus conservatrices peuvent être générées en inscrivant l'isosurface obtenue dans divers solides comme décrit en C.3.2.2.

C.3.6 Détermination de la frontière de conformité au moyen des formules d'estimation du DAS

Les frontières de conformité cylindriques (voir la Figure C.2) peuvent être générées pour des antennes sectorielles et des antennes omnidirectionnelles à polarisation horizontale fonctionnant dans la gamme de fréquences de 700 MHz à 2 700 MHz, en utilisant les formules d'estimation du DAS décrites en 6.3.2.2 et les limites de conformité pertinentes, conformément à la procédure décrite en [49]. Pour des antennes sectorielles, le diamètre du cylindre est déterminé par les distances de conformité dans les directions avant et arrière ainsi que par l'épaisseur de l'antenne t (voir la Figure C.2(a)). Pour des antennes omnidirectionnelles à polarisation horizontale, le rayon du cylindre est déterminé par la distance de conformité du faisceau principal et le rayon de l'antenne. La hauteur du cylindre est obtenue en multipliant tout d'abord la distance de conformité axiale par un facteur de 2 (au-dessus et sous l'antenne) et en ajoutant ensuite la hauteur de l'antenne.

C.3.7 Détermination de la frontière de conformité au moyen de l'analyse par onde complète

Une fois généré un modèle numérique précis, conformément à la procédure décrite en 6.3.3.2, il convient de calculer l'intensité des champs autour de l'antenne de la station de base pour la puissance maximale qu'il est possible de transmettre. Une frontière de conformité isosurfacique peut ensuite être obtenue au cours d'une étape de traitement ultérieure en utilisant la limite de conformité pertinente comme valeur de l'isosurface. Des frontières de conformité plus simples et plus conservatrices peuvent être générées en inscrivant l'isosurface obtenue dans divers solides comme décrit en C.3.2.2.

C.4 Confirmation de la frontière de contrôle

La mesure de l'intensité des champs de radiofréquences est une manière pratique d'établir des frontières de contrôle; cependant, sauf si les mesures sont effectuées dans un laboratoire spécialisé, les conditions ne se limitent pas à la détermination de frontières de conformité complexes.

Une certaine analyse préalable est nécessaire pour établir les tolérances applicables aux champs ambiants et les facteurs d'extrapolation. Il est également nécessaire de tenir compte du schéma d'évaluation pour établir si un facteur supplémentaire est nécessaire pour l'incertitude de mesure. Tenir compte de ces facteurs et déterminer la valeur cible d'intensité du champ de radiofréquences pour la partie stable du signal de la RBS qui correspondra à la valeur limite applicable.

En partant d'une certaine distance, s'approcher de l'antenne en utilisant la technique de mesure par balayage sur l'ensemble de la surface du corps afin d'obtenir le niveau de la partie stable du signal de la RBS. Une fois atteinte la valeur cible de l'intensité du champ de radiofréquences, effectuer une évaluation au trépied pour confirmer l'intensité du champ.

Lorsque le champ RF de la RBS dispose de plusieurs fréquences et/ou bandes de fréquence à partir d'une antenne unique, il faut tenir compte de la valeur composée. Celle-ci peut être obtenue plus facilement au moyen d'un instrument approprié de mesure sélective en fréquence disposant d'une fonction intégrée de sommation.

Pour confirmer une frontière de contrôle existante, déterminer les lieux auxquels les personnes ont accès puis utiliser la technique de balayage pour identifier les points d'intensité de champs élevés sur la frontière de contrôle. Envisager également une évaluation hors de la frontière de contrôle, aux points les plus proches de l'antenne là où les personnes peuvent pénétrer dans le faisceau principal. Aux points d'intensité élevés ainsi identifiés, effectuer une évaluation plus approfondie de l'intensité du champ de radiofréquences, en utilisant par exemple un trépied.

Les intensités de champ ainsi évaluées sont interprétées conformément à l'Annexe L.

C.5 Evaluation d'une surexposition

C.5.1 Introduction aux recommandations relatives à l'évaluation d'une surexposition

Le présent paragraphe fournit des recommandations quant à la manière d'appliquer les évaluations des intensités de champs RF ou de DAS conformément à la présente norme afin de les utiliser pour évaluer l'exposition à des fréquences radioélectriques d'une personne qui déclare avoir pénétré dans la frontière de contrôle d'une RBS. En fonction du protocole d'évaluation et du schéma d'évaluation utilisés pour définir la frontière de contrôle, une personne se trouvant dans la frontière au cours d'une période de temps spécifique n'aura pas été au-dessus de la limite pertinente.

C.5.2 Approche de l'évaluation d'une surexposition

Une différence importante entre l'objectif de cette évaluation et les autres évaluations décrites dans la présente norme, est qu'il s'agit d'étudier un incident spécifique qui a réellement eu lieu dans le passé plutôt que d'anticiper des situations qui pourraient se produire à un moment donné dans le futur ou qui sont observées au moment de l'évaluation.

Une première étape importante est de définir les paramètres spécifiques de la RBS au moment de l'incident ainsi que la durée et les emplacements de l'exposition. Plus on en sait et plus on a de chances d'appliquer les protocoles d'évaluation de la présente norme.

Si des protocoles d'évaluation simples, utilisant les paramètres de la RBS au moment de l'incident, peuvent démontrer que la personne n'a pas été exposée au-delà de la limite pertinente, il s'agit d'un résultat notable; en effet le rapport initial peut déclarer qu'avec une fiabilité supérieure à 95 %, par exemple, la personne a été exposée à moins de Y % de la limite applicable.

Si un protocole "conservateur" simple peut uniquement assurer qu'une valeur quelque peu supérieure à la limite pertinente n'a pas été dépassée, l'étape suivante est d'examiner la durée de l'incident d'exposition par rapport à la durée d'intégration limite applicable. Par exemple, si la valeur de l'évaluation est égale à deux fois (rapport de puissance ou DAS) la valeur limite et si l'exposition dans le cadre de l'incident n'était que le tiers de la durée d'intégration limite, ce résultat peut être utilisé pour conclure, de manière conservatrice, que l'exposition était inférieure à la limite. Il est également possible d'utiliser cette approche pour conclure que l'exposition est inférieure à X fois la limite.

Enfin, il peut être utile d'effectuer une étude de référence en utilisant une évaluation par onde complète du DAS afin d'estimer le DAS de manière plus précise.

La Figure C.5 fournit un exemple du processus d'étude qui se fonde sur ces principes.

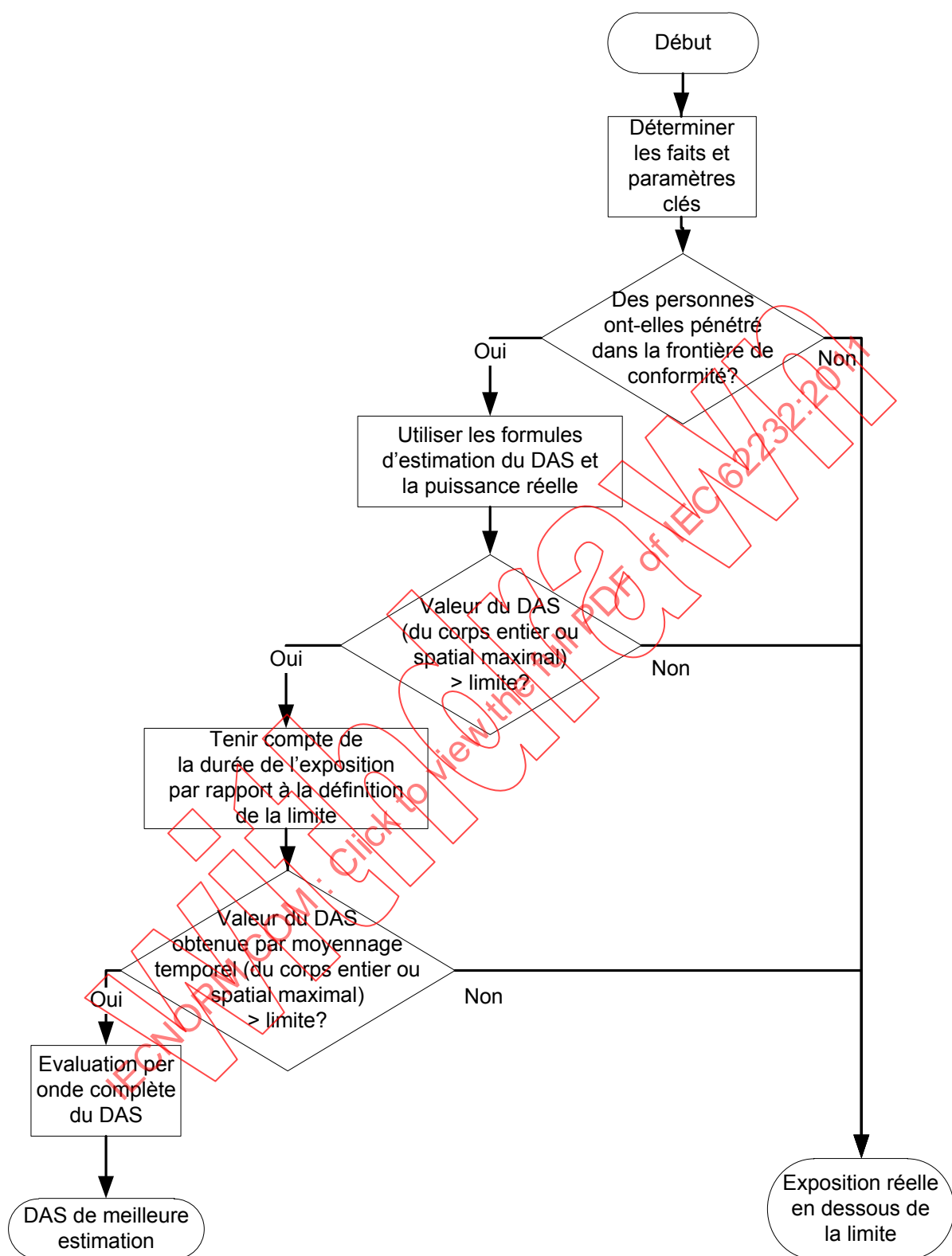


Figure C.5 – Exemple de processus d'étude

Annexe D (normative)

Paramètres d'évaluation

D.1 Présentation générale

La présente annexe définit les systèmes de coordonnées et les principaux paramètres d'évaluation utilisés dans la présente norme.

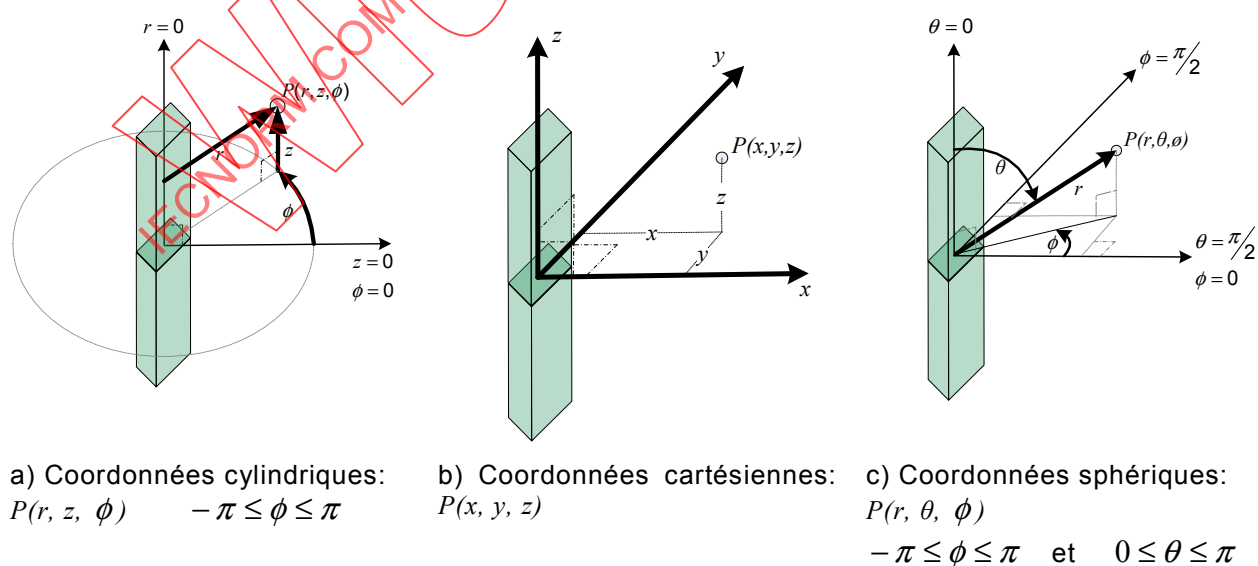
D.2 Systèmes de coordonnées

Selon la méthode d'évaluation, les coordonnées peuvent être définies en coordonnées cylindriques, cartésiennes ou sphériques, conformément à la Figure D.1.

Les axes de référence sont définis par:

- x est la direction à l'avant de l'antenne; ou $\theta = \pi/2$, $\phi = 0$ radian dans le système de coordonnées sphériques; ou $z = 0$ m, $\phi = 0$ radian dans le système de coordonnées cylindriques. L'avant de l'antenne doit être défini par exemple comme la ligne orthogonale par rapport au plan dans lequel sont configurés les éléments ou par le centre du diagramme d'illumination de faisceau symétrique horizontal.
- y est la direction à gauche de l'antenne en regardant à partir de l'avant de l'antenne le long d'un axe x , ou $\theta = \pi/2$, $\phi = \pi/2$ radians dans le système de coordonnées sphériques.
- z est la direction vers le "haut" (souvent orthogonale par rapport au centre du faisceau principal), ou $\theta = 0$ radians dans le système de coordonnées sphériques.

L'origine du système de coordonnées doit être définie, par exemple par le centre du panneau arrière dans le cas d'antennes à panneau (planes), et le centre de l'antenne dans le cas d'antennes omnidirectionnelles.



IEC 1042/11

IEC 1043/11

IEC 1044/11

**Figure D.1 – Coordonnées cylindriques, cartésiennes et sphériques
relatives à l'antenne de la RBS**

D.3 Points de référence

Pour des sources entièrement closes [par exemple un boîtier de bureau avec antenne interne] où il n'y a aucune indication extérieure de présence d'une antenne, utiliser la surface de l'enveloppe.

Lorsqu'il y a une antenne évidente [par exemple une unité de bureau avec antenne extérieure ou lorsque l'antenne de la RBS dispose d'éléments rayonnants exposés], utiliser l'antenne mais expliquer clairement, en fonction de la méthode d'évaluation, si l'origine est le centre ou le point le plus proche de l'antenne, et de la même manière faire clairement la distinction, si nécessaire, entre les éléments passifs/rélecteurs et les éléments actifs.

Pour le point d'évaluation où un moyennage spatial est utilisé, voir l'Annexe I.

D.4 Variables

Le Tableau D.1 définit les variables dimensionnelles.

Tableau D.1 – Variables dimensionnelles

Variable	Unité par défaut	Description
d_{xxx}	m	Distance, où l'indice xxx est utilisé pour définir les points d'extrémité du cas spécifique.
r_{xxx}	m	Rayon depuis le point d'origine où l'indice xxx peut être utilisé pour définir les points d'extrémité du cas spécifique.
L_{xxx}	m	Dimension d'une antenne, fantôme ou autre objet, où l'indice xxx peut être utilisé pour définir un cas spécifique.

Le Tableau D.2 définit les variables relatives à la puissance RF.

Tableau D.2 – Variables de puissance RF

Variable	Unité	Description	Notes
$\bar{P}_{avg}$	W	Moyenne (temporelle) de puissance transmise (voir l'Article 3)	Il s'agit de la moyenne temporelle de la puissance conduite, appliquée au connecteur d'entrée de l'antenne moins la puissance réfléchie par le connecteur d'entrée de l'antenne et moins la puissance dissipée en chaleur dans l'antenne. En l'absence d'informations supplémentaires, on suppose qu'aucune puissance n'est dissipée dans l'antenne et qu'aucune puissance n'est réfléchie.
$\bar{P}_{net}$	W	Moyenne (temporelle) de la puissance disponible au port de l'antenne.	Cette valeur est équivalente à la moyenne temporelle de la puissance incidente conduite moins la puissance réfléchie au connecteur d'entrée de l'antenne. En l'absence d'informations supplémentaires, on suppose qu'aucune puissance n'est réfléchie.

La valeur de la puissance ($\bar{P}_{\text{avg}}$ ou $\bar{P}_{\text{net}}$) à utiliser dans une évaluation donnée dépend de la méthode et de l'objectif.

- La puissance RF maximale d'une RBS [pour chaque bande de fréquences] doit être utilisée comme configuration de l'évaluation pour la conformité, soit directement par calcul soit en élaborant des facteurs d'extrapolation pour les mesures. Celle-ci doit être la puissance conduite maximale prévue dans des conditions de fonctionnement moyennées dans le temps sur une période d'intégration pertinente. Il est admis d'utiliser une valeur maximale plus faible si cela est justifié, sur la base d'une connaissance détaillée des contraintes s'appliquant aux paramètres du système spécifique.
- Il est défini une condition d'évaluation pratique de la puissance RF d'une RBS (pour chaque bande de fréquences), à utiliser pour extrapoler les valeurs des mesurandes à la configuration de l'évaluation, par exemple avec une puissance RF maximale de la RBS. Il doit y avoir une relation connue entre la puissance RF de la RBS de référence et la configuration de l'évaluation requise.

NOTE En fonction de la technologie (voir Annexe L), une certaine partie du signal reste substantiellement constante en amplitude; par exemple pour le GSM, le BCCH; pour l'UMTS, un canal pilote.

La puissance peut être déterminée

- en utilisant les données du fabricant, auquel cas l'incertitude doit être telle que déclarée par le fabricant; ou,
- par mesure directe, auquel cas l'incertitude doit être l'incertitude de la mesure combinée avec l'incertitude du fabricant si elle est extrapolée à d'autres fréquences de service et conditions d'environnement.

Le Tableau D.3 définit les variables d'antenne

Tableau D.3 – Variables d'antenne

Variable	Unité	Description	Notes
D	Rapport linéaire	Directivité crête de l'antenne (voir l'Article 3) à la fréquence objet de l'évaluation	à obtenir à partir des données du fabricant.
$D_{\theta,\phi}$	Rapport linéaire	Directivité de l'antenne dans la direction spécifiée dans les coordonnées sphériques à la fréquence objet de l'évaluation.	Pour la région-source III, à obtenir à partir des données du fabricant. ^a Pour la région-source I ou II, évaluer en utilisant la méthode d'évaluation.
G	Rapport linéaire	Gain crête de l'antenne (voir l'Article 3) à la fréquence objet de l'évaluation.	à obtenir à partir des données du fabricant. En l'absence d'informations supplémentaires, on suppose qu'aucune puissance n'est dissipée dans l'antenne.
$G_{\theta,\phi}$	Rapport linéaire	Gain de l'antenne dans la direction spécifiée dans les coordonnées sphériques, à la fréquence objet de l'évaluation.	Pour la région-source III, à obtenir à partir des données du fabricant. ^a Pour la région-source I ou II, évaluer en utilisant la méthode d'évaluation. En l'absence d'informations supplémentaires, on suppose qu'aucune puissance n'est dissipée dans l'antenne.
$G_{\text{side lobe}}$	Rapport linéaire	Gain du lobe secondaire maximal dans le diagramme de rayonnement vertical à la fréquence objet de l'évaluation.	à obtenir à partir des données du fabricant.
$\phi_{3\text{dB}}$	Radians	Largeur de faisceau en azimut du diagramme de rayonnement à la fréquence objet de l'évaluation.	à obtenir à partir des données du fabricant.
$\theta_{3\text{dB}}$	Radians	Largeur de faisceau vertical du diagramme de rayonnement à la fréquence objet de l'évaluation.	à obtenir à partir des données du fabricant.
γ	Radians	L'angle d'inclinaison électrique vers le bas du faisceau principal de l'antenne à partir du plan x-y, à la fréquence d'évaluation. L'inclinaison vers le bas est positive et l'inclinaison vers le haut est négative.	A obtenir à partir des données du fabricant
N_e	Nombre entier	Le nombre d'éléments d'antenne à la fréquence de l'évaluation.	A obtenir à partir des données du fabricant

^a Les données du fabricant sont souvent limitées à certaines orientations sur la surface traversant le faisceau principal et des facteurs sur une tranche orthogonale. Cette limitation introduit une incertitude susceptible d'être plus élevée aux "pôles" du diagramme d'antenne, [75].

Le Tableau D.4 définit les variables de mesurandes

Tableau D.4 – Variables de mesurandes

Variable	Unité	Description	Notes
$\hat{S}$	W m ⁻²	Valeur de la densité de puissance de l'onde plane équivalente sur la période la plus longue entre soit la modulation, soit les formes d'onde d'impulsion	Le moyennage temporel couvrant la modulation et les impulsions ou conforme à l'expression pertinente $\bar{P}_{avg}$ ou $\bar{P}_{net}$
S_{avg}	W m ⁻²	La valeur obtenue par moyennage temporel de la densité de puissance de l'onde plane équivalente.	Le moyennage temporel, tel que défini par exemple par la réglementation ou la norme d'exposition internationale applicable
$\bar{S}$	W m ⁻²	La valeur obtenue par moyennage spatial de la densité de puissance de l'onde plane équivalente.	Le moyennage spatial défini par la procédure de moyennage spatial
E	V m ⁻¹	Valeur du champ E efficace sur la période la plus longue entre soit la modulation, soit les formes d'onde d'impulsion	Le moyennage temporel couvrant la modulation et les impulsions ou conforme à l'expression pertinente $\bar{P}_{avg}$ ou $\bar{P}_{net}$
E_{avg}	V m ⁻¹	La valeur obtenue par moyennage temporel du champ E efficace.	Le moyennage temporel, tel que défini par exemple par la réglementation ou la norme d'exposition internationale applicable
$\bar{E}$	V m ⁻¹	La valeur calculée par moyennage spatial de l'intensité du champ E efficace.	Le moyennage spatial défini par la procédure de moyennage spatial
H	A m ⁻¹	Valeur du champ H efficace sur la période la plus longue entre soit la modulation, soit les formes d'onde d'impulsion	Le moyennage temporel couvrant la modulation et les impulsions ou conforme à l'expression pertinente $\bar{P}_{avg}$ ou $\bar{P}_{net}$
H_{avg}	A m ⁻¹	La valeur obtenue par moyennage temporel du champ H efficace	Le moyennage temporel, tel que défini par exemple par la réglementation ou la norme d'exposition internationale applicable
$\bar{H}$	A m ⁻¹	La valeur calculée par moyennage spatial de l'intensité du champ H efficace.	Le moyennage spatial défini par la procédure de moyennage spatial
DAS_{wb}	W kg ⁻¹	La valeur moyennée du débit d'absorption spécifique du corps entier	Le moyennage temporel couvrant la modulation et les impulsions ou conforme à l'expression pertinente $\bar{P}_{avg}$ ou $\bar{P}_{net}$
DAS_{10g}	W kg ⁻¹	La valeur maximale obtenue par moyennage spatial du débit d'absorption spécifique en 10 g.	Le moyennage temporel couvrant la modulation et les impulsions ou conforme à l'expression pertinente $\bar{P}_{avg}$ ou $\bar{P}_{net}$
DAS_{1g}	W kg ⁻¹	La valeur maximale obtenue par moyennage spatial du débit d'absorption spécifique en 1 g.	Le moyennage temporel couvrant la modulation et les impulsions ou conforme à l'expression pertinente $\bar{P}_{avg}$ ou $\bar{P}_{net}$

Annexe E (normative)

Exigences relatives à l'appareillage de mesure de l'intensité des champs de radiofréquences

La présente annexe définit les contraintes de base applicables à l'appareillage de mesure pour la gamme de fréquences de 300 MHz à 6 GHz.

L'appareillage de mesure doit être étalonné à un nombre suffisant de fréquences pour obtenir l'incertitude déclarée de l'appareillage sur la gamme de fréquences de mesure. Ceci peut être réalisé pour l'ensemble du système ou par étalonnage de toutes les composantes individuelles du système. Pour des signaux à facteurs de crête élevés ou des combinaisons de plusieurs signaux, un étalonnage supplémentaire peut être nécessaire à l'évaluation de l'incertitude.

Lorsqu'il est utilisé des capacités de démodulation spécifiques, l'appareillage de mesure doit également être étalonné pour les paramètres d'intérêt (par exemple, pour l'AMRC à bande élargie, le signal CPICH et le rapport signal-bruit - voir l'Annexe N).

Les exigences de performance du système de mesure à large bande sont résumées dans le Tableau E.1.

Tableau E.1 – Exigences relatives au système de mesure à large bande

Réponse en fréquence	Niveau de détection minimal	Domaine dynamique	Linéarité	Isotropie de la sonde ^a
900 MHz à 3 GHz ± 1,5 dB	< 2 mW/m ² (c'est-à-dire 1 V/m ou 0,003 A/m)	>40 dB	± 1,5 dB	< 2,5 dB pour une sonde isotrope
< 900 MHz et > 3 GHz ±3 dB pour les fréquences à mesurer				
^a Il est recommandé d'utiliser des sondes et des antennes de mesure à réponse isotrope. Il est admis d'utiliser des antennes à un seul axe (par exemple un dipôle) et des antennes de mesure directionnelles à condition que les mesures soient ensuite traitées pour obtenir l'intensité de champ totale (ce qui équivaut à une mesure au moyen d'une sonde/antenne de mesure isotrope).				

Les exigences de performance du système de mesure sélective en fréquence sont résumées dans le Tableau E.2.

Tableau E.2 – Exigences applicables au système de mesure sélective en fréquence

Réponse en fréquence	Niveau de détection minimal	Domaine dynamique	Linéarité	Isotropie de la sonde ^a
900 MHz à 3 GHz: ± 1,5 dB	< 0,01 mW/m ² (c'est-à-dire 0,05 V/m) Rapport signal-bruit d'au moins 10 dB dans la largeur de bande de mesure	> 60 dB	± 1,5 dB	< 900 MHz: < 2 dB
< 900 MHz et > 3 GHz: ± 3 dB pour les fréquences à mesurer				900 MHz à 3 GHz: < 3 dB > 3 GHz: < 5 dB
^a Il est recommandé d'utiliser des sondes et des antennes de mesure à réponse isotrope. Il est admis d'utiliser des antennes à un seul axe (par exemple un dipôle) et des antennes de mesure directionnelles à condition que les mesures soient ensuite traitées pour obtenir l'intensité de champ totale (ce qui équivaut à une mesure au moyen d'une sonde/antenne de mesure isotrope).				

Annexe F (informative)

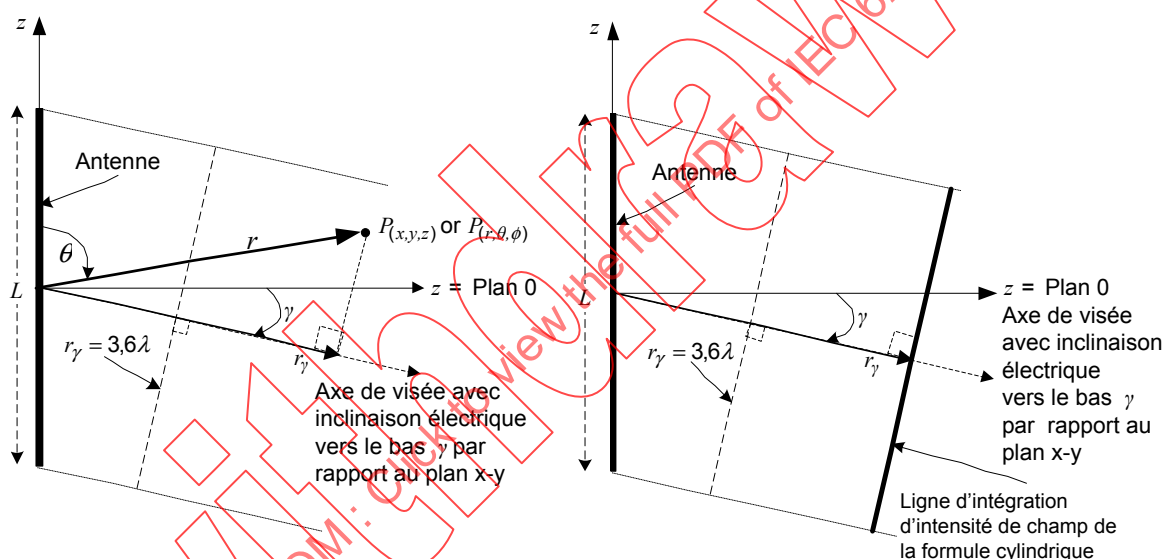
Application des calculs de base

F.1 Présentation générale

La présente annexe définit les formules présentées en 6.3.2 ainsi que leur applicabilité.

Le système de coordonnées est défini conformément à la Figure D.1.

La Figure F.1 illustre le cadre de référence correspondant à un axe d'antenne en réseau utilisé dans les formules de prédiction analytique pour les valeurs moyenne spatiale, $\bar{S}$, et maximale spatiale, S , de densité de puissance.



IEC 1045/11

Figure F.1 – Cadre de référence utilisé pour les formules cylindriques de calcul d'intensité de champ en un point P (à gauche) et sur une ligne perpendiculaire à l'axe de visée (à droite)

F.2 Formules sphériques et cylindriques

F.2.1 Généralités

Des formules sphériques avec différentes constantes et des formules cylindriques peuvent être utilisées pour des évaluations d'intensité des champs de radiofréquences dans différentes zones de calcul (voir Figure F.2 et Tableau F.1) autour d'une antenne linéaire type. La manière détaillée dont ces formules ont été obtenues et la manière dont les valeurs calculées correspondent au niveau de confiance (voir Figure O.1) dans les différentes zones de calcul est décrite en [53].

NOTE L'incertitude du calcul dépend de l'emplacement exact par rapport à l'antenne. Pour plus d'exactitude, dans la référence [53], quatre zones de calcul sont définies avec des analyses statistiques de données informatiques étendues fournissant des informations relatives à l'incertitude sous la forme de tableaux de décalage. Ceux-ci peuvent être utilisés pour déterminer les valeurs de S à des emplacements spécifiques corrigés pour le niveau de confiance requis.

Les formules du présent paragraphe utilisent les variables définies dans l'Article 3, l'Annexe D et comme suit (voir Figure F.1):

- G est le gain d'antenne maximal, mesuré comme un rapport linéaire, à la fréquence objet de l'évaluation
- $G_{\text{side lobe}}$ est le gain, mesuré comme un rapport linéaire, du lobe latéral maximal dans le diagramme de gain vertical à la fréquence objet de l'évaluation.
- L est la longueur physique du réseau d'antenne mesurée en mètres. Les longueurs individuelles d'antenne pour chaque bande doivent être utilisées pour des antennes couvrant plusieurs bandes.
- r est le rayon, mesuré en mètres, pris à partir du centre de l'antenne.
- r_γ est le rayon, mesuré en mètres, le long de l'axe de visée de l'antenne (voir Figure F.1).
- γ est l'angle d'inclinaison électrique vers le bas, mesuré en radians, du faisceau principal de l'antenne à partir du plan x - y (c'est-à-dire $z = 0$) à la fréquence d'évaluation et dont l'angle vers le bas est positif et vers le haut négatif.
- λ est la longueur d'onde, mesurée en mètres, pour chaque bande.
- θ est l'angle, mesuré en radians, entre l'axe z positif et la ligne formée entre l'origine et le point d'intérêt.
- $\theta_{3\text{dB}}$ est la HPBW verticale, mesurée en radians, à la fréquence objet de l'évaluation.
- ϕ est l'angle d'azimut, mesuré en radians, entre l'axe x positif et la ligne partant de l'origine au point d'intérêt projeté sur le plan x - y (c'est-à-dire où $z = 0$) et $-\pi < \phi \leq \pi$ et le gain maximal en azimut de l'antenne est à $\phi = 0$ radian.
- $\phi_{3\text{dB}}$ est la HPBW azimut, mesurée en radians, à la fréquence objet de l'évaluation.

F.2.2 Frontières de zone

Le Tableau F.1 donne les formules de calcul des frontières de zones applicables aux formules cylindriques et aux formules sphériques ajustées respectivement (pour une présentation visuelle des zones, voir la Figure F.2). Elles sont simplifiées par rapport au Tableau B.4 pour être cohérentes avec l'analyse de l'incertitude décrite dans [53]. Dans la Figure F.2, la vue 3-D illustre des sections en tranches de camembert de ces mêmes trois zones, qui sont symétriquement équivalentes autour de l'axe z .

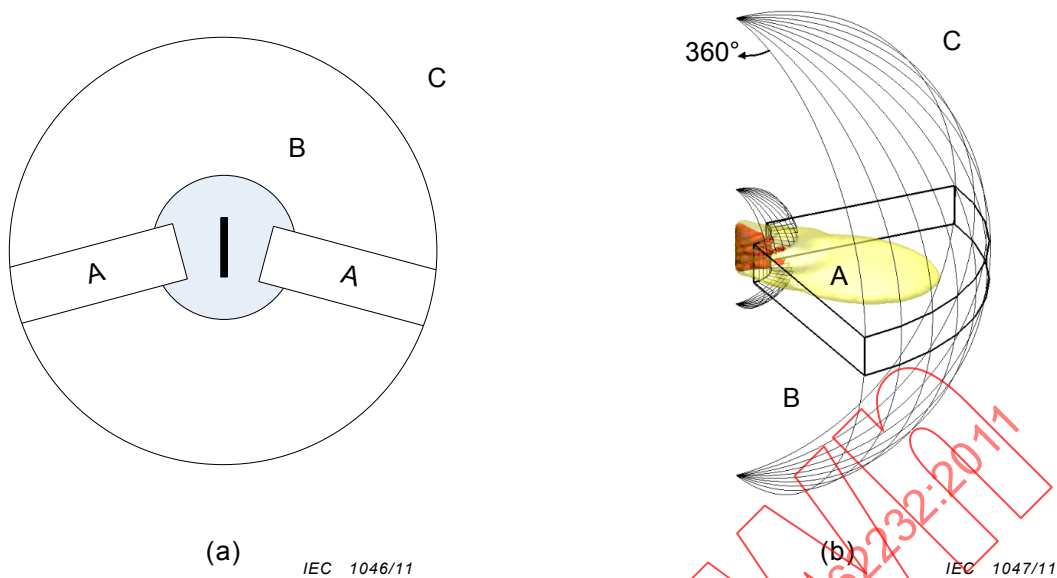


Figure F.2 – Vue bi (a) et tri-dimensionnelle (b) illustrant les trois zones valables pour le calcul de l'intensité de champ autour d'une antenne

Tableau F.1 – Définition de frontières pour le choix de la zone de calcul

Méthode de calcul	Point d'intérêt dans la zone:		
	a	B	c
Restrictions liées à la frontière	Maximale/moyenne Formules cylindriques $3,6\lambda \leq r_{\gamma} \leq \max \left[\frac{2L^2}{\lambda}, \frac{L}{2+2,5\lambda} \right]$ Applicable dans l'axe de visée dans la hauteur d'antenne ^a Réseaux sectoriels: $-\pi/2 \leq \phi \leq \pi/2$ Réseaux omnidirectionnels: $-\pi \leq \phi \leq \pi$	Maximale/moyenne Formules sphériques ajustées $L/2 + 2,5\lambda \leq r \leq \frac{2L^2}{\lambda}$ Applicable hors de l'axe de visée, au-dessus et au-dessous de la hauteur d'antenne ^a	Maximale/moyenne formules sphériques conventionnelles $r \geq \max \left[\frac{2L^2}{\lambda}, \frac{L}{2+2,5\lambda} \right]$ Applicable partout dans la région-source III.

^a Dans le cas de l'inclinaison électrique vers le bas, la condition "dans l'axe de visée dans la hauteur d'antenne" est définie par: $-\frac{L}{2} - r_{\gamma} \cdot \sin(\gamma) \leq z \leq \frac{L}{2} - r_{\gamma} \cdot \sin(\gamma)$ z étant défini par le cas a) et le cas b) de la Figure D.1.

F.2.3 Description: Formules d'estimation cylindriques

F.2.3.1 Formules cylindriques moyennes

Les formules d'estimation pour la densité de puissance équivalente moyennée dans l'espace, $\bar{S}$, applicable dans la **zone A** (voir la Figure F.2) sont décrites en [4]:

a) Réseaux omnidirectionnels

$$\bar{S}(r_{\gamma}) = \frac{\bar{P}_{avg}}{2 \cdot \pi \cdot r_{\gamma} \cdot L \cdot \cos^2(\gamma) \cdot \sqrt{1 + (r_{\gamma}/r_0)^2}}, \quad r_0 = \frac{1}{2} G \cdot L \cdot \cos^2 \gamma \quad (F.1)$$

b) Réseaux à couverture sectorielle

$$\bar{S}(r_\gamma, \phi) = \frac{\bar{P}_{\text{avg}} \cdot 2^{-(2\phi/\phi_{3\text{dB}})^2}}{\phi_{3\text{dB}} \cdot r_\gamma \cdot L \cdot \cos^2(\gamma) \cdot \sqrt{1 + (r_\gamma/r_0)^2}}, \quad r_0 = \frac{\phi_{3\text{dB}}}{12} \cdot G \cdot L \cdot \cos^2 \gamma \quad (\text{F.2})$$

NOTE 1 Les formules F.1 et F.2 sont utilisées pour calculer la densité de puissance équivalente d'onde plane, moyennée dans l'espace, sur la longueur d'antenne spécifiée L et par conséquent ne sont pas nécessairement liées aux procédures de moyennage spatial décrites dans l'Annexe I.

NOTE 2 Les formules cylindriques moyennes fournissent des valeurs de S représentant la meilleure estimation du niveau de confiance (voir Figure O.2) pour l' "incertitude liée à la technique". A partir de [53], le niveau de confiance supérieur de 95 % correspondant (voir Figure O.2) est compris entre +0,3 dB et +7,5 dB (en fonction de ϕ) au-dessus de S déterminé par les Equations (F.1) et (F.2) pour la gamme des antennes évaluées dans l'étude indiquée.

F.2.3.2 Formules cylindriques crêtes

Les formules [4] d'estimation correspondantes pour la valeur maximale spatiale de la densité de puissance équivalente d'onde plane, applicable dans la **zone A** (voir la Figure F.2) sont:

a) Réseaux omnidirectionnels

$$S(r_\gamma) = \frac{\bar{P}_{\text{avg}}}{\pi \cdot r_\gamma \cdot L \cdot \cos^2(\gamma) \cdot \sqrt{1 + (2r_\gamma/r_0)^2}}, \quad r_0 = \frac{1}{2} \cdot G \cdot L \cdot \cos^2 \gamma \quad (\text{F.3})$$

b) Réseaux à couverture sectorielle

$$S(r_\gamma, \phi) = \frac{2 \cdot \bar{P}_{\text{avg}} \cdot 2^{-(2\phi/\phi_{3\text{dB}})^2}}{\phi_{3\text{dB}} \cdot r_\gamma \cdot L \cdot \cos^2(\gamma) \cdot \sqrt{1 + (2r_\gamma/r_0)^2}}, \quad r_0 = \frac{\phi_{3\text{dB}}}{12} \cdot G \cdot L \cdot \cos^2 \gamma \quad (\text{F.4})$$

NOTE Les formules cylindriques maximales fournissent des valeurs de S représentant la meilleure estimation du niveau de confiance (voir Figure O.2) pour l' "incertitude liée à la technique". A partir de [53], le niveau de confiance supérieur de 95 % correspondant (voir Figure O.2) est compris entre +0,6 dB et +7,2 dB (en fonction de ϕ) au-dessus de S déterminé par les Equations (F.3) et (F.4) pour la gamme des antennes évaluées dans l'étude indiquée.

F.2.4 Description: Formules d'estimation sphériques

F.2.4.1 Formules sphériques ajustées

Les formules d'estimation sphériques ajustées applicables dans la **zone B** (voir la Figure F.2) pour les valeurs moyenne spatiale $\bar{S}$ et maximale spatiale S de densité de puissance équivalente sont:

a) Réseaux omnidirectionnels

$$S(r, \theta) \approx \bar{S}(r, \theta) = \frac{1,2 \cdot \bar{P}_{\text{avg}} \cdot G_\theta}{4 \cdot \pi \cdot r^2}, \quad G_\theta = 1,26 \cdot G_{\text{side lobe}} + G \cdot 2^{\left(\frac{\theta - \gamma - \pi/2}{\theta_{3\text{dB}}} \right)^2} \quad (\text{F.5})$$

b) Réseaux à couverture sectorielle

$$S(r, \theta, \phi) \approx \bar{S}(r, \theta, \phi) = \frac{1,2 \cdot \bar{P}_{\text{avg}} \cdot G_{\theta, \phi}}{4 \cdot \pi \cdot r^2}, \quad G_{\theta, \phi} = 1,26 \cdot G_{\text{side lobe}} + G \cdot 2^{\left(\frac{\theta - \gamma - \pi/2}{\theta_{3\text{dB}}} \right)^2} \cdot \left(\frac{1,9 \cdot \phi}{\phi_{3\text{dB}}} \right)^2 \quad (\text{F.6})$$

NOTE Les formules sphériques ajustées telles que déduites dans [53], fournissent des valeurs de S représentant la meilleure estimation du niveau de confiance (voir Figure O.2) pour l' "incertitude liée à la technique" compte tenu de la zone de calcul complète B (voir Figure F.2). A partir de [53], le niveau de confiance supérieur de 95 % correspondant (voir Figure O.2) va jusqu'à +5,8 dB sur S déterminé par les Equations (F.5) et (F.6) en fonction de r , θ et ϕ pour la gamme des antennes évaluées dans l'étude indiquée.

F.2.4.2 Formule sphérique conventionnelle

La formule sphérique conventionnelle (voir 6.3.2.1 Equation (7)) est applicable dans la **zone C** (voir la Figure F.2) pour l'estimation de la densité de puissance d'onde plane équivalente moyennée dans l'espace $\bar{S}$ et la densité de puissance d'onde plane équivalente maximale spatiale S applicables.

NOTE La formule sphérique conventionnelle (voir Equation (7)), fournit une valeur de S représentant la meilleure estimation du niveau de confiance (voir Figure O.2) pour l' "incertitude liée à la technique". Le niveau de confiance supérieur de 95 % (voir Figure O.2) est de +3,5 dB sur S déterminé par l'équation simplifiée dans [53] qui définit pleinement la méthode permettant de déterminer le diagramme de gain tri-dimensionnel et les incertitudes associées au moyen de la gamme des antennes évaluées dans l'étude indiquée.

F.3 Formules d'estimation du DAS

F.3.1 Formules d'estimation du DAS applicables dans la direction avant (faisceau principal)

Le DAS du corps entier et le DAS maximal à moyennage spatial (1 g ou 10 g) doivent être évalués en utilisant les formules suivantes [50]:

$$DAS_{wb} = C(f) \cdot \frac{H_{eff}}{\tilde{A} \cdot \tilde{B}} \cdot \frac{\bar{P}_{avg}}{\phi_{3dB} \cdot L \cdot d} \cdot \left[1 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\phi_{3dB} \cdot G \cdot L} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad (F.7)$$

$$DAS_{10g} = 25 \cdot DAS_{wb} \cdot \frac{\tilde{B}}{H_{eff}} \cdot \frac{1}{R_{wb/10g}} \quad (F.8)$$

$$DAS_{1g} = 20 \cdot DAS_{wb} \cdot \frac{\tilde{B}}{H_{eff}} \cdot \frac{1}{R_{wb/1g}} \quad (F.9)$$

où

$$\tilde{A} = 0,189 \text{ m}$$

$$\tilde{B} = 1,54 \text{ m}$$

d = la distance la plus proche (en m) à partir du radôme de l'antenne jusqu'au point d'évaluation.

NOTE Pour comparaison avec des simulations par onde complète, d est la distance la plus proche entre le radôme et le fantôme.

H_{eff} = Hauteur effective du corps (en m).

L = Longueur physique du réseau d'antenne, mesurée en mètres. Les longueurs individuelles d'antenne pour chaque bande doivent être utilisées pour des antennes couvrant plusieurs bandes

$$R_{wb/10g} = \begin{cases} 1,5 & 300 \text{ MHz} < f \leq 2,5 \text{ GHz} \\ 1 & 2,5 \text{ GHz} < f < 5 \text{ GHz} \end{cases}$$

$$R_{wb/1g} = \begin{cases} 0,6 & 300 \text{ MHz} < f \leq 2,5 \text{ GHz} \\ 0,3 & 2,5 \text{ GHz} < f < 5 \text{ GHz} \end{cases}$$

H_{eff} doit être évaluée en utilisant

$$H_{\text{eff}} = \begin{cases} L & H_{\text{beam}} < L \text{ ET } H_{\text{beam}} < \tilde{B} \\ H_{\text{beam}} & L \leq H_{\text{beam}} < \tilde{B} \\ \tilde{B} & \tilde{B} \leq H_{\text{beam}} \\ \tilde{B} & \tilde{B} \leq L \end{cases}$$

où

$$H_{\text{beam}} = 2 \cdot d \cdot \tan(\theta_{3\text{dB}} / 2)$$

$C(f)$ doit être évalué en utilisant le Tableau F.2.

Tableau F.2 – Définition de $C(f)$.

f MHz	$C(f)$ $10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$
300 à 900	$6,3 + \frac{(f - 300)}{600} \times 1,8$
900 à 5000	8,1

F.3.2 Formules d'estimation du DAS applicables dans les directions axiale et arrière

Les valeurs maximales du DAS à moyennage spatial 1 g ou 10 g doivent être évaluées en utilisant les formules suivantes [49]:

$$SAR_{1g,10g}(d, \bar{P}_{\text{avg}}, N_e) = \begin{cases} \tilde{C}_{1g,10g}^{A,B} \frac{\bar{P}_{\text{avg}}}{N_e} & d < 0,01 \text{ m} \\ \tilde{D}_{1g,10g}^{A,B} \frac{\bar{P}_{\text{avg}}}{N_e \cdot d} & d \geq 0,01 \text{ m} \end{cases} \quad (\text{F.10})$$

où

les suffixes ^A et ^B représentent les directions axiale et arrière, respectivement,

$$\tilde{C}_{1g}^A = 10 \text{ kg}^{-1}$$

$$\tilde{D}_{1g}^A = 0,1 \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$\tilde{C}_{1g}^B = 1 \text{ kg}^{-1}$$

$$\tilde{D}_{1g}^B = 0,01 \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$\tilde{C}_{10g}^A = 5 \text{ kg}^{-1}$$

$$\tilde{D}_{10g}^A = 0,05 \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$\tilde{C}_{10g}^B = 0,5 \text{ kg}^{-1}$$

$$\tilde{D}_{10g}^B = 0,005 \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$$

d = Dans la direction arrière, la distance (en m) à partir du panneau arrière de l'antenne au point d'évaluation. Dans la direction axiale, la plus petite distance (en m) à partir de l'élément d'antenne le plus proche jusqu'au point d'évaluation. Pour une évaluation conservatrice, la distance à partir du radôme de l'antenne peut être utilisée dans la direction axiale.

NOTE Pour des comparaisons avec des simulations par onde complète, d est la distance la plus proche entre le fantôme et soit le panneau arrière pour l'évaluation de la direction arrière, soit l'élément d'antenne le plus proche pour l'évaluation de la direction axiale.

N_e = le nombre d'éléments d'antenne à la fréquence d'évaluation.

F.4 Formules d'estimation de l'intensité de champs de radiofréquences d'antennes Yagi

La formule suivante, définie en [30], prédit la valeur moyenne de la densité de puissance incidente devant une antenne Yagi à des distances supérieures à $\lambda/2$ par rapport à l'élément frontal.

$$\bar{S}(d, \phi \approx 0; h_d) = \frac{\bar{P}_{avg}}{2 \cdot \pi \cdot L_d \cdot d} \quad (\text{F.11})$$

Il est démontré en [4] que la valeur de densité de puissance de réseaux colinéaires est inférieure à deux fois la valeur moyenne. Ce résultat peut être transposé en toute sécurité à des réseaux Yagi, sachant que leur front d'onde est beaucoup plus lisse:

$$S(d, \phi \approx 0; L_d) = \frac{\bar{P}_{avg}}{\pi \cdot L_d \cdot d}$$

Comme cela a été fait en [8], [4], la transition entre la décroissance en champ proche (cylindrique) et le comportement en champ lointain (sphérique) est facilement réalisée de la manière suivante:

$$S(d, \phi \approx 0; L_d) = \frac{\bar{P}_{avg}}{\pi \cdot L_d \cdot d \cdot \sqrt{1 + (2d/d_0)^2}}, \quad d_0 = \frac{1}{2} \cdot D \cdot L_d, \quad d \geq \frac{\lambda}{2} \quad (\text{F.12})$$

où

D est la directivité dans la direction de l'intensité maximale de rayonnement (voir Article 3).

$\bar{P}_{avg}$ est la puissance transmise (temporelle) moyenne (voir Article 3).

S est la densité de puissance (W m^{-2}) dans la direction de l'intensité maximale de rayonnement.

L_d est la longueur de direction, mesurée en mètres, qui est généralement d'environ $\lambda/2$

d est la distance, mesurée en mètres, entre l'élément frontal de Yagi et le point d'évaluation dans la direction de l'intensité maximale de rayonnement.

Ceci permet d'obtenir une évaluation très conservatrice dans toutes les autres directions à partir de l'antenne.

F.5 Formules d'estimation conservatrices de l'intensité de champs de radiofréquences à partir de câbles RF conducteurs d'ondes de fuite

La Figure F.3 présente la géométrie d'un câble RF conducteur d'ondes de fuite; il est constitué d'un câble coaxial dont la gaine ou la tresse métallique présente des fentes régulièrement espacées qui laissent "fuir" une petite fraction de l'énergie RF conduite dans le câble. L'affaiblissement de l'onde guidée est donc constitué de deux composantes: l'affaiblissement conventionnel du champ dû aux pertes ohmiques et diélectriques dans les matériaux du câble et l'atténuation de l'intensité de champ guidé due à la perte d'énergie sur la forme de fuite de rayonnement.

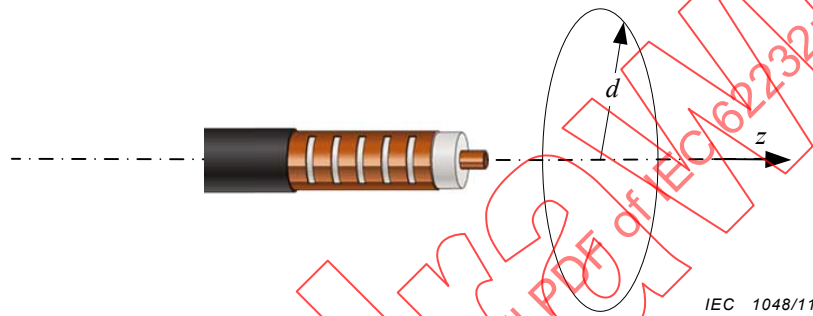


Figure F.3 – Géométrie d'un conducteur d'ondes de fuite

Du fait des caractéristiques mentionnées ci-dessus, les conducteurs d'ondes de fuite sont les lignes de transmission rayonnantes fréquemment utilisées pour assurer des communications dans les tunnels ou dans des bâtiments; elles sont caractérisées par une constante d'atténuation qui dépend de la fréquence, α :

$$\alpha = \alpha_d + \alpha_r$$

où

α_d est la constante d'atténuation due à la perte par dissipation le long de la chaîne de transmission (dB/m)

α_r est la constante d'atténuation due à la perte par rayonnement le long de la chaîne de transmission (dB/m)

Si l'on ne tient pas compte de l'atténuation par dissipation et en supposant que l'ensemble de l'atténuation de l'intensité de champ guidée est due aux fuites RF, c'est-à-dire $\alpha = \alpha_r$, on peut surestimer la fraction relative de puissance RF rayonnée, entraînant une évaluation conservatrice de l'intensité des champs de radiofréquences. Dans cette hypothèse, la décroissance de la puissance circulante par rapport à la distance sur la chaîne de transmission (en supposant que le câble est alimenté à $z = 0$) est la suivante:

$$P(z) = \bar{P}_{\text{net}} \cdot 10^{-z \left(\frac{\alpha}{10} \right)} = \bar{P}_{\text{net}} \cdot e^{-\alpha z \left[\frac{\ln(10)}{10} \right]} = \bar{P}_{\text{net}} \cdot e^{-z \left[\frac{\alpha}{4,343} \right]}$$

Par conséquent, la puissance rayonnée par unité de longueur P_r est:

$$P_r(z) = \frac{P(z) - P(z + \Delta z)}{\Delta z} \Big|_{\Delta z \rightarrow 0} = -\frac{\partial}{\partial z} P(z) = \bar{P}_{\text{net}} \left(\frac{\alpha}{4,343} \right) \cdot e^{-z \left(\frac{\alpha}{4,343} \right)} \text{ W m}^{-1}$$

Sachant que les ondes émises par des câbles d'ondes de fuite ont généralement une caractéristique conique, il est possible d'obtenir une estimation conservatrice des niveaux d'émission à une distance radiale d , en introduisant une décroissance de type cylindrique de la manière suivante:

$$S(d,z) = \frac{P_r(z)}{2 \cdot \pi \cdot d} = \left(\frac{\alpha}{4,343} \right) \cdot \frac{\bar{P}_{\text{net}}}{2 \cdot \pi \cdot d} e^{-z \left(\frac{\alpha}{4,343} \right)} \text{ W m}^{-2} \quad (\text{F.13})$$

La formule peut être rendue encore plus conservatrice si l'on utilise sa valeur crête, à $z = 0$

$$S(d) = \frac{\bar{P}_{\text{net}} \cdot \alpha}{8,646 \cdot \pi \cdot d} \text{ W m}^{-2} \quad (\text{F.14})$$

où

- $S(d)$ est la densité de puissance (W m^{-2}) à une distance ρ (m) du centre du conducteur d'ondes de fuite au niveau du connecteur d'alimentation.
- $S(d,z)$ est la densité de puissance (W m^{-2}) à la distance radiale d (m) à partir du centre du conducteur d'ondes de fuite à une distance z (m) du connecteur d'alimentation
- α est la constante d'atténuation en fonction de la fréquence (dB/m)
- $\bar{P}_{\text{net}}$ est la puissance (temporelle) moyenne nette (W) transférée dans le conducteur d'ondes de fuite

L'équation (F.14) peut être considérée comme une estimation conservatrice de l'exposition d'une personne placée parallèlement à l'axe du câble. Etant donné que les câbles sont en général posés horizontalement dans les tunnels ou bureaux, la formule pourrait fournir une évaluation très conservatrice lorsqu'elle est appliquée à la distance radiale la plus proche à laquelle toute partie du corps humain est exposée par rapport à l'axe longitudinal du câble.

Annexe G (normative)

Application de calculs avancés

G.1 Introduction

La présente annexe fournit des informations sur les questions spécifiques à la méthode qui doivent être prises en compte lorsqu'on effectue une évaluation par onde complète de l'intensité des champs et une évaluation par onde complète du DAS. Les exigences techniques généralement applicables sont énumérées ci-dessous pour chacune des méthodes.

G.2 Evaluation par onde complète de l'intensité du champ

G.2.1 Méthode des moments (Mm)

La méthode Mm est utilisée pour résoudre numériquement des formes intégrales d'équations de Maxwell. En principe, les champs électromagnétiques rayonnés sont obtenus par la procédure en deux étapes suivantes.

- a) En premier lieu, les structures qui sont représentées par un maillage sont remplacées par des courants équivalents. Il est déduit une matrice qui représente l'effet de chaque élément / segment sur chaque autre segment / élément; les courants de surface sont résolus.
- b) En second lieu, ces courants sont intégrés de manière à obtenir les champs électriques et magnétiques aux points d'intérêt.

Les structures métalliques peuvent être modélisées avec précision et efficacité en utilisant la Mm. Il est également possible de traiter facilement des structures fines à orientations arbitraires. Un autre avantage est que seule l'antenne rayonnante doit être discrétisée, c'est-à-dire que les exigences en mémoire et le temps de résolution ne dépendent pas de la distance entre la source et le point du champ. Pour cette même raison, il n'y a aucune composante d'incertitude résultant de la troncature du domaine de calcul, comme c'est le cas avec les méthodes FDTD et FEM. La méthode Mm n'est cependant pas la méthode la plus efficace pour les supports diélectriques hétérogènes, mais lorsqu'elle est associée à la méthode FEM, elle peut être une solution efficace. Etant donné que la structure physique d'une antenne de RBS type est particulièrement grande par rapport à la longueur d'onde et que lorsqu'on utilise beaucoup de détails, ces simulations peuvent devenir extrêmement gourmandes en mémoire et chronophages lorsque la fréquence est élevée, par exemple GSM-1800 ou UMTS, il s'agit pour ces calculs d'un problème général de CEM.

Il convient de garder à l'esprit les principes suivants lorsque la méthode Mm est utilisée.

- Il convient que la dimension de l'arête des éléments du modèle soit suffisamment petite pour donner des résultats précis et suffisamment grande pour garantir la possibilité d'utiliser des ressources de calcul réalistes. Pour s'assurer que la dimension de l'arête des éléments est suffisamment petite, il convient d'effectuer des essais de convergence: il s'agit d'un processus itératif qui implique une variation des dimensions du maillage et une comparaison des résultats, jusqu'à ce que la dimension de maillage optimale soit établie. Commencer avec des dimensions d'arête de, par exemple $\lambda_0/5$, $\lambda_0/8$ et $\lambda_0/10$ (λ_0 étant la longueur d'onde en espace libre) et recommencer jusqu'à ce que la différence entre les résultats soit inférieure à 10 %. Il convient également que les dimensions de l'arête soient suffisamment petites pour créer un maillage représentatif de la géométrie. C'est ce que l'on appelle quelquefois la convergence géométrique.

- Pour le maillage d'un modèle détaillé d'antenne, les éléments constitutifs du maillage peuvent avoir des dimensions différentes - plus fines (par exemple $\lambda_0/15$) lorsque les variations de courant les plus élevées sont par exemple proches des broches d'alimentation - et plus grossières (par exemple $\lambda_0/8$) ailleurs, afin de réduire le temps d'exécution.
- Dans certains cas, il y aura d'autres limites concernant la taille des éléments constitutifs du maillage; par exemple si deux plaques métalliques sont proches l'une de l'autre, ceci limite la dimension d'arête maximale des éléments. Un autre exemple est fourni par les limitations relatives au rayon par rapport à la longueur du segment d'un élément filaire.
- Des informations exactes concernant l'excitation de chaque élément rayonnant sont requises pour réaliser une modélisation par onde complète précise d'une antenne.

G.2.2 Différences finies dans le domaine temporel (FDTD)

Dans la méthode FDTD, les équations rotationnelles à dépendance chronologique de Maxwell sont directement résolues par approximation des équations différentielles avec des équivalents à différences finies sur une grille structurée. Une méthode appelée technique d'intégration finie (FIT) est étroitement apparentée à la méthode FDTD et les instructions données ici pour la FDTD s'appliquent tout aussi bien à l'analyse FIT.

La grille de modélisation numérique FDTD est constituée de cellules rectangulaires. La différence avec la méthode MdM est que la grille de modélisation numérique doit être étendue à toutes les régions où l'on souhaite calculer les valeurs de champ électrique. De ce fait, la mémoire informatique disponible peut devenir un facteur limitatif pour l'évaluation des champs situés à plusieurs mètres de l'antenne. Dans la méthode FDTD conventionnelle, le maillage de modélisation numérique est de forme rectangulaire, ce qui veut dire que les surfaces incurvées et les objets à orientation arbitraire sont difficiles à modéliser avec précision. Par ailleurs, les conditions aux limites absorbantes doivent être appliquées aux frontières de la grille pour simuler les conditions d'espace ouvert.

Lorsque la méthode FDTD est utilisée à des fins d'évaluation des champs, on doit tenir compte des éléments suivants:

- Les exigences relatives aux dimensions des cellules de la grille

Il convient que la longueur du côté local de la cellule ne dépasse pas 1/10ème de la longueur d'onde dans ce matériau. Dans le cas contraire, la simulation de la propagation n'est pas précise.

Il convient que la longueur du côté local de la cellule soit suffisamment petite pour pouvoir décrire la géométrie de la structure analysée. Un soin particulier doit être apporté à une modélisation précise de la région-source. L'une des faiblesses de la méthode FDTD est que les feuilles minces à orientation arbitraire exigent généralement une grille très dense. Lorsqu'il est utilisé des techniques sophistiquées pour modéliser des détails fins (tels que des maillages conformationnels et des approximations de fils fins), il est important de bien connaître leurs limitations.
- Efficacité des conditions aux limites absorbantes

Il n'existe aucune limite absorbante idéale et par conséquent, il y a toujours une certaine réflexion due à la frontière. En général, les conditions aux limites absorbantes sont fondées sur une factorisation approchée de l'équation d'onde, sur l'extrapolation des valeurs de champ ou sur des couches de matériaux avec pertes aux frontières. Pour pouvoir déterminer l'incertitude élargie d'évaluation des champs, on doit quantifier l'importance de l'erreur due à des réflexions de la frontière de la grille. En général, la simulation doit être répétée avec des valeurs variables des dimensions de la grille et/ou des paramètres relatifs aux conditions aux limites absorbantes.

Pur réduire l'erreur de réflexion provenant des frontières de la grille, il est utile de connaître une règle empirique sur laquelle la composante réfléchie de l'onde est faible lorsque la densité de puissance des ondes en entrée est faible. Par conséquent, il est utile d'étendre la grille de modélisation numérique, notamment dans les directions du rayonnement le plus fort de l'antenne.

- Des informations exactes concernant l'excitation de chaque élément rayonnant sont requises pour réaliser une modélisation par onde complète précise d'une antenne.

G.2.3 Méthode des éléments finis (FEM)

Avec la méthode FEM, la résolution des valeurs de champ est approchée en utilisant la somme des fonctions de base différentes de zéro dans des éléments de dimension finie. Les éléments sont choisis pour se conformer à la structure physique à simuler, ce qui permet une modélisation facile et précise des conditions aux interfaces et aux frontières. Le maillage est en général constitué au moyen d'éléments tétraédriques qui permettent également de représenter avec précision la géométrie de structures arbitraires.

Comme la FDTD, la FEM est également fondée sur une discrétisation du volume, ce qui signifie qu'elle présente le même inconvénient, c'est-à-dire la nécessité de discrétiser toutes les régions dont les valeurs de champ doivent être calculées. Cependant, lorsque les points où les valeurs de champ doivent être calculées sont à l'extérieur d'un domaine minimal (ayant des conditions appropriées de conditions aux limites absorbantes) qui circonscrit la structure rayonnante, il peut être avantageux d'appliquer pour ces points des transformations au voisinage du champ proche similaires à celles utilisées dans la méthode des moments. Le champ évalué sur une surface entourant la structure rayonnante peut être utilisé comme source secondaire pour évaluer le champ à l'extérieur de cette surface au moyen d'équations intégrales.

Lorsque la méthode FEM est utilisée à des fins d'évaluation des champs, on doit tenir compte des éléments suivants:

- Les dimensions des mailles et/ou l'ordre polynomial des fonctions de base
 Bien qu'un maillage adaptatif puisse automatiquement gérer la précision de la solution avec un nombre minimal de degrés de liberté, il est recommandé que la taille maximale de l'élément (longueur latérale de l'élément) soit limitée pour assurer la précision de la solution d'évaluation du champ. Il est recommandé que la dimension maximale de l'élément dans un milieu donné soit inférieure au cinquième ou au dixième de la longueur d'onde dans ce milieu en fonction de l'ordre polynomial des fonctions de base (second ou premier). Pour des polynômes d'ordre supérieur, la taille du maillage peut être relâchée.
- Troncature du maillage des structures rayonnantes
 Dans la méthode FEM, il existe différentes techniques permettant de tronquer le domaine du maillage et de simuler des ondes sortantes. L'association de la méthode FEM avec la méthode MdM sur une surface arbitraire ou une association de la méthode FEM à des harmoniques sphériques sur une sphère constituent des techniques très rigoureuses et par conséquent précises. Les surfaces peuvent être placées à proximité de la surface rayonnante, réduisant ainsi la dimension du problème à résoudre. Il est également possible d'utiliser une technique plus simple telle que celle des conditions aux limites absorbantes de premier ordre de Silver-Muller, à condition que la surface de troncature soit suffisamment éloignée pour que l'onde incidente soit proche d'une incidence normale. Cette distance peut dépendre de la structure rayonnante; une distance minimale d'une demi-longueur d'onde est exigée. La très populaire PML (couche parfaitement adaptée) introduite pour la méthode FDTD a été transposée à la méthode FEM avec les mêmes performances et exigences.
- Des informations exactes concernant l'excitation de chaque élément rayonnant sont requises pour réaliser une modélisation par onde complète précise d'une antenne.

G.3 Evaluation du DAS

G.3.1 Généralités

Les évaluations du DAS appliquent la modélisation de l'antenne de la RBS ainsi que le fantôme humain. Sachant que des informations détaillées sur la modélisation de l'antenne sont présentées en G.2, le présent paragraphe s'intéressera aux exigences supplémentaires de modélisation du fantôme humain.

On doit noter qu'un fantôme humain est grand par rapport à la longueur d'onde aux fréquences envisagées dans la présente norme. De ce fait, toutes les simulations d'évaluation du DAS seront gourmandes en mémoire et chronophages, notamment dans la gamme de fréquences supérieure (par exemple pour UMTS). Il convient d'utiliser la géométrie de fantôme la plus simple car elle donnera encore des résultats suffisamment précis. Les parties du fantôme qui n'influenceront pas les résultats pourraient être omises. La symétrie pourrait, le cas échéant, être utilisée pour réduire les exigences en ressources de calcul.

G.3.2 Méthode des moments (MmM) et méthodes hybrides

Pour les calculs du DAS utilisant la méthode MmM, on doit se conformer aux lignes directrices suivantes.

- Le maillage des fantômes doit être plus petit sur la face avant et aux endroits où la géométrie est complexe.
- Les régions diélectriques hétérogènes peuvent être extrêmement voraces en termes de ressources lorsque la simulation est effectuée au moyen de la méthode MmM. Les solutions hybrides FEM/MmM peuvent être une alternative pertinente pour les régions diélectriques hétérogènes.
- La dimension d'arête des triangles diélectriques utilisés pour modéliser le fantôme doit être suffisamment petite pour donner des résultats précis et suffisamment grande pour obtenir un temps d'exécution réaliste. Les maillages suggérés pour des conditions spécifiques différeront en fonction du progiciel de simulation. Des essais de convergence doivent être effectués avec le modèle fantôme pour confirmer l'obtention de résultats précis.

On doit se conformer aux principes suivants pour choisir la taille de maille du fantôme.

- Pour déterminer si les éléments de surface du fantôme, dans une simulation MmM, sont suffisamment fins, commencer avec trois longueurs d'arêtes variables, par exemple $\lambda_0/5$, $\lambda_0/8$ et $\lambda_0/10$ et effectuer des essais de convergence avec λ_0 la longueur d'onde en espace libre.
- Les triangles diélectriques de la surface du fantôme peuvent être maillés en fractions de λ_0 , mais tout triangle diélectrique dans le fantôme doit être maillé aux fractions de la valeur appropriée de λ_r , qui représente la longueur d'onde dans le matériau du fantôme.
- Le tétraèdre des fantômes à utiliser dans des solutions hybrides FEM/MmM peut utiliser des dimensions de mailles plus grandes (jusqu'à $\lambda_r/4$). Effectuer des essais de convergence pour déterminer le maillage optimal.
- Afin de réduire les coûts de calcul, les fantômes utilisés dans des solutions hybrides FEM/MmM peuvent être contenus dans un caisson d'air et les mailles peuvent donc être plus grossières (une fraction de λ_0 au lieu de λ_r). De ce fait, le nombre d'éléments de surface sera moindre et par conséquent, les exigences en ressources de calcul seront moindres.

G.3.3 Différences finies dans le domaine temporel (FDTD)

Lorsque la méthode FDTD est utilisée à des fins d'évaluation du DAS, les éléments suivants doivent être pris en compte.

- Pour l'évaluation de la variable moyenne du DAS du corps entier, la dimension du côté local de la cellule de grille doit être inférieure ou égale à 1/10ème de la longueur d'onde dans le matériau du fantôme (λ_r).
- Lorsqu'il s'agit d'évaluer la valeur maximale de la moyenne spatiale (1 g ou 10 g) du DAS, il est recommandé que la dimension du côté local des cellules de la grille dans le volume d'intégration (donnant la valeur maximale du DAS) soit inférieure ou égale à 1/15ème de la longueur d'onde dans le matériau du fantôme (λ_r).
- La dimension du côté local des cellules de la grille dans le fantôme pourrait être plus petite dans des endroits ayant plus d'importance comme par exemple là où la géométrie

est complexe, ou encore là où les intensités de champ les plus élevées risquent d'avoir lieu; de la même manière, elle peut être plus grande dans des emplacements de moindre importance.

G.3.4 Méthode des éléments finis (FEM)

Pour les calculs du DAS utilisant la méthode FEM, on doit se conformer aux lignes directrices suivantes.

- La dimension de l'arête du tétraèdre utilisé pour modéliser le fantôme doit être suffisamment petite pour donner des résultats précis et suffisamment grande pour obtenir un temps d'exécution réaliste. Les maillages suggérés pour des conditions spécifiques différeront en fonction du progiciel de simulation. Des essais de convergence doivent être effectués avec le modèle fantôme pour confirmer l'obtention de résultats précis.
- Le maillage des fantômes doit être plus petit sur la face avant et aux endroits où la géométrie est complexe.

On doit se conformer aux principes suivants pour choisir la taille de maille du fantôme.

- Le tétraèdre des fantômes à utiliser dans des solutions FEM peut avoir des mailles de dimensions $\lambda_r/4$, $\lambda_r/5$ et $\lambda_r/8$, λ_r étant la longueur d'onde dans le matériau du fantôme. Effectuer des essais de convergence pour déterminer le maillage optimal.

Annexe H (normative)

Validation des méthodes de calcul

H.1 Validation des formules sphériques et cylindriques

H.1.1 Généralités

La densité de puissance des champs RF transmis par des antennes omnidirectionnelles et sectorielles de RBS peut être calculée au moyen des formules cylindriques et sphériques présentées en 6.3.2.1 et définies en F.2. Les paramètres d'entrée pour la validation sont énumérés dans le Tableau H.1. La mise en œuvre correcte des formules doit être vérifiée en s'assurant que les résultats produits par la mise en œuvre correspondent à 1 % près aux résultats de référence présentés dans les Figures H.1 et H.2.

Tableau H.1 – Paramètres d'entrée pour la validation des formules cylindriques et sphériques

Type d'antenne	Fréq.	Puissance RF	Longueur du réseau	HPBW verticale	HPBW horizontale	Inclinaison électrique vers le bas	Gain et directivité	Gain maximal du lobe latéral
Omni-directionnelle	925 MHz	80 W	2,158 m	8°	N/A	5°	11 dBi	-9 dBi
Sectorielle	925 MHz	80 W	2,158 m	8°	84°	5°	17 dBi	-3,6 dBi

H.1.2 Validation des formules cylindriques

Pour chacune des formules cylindriques mises en œuvre, déterminer $\bar{S}$ et S aux positions tous les 2 m entre $r_\gamma = 4$ m et $r_\gamma = 20$ m le long de la ligne de validation dans le faisceau principal vertical (voir Figure H.1) pour les antennes omnidirectionnelles et sectorielles décrites dans le Tableau H.1 et où $\phi = \pi/12$ radians.

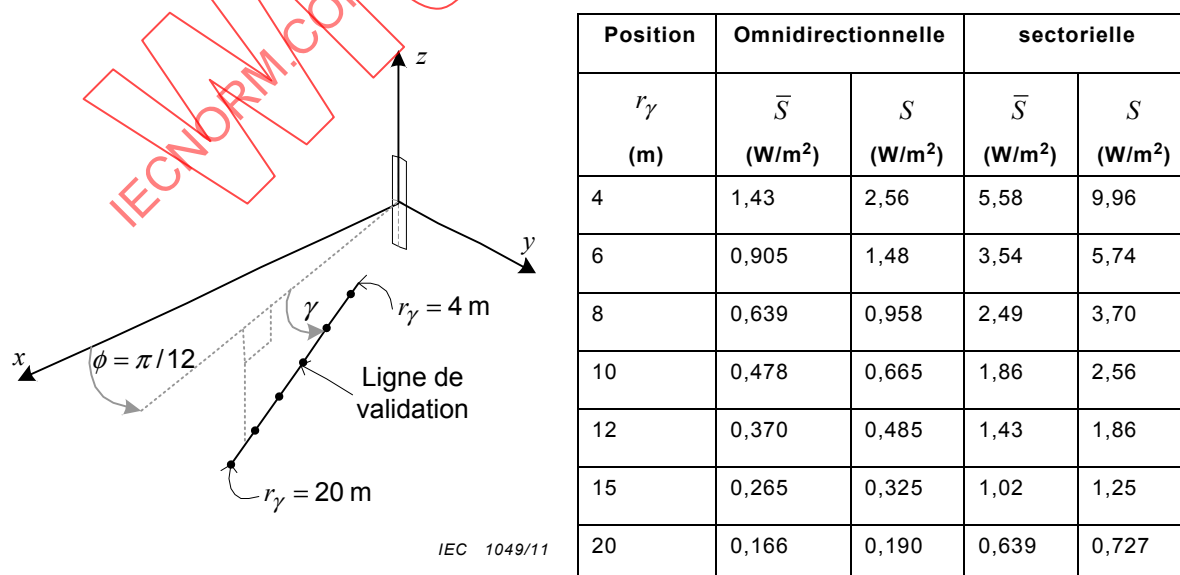
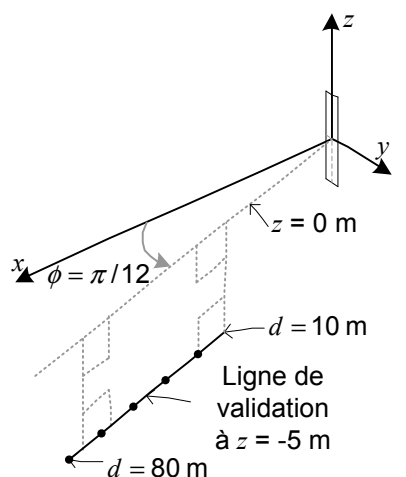


Figure H.1 – Résultats de référence pour des formules cylindriques

H.1.3 Validation des formules sphériques

Au moyen de chacune des formules sphériques mises en oeuvre (voir F.2), aux positions décrites dans la Figure H.2, déterminer S pour les antennes omnidirectionnelles et sectorielles décrites dans le Tableau H.1 aux positions tous les 10 m de $d = 10$ m à $d = 80$ m le long de la ligne de validation (Figure H.2), 5 m sous le centre de l'antenne et où $\phi = \pi/12$ radians.



IEC 1050/11

Zone	Position	Sphérique ajustée		Sphérique simple	
		Omnidirectionnelle	Sectorielle	Omnidirectionnelle	Sectorielle
	d (m)	S (mW/m ²)	S (mW/m ²)	S (mW/m ²)	S (mW/m ²)
Ba	10	14,7	52,0	6,41	22,2
	20	96,3	353	7,37	26,5
Ca	30	85,1	313	37,4	136
	40	57,1	210	41,1	150
	50	38,4	141	31,4	114
	60	26,8	98,6	22,3	81,1
	70	19,6	72,0	15,9	57,8
	80	14,8	54,5	11,6	42,1

^a Les valeurs de S sont données pour référence indépendamment de l'applicabilité des formules en tenant compte des critères du Tableau F.1.

Figure H.2 – Résultats de référence pour des équations sphériques

H.2 Validation des formules d'estimation du DAS

Le DAS résultant des champs RF transmis par les antennes de RBS peut être estimé au moyen des formules présentées en 6.3.2.2 et définies en F.3. La mise en œuvre correcte de ces formules doit être vérifiée pour les directions avant, arrière et axiale, comme défini dans la Figure 7 au moyen des paramètres d'entrée du Tableau H.2. Si les résultats obtenus correspondent à 1 % près aux résultats de référence du Tableau H.3, la mise en œuvre de la formule ainsi que le vérificateur ont réussi la validation.

Tableau H.2 – Paramètres d'entrée pour la validation des formules d'estimation du DAS

Paramètres transmis		Paramètres d'antenne				
Fréquence	Puissance RF	Longueur du réseau	Gain	HPBW horizontale	HPBW verticale	Nombre d'éléments
2 140 MHz	1 W	1,3 m	18 dBi	65°	6,5°	10

Tableau H.3 – Résultats de référence des formules d'estimation du DAS_{10g} et du DAS_{wb} des paramètres du Tableau H.2

Direction (Figure 7)	W/kg/W à la distance de séparation fantôme - antenne (m)								
	0,001 m	0,01 m	0,1 m	0,2 m	1 m	5 m	10 m	15 m	20 m
DAS_{10g} Avant	N/A	N/A	N/A	0,51	0,10	0,017	0,006 1	0,003	0,001 8
DAS_{10g} Axial	0,5	0,5	0,05	0,025	0,005	0,001	N/A	N/A	N/A
DAS_{10g} Arrière	0,05	0,05	0,005	0,002 5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
DAS_{wb} Avant	N/A	N/A	N/A	0,026	0,005 2	0,000 86	0,000 31	0,000 18	0,000 11

H.3 Validation d'algorithmes de lancer de rayons (modèle synthétique)

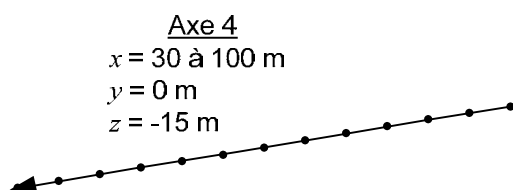
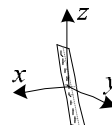
Le présent paragraphe fournit un exemple de validation de la mise en œuvre correcte de l'algorithme de lancer de rayons utilisant l'antenne à panneaux de RBS générique (voir H.4.2). Cette antenne a neuf radiateurs dipôles et des fréquences de fonctionnement de 900 MHz. Il est fortement recommandé de vérifier plusieurs exemples afin de s'assurer que l'erreur de densité de puissance en champ proche ne dépasse pas ± 3 dB.

- Les paramètres de l'antenne, utilisés pour la validation de l'algorithme de lancer de rayons, sont donnés dans la Figure H.4 (à partir de l'antenne générique de la Figure H.5). Un modèle de réseau de source ponctuelle ou de représentation des champs dans l'ouverture doit être extrait en utilisant ces diagrammes.
- Les valeurs de densité de puissance doivent être déterminées pour une fréquence de 900 MHz et $\bar{P}_{avg}$ de 80 W sur les axes 1, 2 et 3 (voir Figure H.6) dans le champ proche de l'antenne, et sur l'axe 4 (voir Figure H.3) dans le champ lointain.
- Les valeurs de densité de puissance déterminées doivent être comparées aux valeurs de densité de puissance de référence du Tableau H.4.

NOTE 1 Les résultats obtenus avec l'algorithme de lancer de rayons sont comparés aux résultats obtenus à partir d'une simulation par onde complète de H.4.2. Les résultats sont parfaitement comparables sur les axes 1, 2 et 4. L'algorithme de lancer de rayons ignore la polarisation des champs E et pour cette raison, les résultats obtenus très près de l'antenne, sur l'axe 3, sont légèrement plus divergents si on les compare à la solution par onde complète. Ceci est cependant prévisible et s'inscrit dans la plage d'incertitude d'un algorithme type de lancer de rayons.

Si l'écart maximal par rapport aux résultats de référence s'inscrit à ± 3 dB, le progiciel de simulation et le vérificateur ont réussi la validation.

Inclinaison mécanique vers le bas
de l'antenne de 15° autour de l'axe y
vers l'axe x^a (faisceau principal)



NOTE 2 L'axe 4 représente une configuration d'antenne montée sur mât, dans laquelle la densité de puissance est calculée 15 m sous l'antenne qui est inclinée de 15° vers le bas.

^a L'origine du système de coordonnées ($x = 0$, $y = 0$, $z = 0$) est au centre du segment d'alimentation du milieu.

Figure H.3 – Positions de l'axe 4 en champ lointain pour l'exemple de validation du lancer de rayons

Diagramme de rayonnement horizontal normalisé (dB) pour θ égal à 90°

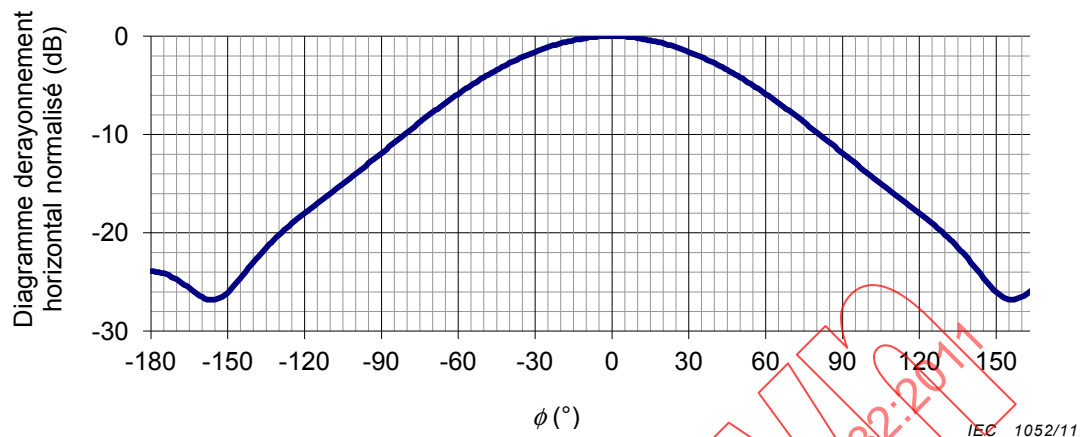
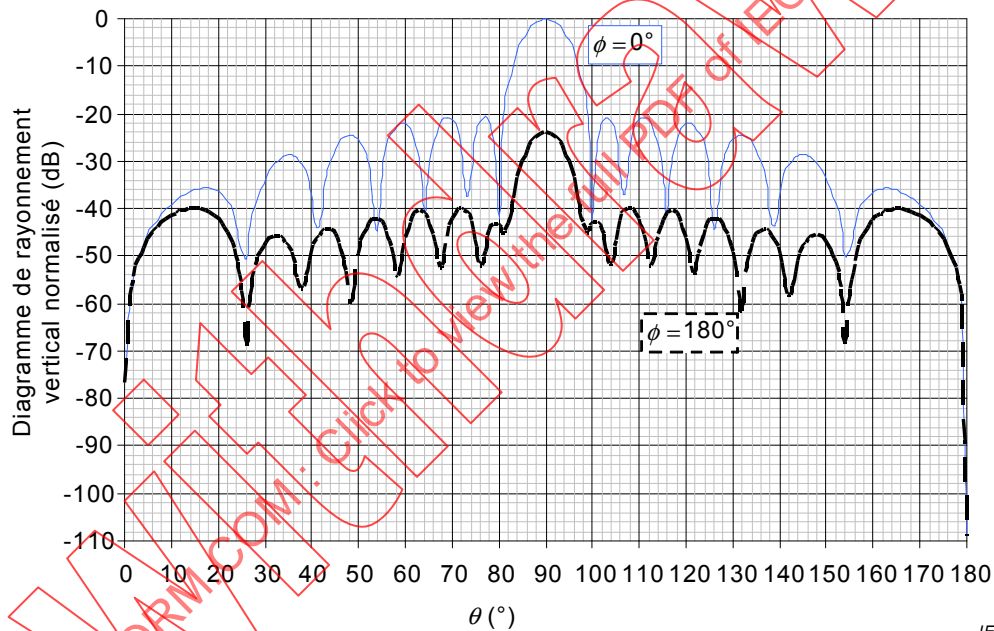


Diagramme de rayonnement vertical normalisé (dB) pour ϕ égal à 0° et ϕ égal à 180°



NOTE Pour le fichier intégré, Figure H.4.xls, comprend le diagramme de rayonnement horizontal normalisé (dB) en incréments de 1° pour $\phi = -180^\circ$ à 179° où $\theta = 90^\circ$ et le diagramme de rayonnement vertical normalisé (dB) en incréments de 1° pour $\theta = 0^\circ$ à 180° où $\phi = 0^\circ$ et $\phi = 180^\circ$.



Figure H.4 .xls

^a Gain = 17,0 dBi et Longueur du radôme = 2,25 m

^b Les coordonnées sphériques θ et ϕ sont définies par la Figure D.1

Figure H.4 – Paramètres d'antenne pour l'exemple de validation de l'algorithme de lancer de rayons

Tableau H.4 – Résultats de référence de la densité de puissance du lancer de rayons

Densité de puissance sur l'axe 1 de la Figure H.6		Densité de puissance sur l'axe 2 de la Figure H.6		Densité de puissance sur l'axe 3 de la Figure H.6		Densité de puissance sur l'axe 4 de la Figure H.3	
Position x (m)	S (W/m ²)	Position y (m)	S (W/m ²)	Position z (m)	S (W/m ²)	Position x (m)	S (mW/m ²)
0,5	72,8	0	41,7	0	385	30	2,33
1	41,7	0,2	39,6	0,2	261	40	48,5
1,5	25,5	0,4	34,2	0,4	205	50	105
2	13,1	0,6	27,1	0,6	152	60	80,7
2,5	11,1	0,8	19,8	0,8	80,1	70	45,2
3	11	1	13,3	1	179	80	22,6
3,5	10,7	1,2	8,75	1,2	7,32	90	10,7
4	9,92	1,4	5,76	1,4	1,12	100	4,99

H.4 Validation des analyses par onde complète des champs

H.4.1 Généralités

Ce paragraphe décrit la manière de valider la mise en œuvre correcte des analyses de champs par onde complète. Avant qu'un code nouvellement développé ou disponible dans le commerce n'ait pu être utilisé pour des calculs d'intensité de champs d'antennes de RBS, on doit effectuer les validations correspondant à la structures d'antenne à analyser.

- Si les éléments de l'antenne comprennent des dipôles, on doit effectuer la validation 1 (voir H.4.2).
- Si les éléments de l'antenne comprennent une structure d'alimentation à fente, on doit effectuer la validation 2 (voir H.4.3).

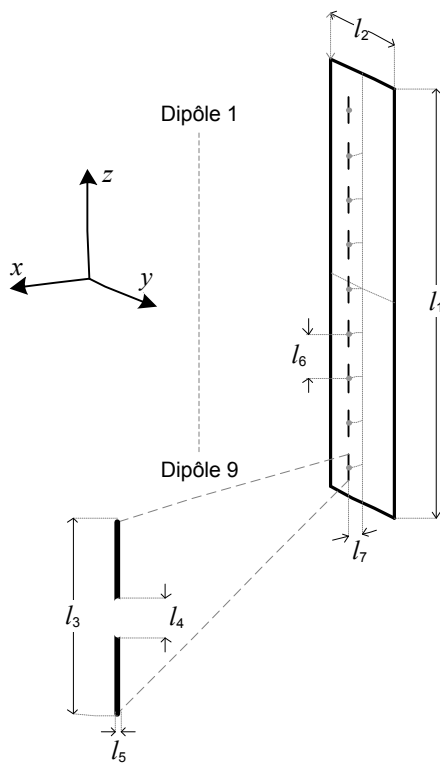
En outre, si le code doit également être utilisé pour des évaluations par onde complète du DAS, la validation H.5 doit être effectuée.

NOTE Les dimensions du maillage ne sont pas explicitement fournies pour les exemples de validation de la présente annexe car le maillage optimal sera différent en fonction des divers progiciels de simulation. Il incombe à l'utilisateur de vérifier la dimension de maille choisie en effectuant des essais de convergence.

H.4.2 Validation 1: Antenne à radiateurs dipôles

La validation 1 doit appliquer la procédure suivante:

- Appliquer une simple antenne de RBS à panneaux, représentative d'une antenne de RBS réelle, avec des radiateurs dipôles et des paramètres d'excitation tels que représentés dans la Figure H.5.
- Les valeurs d'intensité de champ électrique doivent être déterminées sur les axes 1, 2 et 3 (voir Figure H.6) dans le champ proche de l'antenne pour une fréquence de 900 MHz et $\bar{P}_{avg}$ de 80 W.
- Les valeurs déterminées de la densité de puissance doivent être comparées aux valeurs de densité de puissance de référence du Tableau H.5. Si l'écart maximal par rapport aux résultats de référence est inférieur à 10 %, le progiciel de simulation et le vérificateur ont réussi la validation.



IEC 1054/11

Dimensions

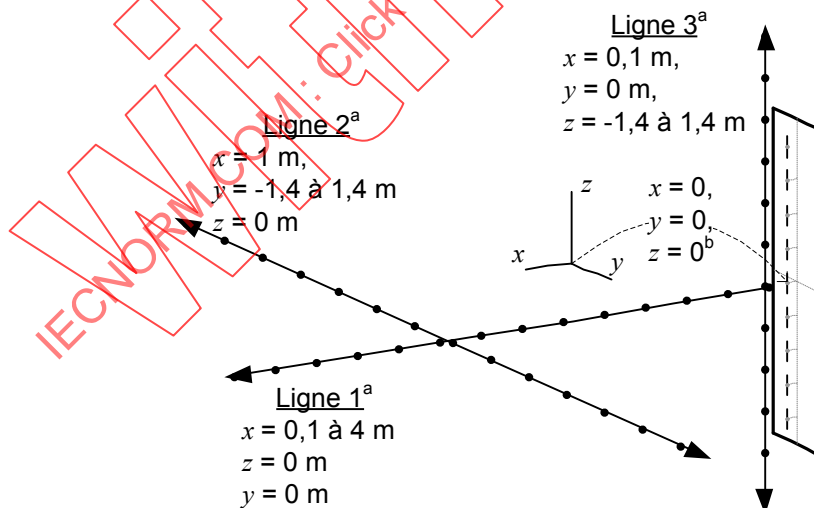
- l_1 Longueur du réflecteur = 2,25 m
- l_2 Largeur du réflecteur = 0,3 m
- l_3 Longueur d'un dipôle = 0,158 m
- l_4 Séparation des segments d'alimentation = 0,02 m
- l_5 Épaisseur de dipôle = 0,001 m
- l_6 Espacement entre les centres de dipôle = 0,25 m
- l_7 Espacement entre les dipôles et le réflecteur = 0,04 m

Paramètres d'excitation

Segment d'alimentation	Amplitude (par rapport au maximum)	Phase (°)
1 et 9	0,582 8	0
2 et 8	0,609 7	0
3 et 7	0,809 0	0
4 et 6	0,949 4	0
5	1,000 0	0

- a L'origine du système de coordonnées ($x = 0, y = 0, z = 0$) est au centre du segment d'alimentation du milieu
- b Le réseau de dipôles est situé au centre de la plaque du réflecteur lorsqu'il est directement visualisé à partir de l'avant

Figure H.5 – Antenne 900 MHz de RBS générique à neuf radiateurs dipôles



IEC 1055/11

- a L'axe 1 est sur l'axe x dans la direction du faisceau principal; L'axe 2 est parallèle à l'axe y ; L'axe 3 est parallèle à l'axe z (c'est-à-dire parallèle à l'antenne)
- b L'origine du système de coordonnées ($x = 0, y = 0, z = 0$) est au centre du segment d'alimentation du milieu

Figure H.6 – Positions des axes 1, 2 et 3 en champ proche pour la validation de l'onde complète et du lancer de rayons

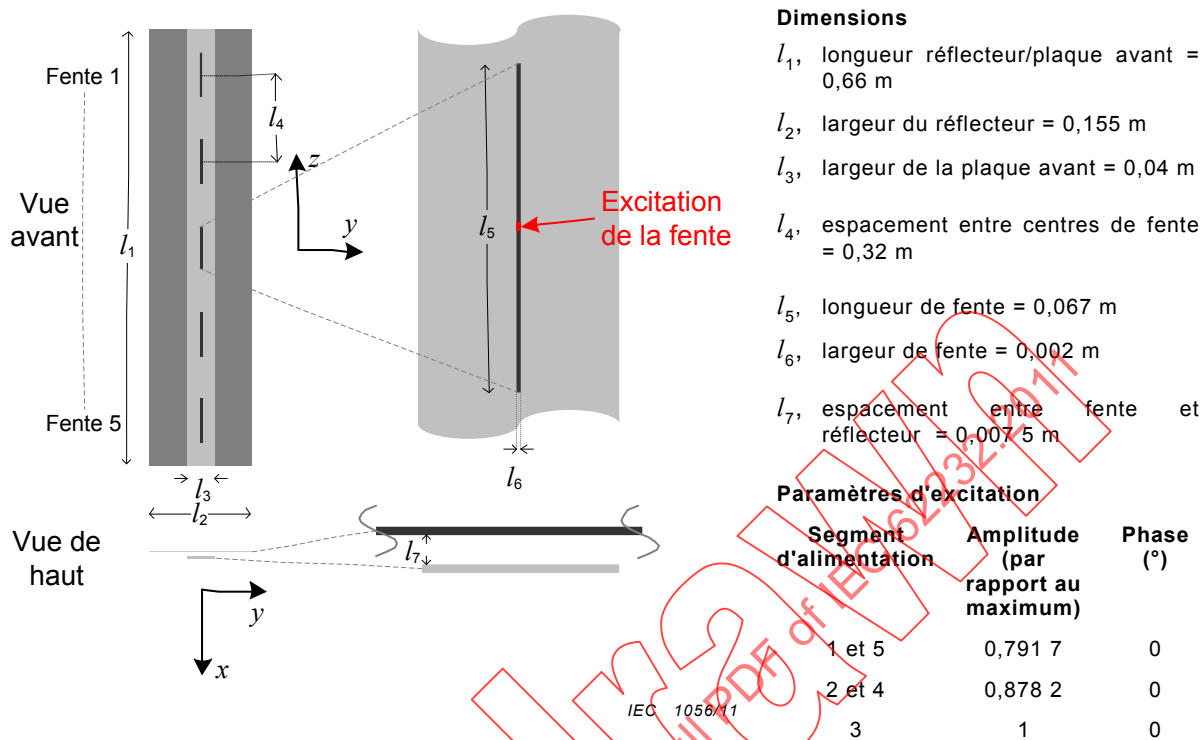
Tableau H.5 – Validation 1 – Résultats de référence de l'évaluation de champ par onde complète

Densité de puissance sur l'axe 1 de la Figure H.6		Densité de puissance sur l'axe 2 de la Figure H.6		Densité de puissance sur l'axe 3 de la Figure H.6	
Position x (m)	S (W/m ²)	Position y (m)	S (W/m ²)	Position z (m)	S (W/m ²)
0,5	65,8	0	39,4	0	338
1	39,4	$\pm 0,2$	37,6	$\pm 0,2$	272
1,5	25	$\pm 0,4$	32,8	$\pm 0,4$	163
2	13,4	$\pm 0,6$	26,3	$\pm 0,6$	111
2,5	10,7	$\pm 0,8$	19,6	$\pm 0,8$	105
3	10,4	± 1	13,6	± 1	129
3,5	10,1	$\pm 1,2$	9,16	$\pm 1,2$	3,77
4	9,44	$\pm 1,4$	6,22	$\pm 1,4$	0,173

H.4.3 Validation 2: Antenne avec éléments à fentes

La validation 2 doit appliquer la procédure suivante:

- Mettre en œuvre le réseau d'antenne constitué de cinq radiateurs à fentes comme illustré à la Figure H.7. L'antenne est excitée par des sources de tension insérées aux centres des fentes selon les paramètres d'excitation spécifiés dans la Figure H.7, à une fréquence de 1800 MHz et avec $\bar{P}_{avg}$ égal à 40 W.
- Les valeurs d'intensité de champ électrique doivent être déterminées sur les axes 1, 2 et 3 (voir Figure H.6) dans le champ proche de l'antenne.
- Les valeurs déterminées de la densité de puissance doivent être comparées aux valeurs de densité de puissance de référence du Tableau H.6. Si l'écart maximal par rapport aux résultats de référence est inférieur à 10 %, le progiciel de simulation et le vérificateur ont réussi la validation.



^a Les fentes sont situées au centre de la plaque avant

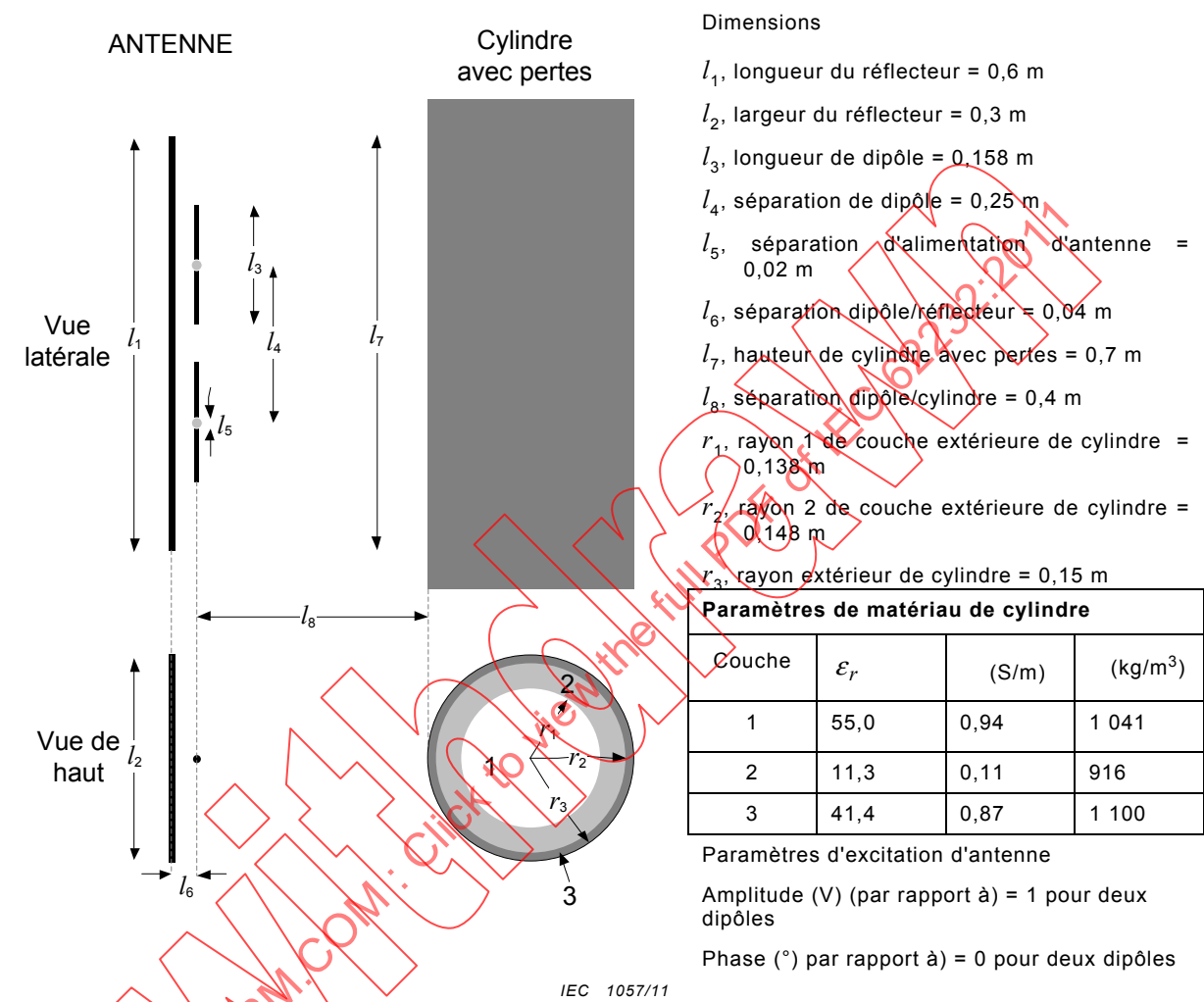
Figure H.7 – Antenne 1 800 MHz de RBS générique à cinq radiateurs à fentes

Tableau H.6 – Validation 2 – résultats de référence de l'évaluation de champs par onde complète

Densité de puissance sur l'axe 1 de la Figure H.6		Densité de puissance sur l'axe 2 de la Figure H.6		Densité de puissance sur l'axe 3 de la Figure H.6	
Position x (m)	S (W/m ²)	Position y (m)	S (W/m ²)	Position z (m)	S (W/m ²)
0,5	146	0	90	± 0	688
1	90	$\pm 0,2$	79,7	$\pm 0,2$	477
1,5	50,6	$\pm 0,4$	57,1	$\pm 0,4$	20
2	31,1	$\pm 0,6$	35,5	$\pm 0,6$	1,31
2,5	20,8	$\pm 0,8$	20,6	$\pm 0,8$	0,406
3	14,8	± 1	11,8	± 1	0,193
3,5	11	$\pm 1,2$	6,86	$\pm 1,2$	0,113
4	8,54	$\pm 1,4$	4,1	$\pm 1,4$	0,073 9

H.5 Validation de l'analyse du DAS

L'exemple de validation est constitué d'une antenne de RBS simplifiée placée en face d'un cylindre circulaire avec pertes constitué de trois couches matérielles comme illustré à la Figure H.8.



a Le réseau de dipôles est situé au centre de la plaque du réflecteur lorsqu'il est directement visualisé à partir de l'avant.

Figure H.8 – Antenne de RBS placée en face d'un cylindre multicouches avec pertes

Les éléments d'antenne sont excités par un espace de tension (champ E) sur chaque segment d'alimentation. Les paramètres d'excitation du réseau de dipôles sont spécifiés dans la Figure H.8. Le DAS doit être évalué pour un $\bar{P}_{avg}$ de 20 W à une fréquence de 900 MHz.

Le Tableau H.7 présente les résultats de référence de la validation pour le DAS du corps entier et le DAS local (moyenné sur 10 g de tissu de forme cubique) comme obtenu par la méthode FDTD, comme obtenu par un résolveur FEM/MdM et comme obtenu avec un résolveur MdM.

Tableau H.7 – Résultats du DAS de référence pour la validation de la méthode de calcul

	Résultats du DAS de référence pour la validation de la méthode de calcul		
	FDTD	FEM/MdM	MdM
DAS du corps entier	0,092 W/kg	0,092 W/kg	0,092 W/kg
DAS local	1,7 W/kg	1,628 W/kg	1,573 W/kg

Si les résultats du DAS du corps entier correspondent à 3 % près aux résultats de référence de la validation et si les résultats du DAS local correspondent à 15 % près aux résultats de référence de validation, le progiciel de simulation et le vérificateur ont réussi la validation.

Annexe I (informative)

Lignes directrices relatives aux procédures de moyennage spatial

I.1 Présentation générale

La limite d'exposition applicable peut être la valeur moyennée dans l'espace de l'intensité de champs de radiofréquences sur le corps entier de l'individu exposé, mais à la condition expresse que la valeur maximale spatiale du DAS ne soit pas dépassée (par exemple [30] et [31]). Alors que le quotient d'exposition pour la moyenne spatiale d'intensité de champ correspondra plus précisément à la valeur moyenne du quotient d'exposition du DAS du corps entier, il est possible que cela ne garantisse pas la conformité aux limites spatiales maximales du DAS. Il est possible, en évaluant l'intensité maximale d'un champ de radiofréquences en un point donné, d'assurer la conformité à la fois aux limites du DAS moyen et du DAS maximal spatial du corps entier.

NOTE Dans IEEE [31] et ARPANSA [32], des limites supplémentaires applicables à la valeur maximale spatiale d'intensité de champ ou à la densité de puissance sont fournies afin de réduire le risque d'exposition au-dessus des limites de la valeur maximale spatiale du DAS.

Lors de la préparation d'un plan d'évaluation (voir l'Article 5), on doit tenir compte des spécificités des exigences de conformité nationales (par exemple réglementaires et législatives).

I.2 Moyennage spatial

Le moyennage spatial signifie le calcul de la moyenne quadratique de l'intensité du champ sur un axe vertical ou une aire de la section représentative du volume occupé par un corps. La distribution spatiale de l'intensité du champ à la position d'un corps dépendra des conditions de propagation, y compris les réflexions provenant d'objets dans l'environnement ([34], [66]).

Dans certains cas, la distribution spatiale sera dominée par le champ direct de l'antenne (par exemple la région $\ast-0$ du plan source-environnement) ou, en combinaison avec une onde réfléchiée par le sol (par exemple dans des espaces ouverts). Idéalement, il convient de déterminer la valeur d'intensité d'un champ calculée par moyennage spatial à partir de nombreux points d'évaluation pour obtenir des informations sur la variation de cette intensité.

Dans un environnement encombré, la répartition est influencée par de nombreuses réflexions et diffractions, ce qui peut générer une répartition du champ hautement hétérogène. Une analyse théorique en [34], fondée sur des statistiques d'évanouissements à petite échelle (variations aléatoires du champ autour d'une moyenne locale), fournit un certain nombre de lignes directrices permettant de déterminer l'incertitude d'estimation de l'intensité de champ moyenne à partir d'un ensemble limité de mesures spatiales.

La Figure I.1 présente des exemples de procédures de moyennage spatial obtenues au-dessus d'une voie de circulation ou autre support des pieds; la Figure I.2 donne un moyennage autour d'un point de valeur maximale spatiale d'intensité de champ. L'intensité de champs de radiofréquences est évaluée (voir l'Article 6) pour chaque point de mesure/calcul et la moyenne spatiale de l'intensité de champ est calculée en utilisant l'équation (2) présentée en 6.2.2.5.4.2, avec une pondération égale pour tous les points de mesure/calcul.

Les procédures illustrées en Figure I.1 sont utiles pour l'évaluation de l'intensité de champs de radiofréquences permettant de déterminer l'exposition humaine dans des positions types du corps (par exemple en position debout). Dans certaines circonstances, lorsque par exemple des expositions ont lieu à des hauteurs élevées (par exemple sur une échelle ou autre structure de support), il convient d'effectuer des mesures supplémentaires et de calculer la moyenne spatiale correspondant à ces positions.

Des informations concernant la ou les procédures de moyennage spatial utilisées doivent être fournies dans le rapport d'évaluation (voir l'Article 8).

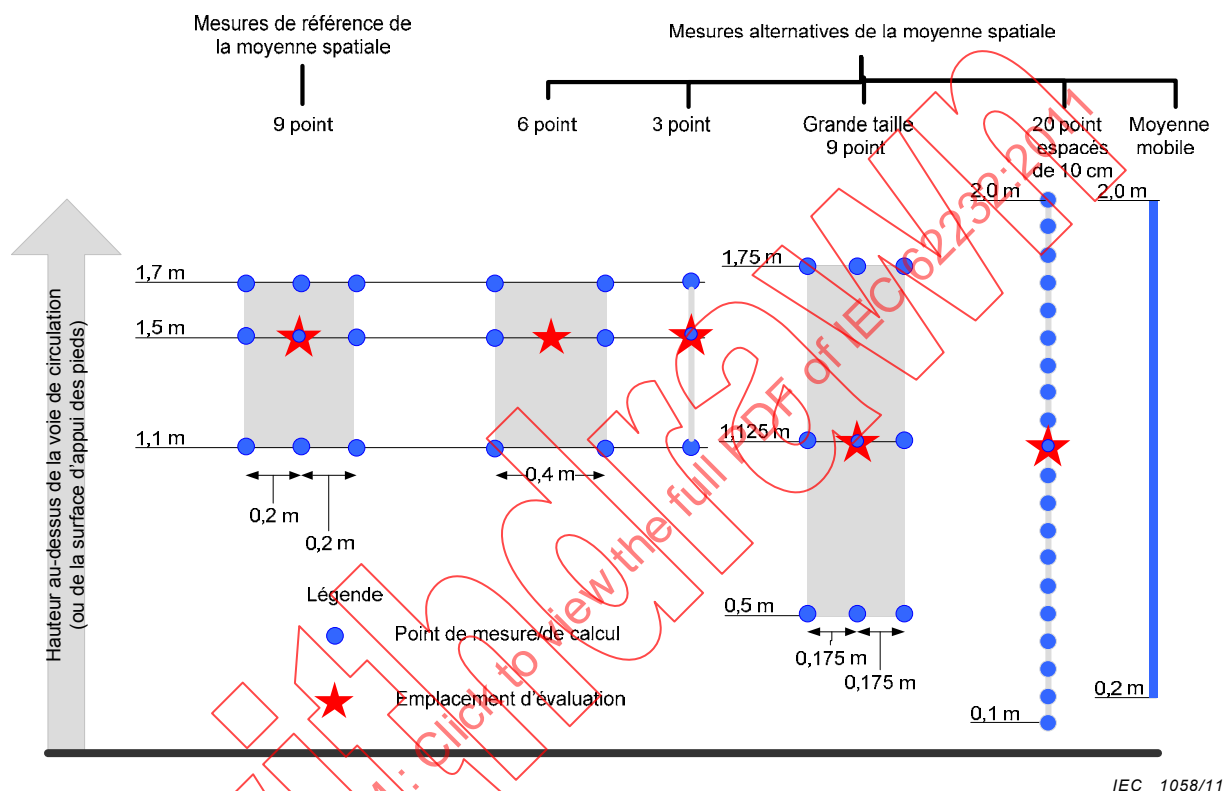


Figure I.1 – Procédures de moyennage spatial au niveau d'appui pour les pieds

I.3 Moyennage autour du point d'intensité maximale spatiale du champ

La méthode est présentée en Figure I.2. L'intensité de champ calculée par moyennage spatial est déterminée tout d'abord par un balayage entre 0,5 m à 1,75 m au-dessus du sol pour obtenir la valeur maximale spatiale de l'intensité du champ dans la région. La valeur maximale ainsi que deux mesures supplémentaires en des points verticaux à une distance d'une longueur d'onde au-dessus et en dessous, sont combinées pour déterminer la valeur calculée par moyennage spatial de l'intensité du champ. Cette méthode n'est pas spécifique à un adulte type ou de hauteur "standard" et elle pondère le résultat vers la valeur maximale spatiale d'intensité du champ.

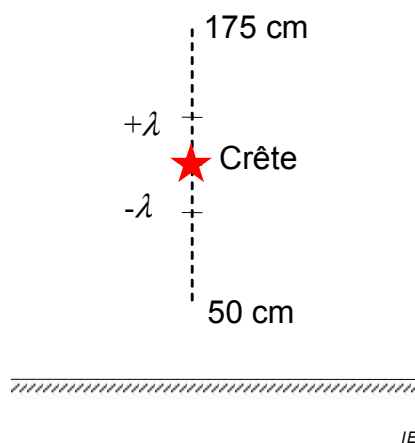


Figure I.2 – Moyennage spatial relatif à une hauteur de champ d'intensité maximale

Annexe J (informative)

Recommandations pour la prise en compte des variations temporelles des signaux dans les mesures

J.1 Variations temporelles

Les considérations suivantes doivent être prises en compte pour l'interprétation des données de mesure ou la définition du moment où la mesure est effectuée.

- En fonctionnement et selon la technologie utilisée, la puissance de sortie d'une RBS va probablement varier dans le temps. En général, la puissance rayonnée varie en fonction du trafic global pris en charge - qui dépend souvent du moment de la journée, selon qu'il s'agit d'une journée de travail, d'une période de congé, etc. Il peut y avoir des variations à court terme de la puissance de sortie au fur et à mesure que le trafic change, minute par minute et le contrôle de puissance agit sur des échelles de temps plus courtes. Ces variations peuvent introduire de l'incertitude dans des mesures séquentielles effectuées en différents emplacements. Les variations à long terme de l'intensité de champs de radiofréquences dépendent du trafic et ne sont pas déterminées lors d'activités de mesure à court terme.
- Si l'objectif de l'évaluation est de mesurer l'intensité de champ la plus élevée, il est recommandé d'effectuer des mesures à court terme à des moments où le trafic de communication est le plus lourd, par exemple une heure de pointe ou l'après-midi d'un jour de semaine, lorsqu'il y a une activité humaine maximale dans la zone autour de la RBS. Cependant, il est possible d'effectuer à tout moment des mesures d'un signal de référence stable. Il convient de régler l'analyseur de spectre pour qu'il capture le signal maximal (c'est-à-dire en mode de "maintien du maximum") pour le comparer à une valeur instantanée.
- Dans des emplacements d'évaluation éloignés de la source RF, les modifications de trajet de propagation peuvent induire un certain évanouissement.

Etant donné que les mesures sont en général réalisées en différents emplacements, séquentiellement dans le temps, les variations spatio-temporelles des champs tendent à se confondre dans le résultat de mesure. Ce mélange est en général acceptable pour des mesures de moyennes spatio-temporelles. Cependant, l'une des approches suivantes peut être utilisée pour séparer les variations spatiales et temporelles:

- Recommencer les mesures en des emplacements d'évaluation et examiner la différence entre résultats des répétitions en fonction du temps.
- Fixer une antenne de mesure/sonde isotrope en un emplacement donné et observer la manière dont les lectures sont modifiées dans le temps afin d'isoler la variation temporelle et la considérer comme un facteur d'influence (variations temporelles combinées de la puissance de sortie et du trajet de propagation de la RBS) dans l'analyse de l'incertitude.
- Utiliser une antenne de mesure/sonde isotrope fixe comme référence pour corriger les résultats d'une seconde antenne de mesure/sonde isotrope aux points d'évaluation.
- Mesurer un signal de référence stable de l'EUT (voir l'Annexe N) et utiliser les données du trafic de communication afin de déterminer l'intensité combinée des champs de radiofréquences pour tous les signaux en fonction du temps. Des mesures de signaux de référence stables peuvent être effectuées à tout moment. Cependant, même le signal de référence peut subir des fluctuations dues à des modifications dans le trajet de propagation.
- Mesurer un signal de référence stable de l'EUT (voir l'Annexe N) dans le temps pour isoler le facteur d'influence de l'incertitude des modifications du trajet de propagation dans le temps par rapport aux modifications de la puissance de sortie de la RBS.

Annexe K (informative)

Lignes directrices pour la détermination des niveaux de champs ambiants

K.1 Présentation générale

La présente annexe fournit des recommandations quant à la manière d'évaluer le niveau de champs de radiofréquences ambiants en des emplacements où les personnes peuvent également être exposées aux champs de radiofréquences provenant de la ou des RBS objet de l'évaluation. Les champs ambiants provenant de sources individuelles ou dus à des gammes de fréquences particulières peuvent être exprimés en quotient d'exposition ou en intensité de champs de radiofréquences en fonction de l'objectif spécifique de l'évaluation.

Le champ ambiant constitue la sommation appropriée (voir 6.5) de tous les champs de radiofréquences ambiants provenant de sources autres que la ou les RBS objet de l'évaluation.

K.2 Identification des sources radioélectriques ambiantes

On doit s'efforcer raisonnablement d'identifier toutes les émissions RF entre 100 kHz et 300 GHz. On doit tenir compte des champs ambiants pour identifier des sources fixes et permanentes.

- Ces sources peuvent être identifiées par examen visuel, par consultation de la base de données utilisateur (publique/ propriétaire du site) ainsi que par des mesures sélectives en bande large ou en fréquence.
- Si l'emplacement à évaluer n'est pas le faisceau principal d'antenne fonctionnant à des fréquences supérieures à 6 GHz, les champs générés par ces sources peuvent être en général ignorés car dans de nombreux cas, elles n'ont pas d'impact significatif pour l'évaluation de l'exposition humaine aux champs de radiofréquences. Il n'est cependant pas nécessaire de tenir compte de sources de puissance très élevées (par exemple RADAR, communications transhorizontales).

Classer les sources de radiofréquences comme étant "colocalisées" ou "distantes" par rapport à la RBS. Les sources de radiofréquences colocalisées sont celles qui sont situées sur le même support d'antenne, par exemple un mât, une toiture ou dans le même complexe d'émission ou la même salle que la RBS. Toutes les autres sources sont "distantes".

Dans les gammes de fréquences autres que la gamme de fonctionnement de la RBS, le champ de radiofréquences combinées doit être évalué.

NOTE Lorsqu'on évalue le quotient d'exposition de l'EUT combiné aux champs ambiants, il est acceptable de réduire le nombre de signaux nécessitant une évaluation précise, en spécifiant des critères de signification appropriés. Par exemple, si la contribution des champs de radiofréquences d'une RF adjacente ou de tous les signaux dans la bande de diffusion à modulation de fréquence est inférieure à 5 % du quotient d'exposition combiné, l'amélioration de la précision de l'évaluation de l'intensité des champs de radiofréquences ambiants, ne réduira pas de manière significative l'incertitude de l'évaluation du quotient d'exposition combiné.

K.3 Choix des emplacements d'évaluation du champ ambiant

K.3.1 Sources colocalisées

Il est probable que le niveau de champ ambiant de ces sources varie considérablement sur la zone d'évaluation à proximité de la RBS. Le champ ambiant doit être évalué en tout emplacement où les champs de la RBS sont évalués.

NOTE Il peut être nécessaire de tenir compte de contributions majeures spécifiques aux intensités de champs de radiofréquences ambiants dans le cas de secteurs professionnels spécifiques (par exemple soudage à l'arc) et dans des cas d'évaluations résidentielles comme par exemple des appareils tels que les fours à micro-ondes.

K.3.2 Sources distantes

Pour ce qui concerne les champs de radiofréquences de sources placées à une certaine distance de la RBS, il y aura peu de variations de l'intensité du champ de radiofréquences sur la zone d'évaluation du fait de la directivité des antennes sources ou du fait qu'entre l'emplacement d'évaluation le plus proche et l'emplacement d'évaluation le plus éloigné, la distance par rapport à la source est peu modifiée. Il est cependant probable qu'il y ait des variations significatives de l'intensité de champs de radiofréquences dues aux effets de la propagation, comme par exemple la diffusion et l'évanouissement.

Pour l'ensemble de sources radioélectriques à prendre en compte, choisir un point dans la zone dégagée, au-dessus du fouillis, aussi près que possible de la zone d'évaluation (par exemple sur une toiture et/ou dans une zone d'évaluation exempte d'encombrement local) ou à des fins de calcul, en un point au-dessus de la zone d'évaluation où l'on peut supposer avoir une propagation en espace libre.

Cet emplacement peut être utilisé pour l'évaluation du champ ambiant s'il est représentatif de toutes les sources radioélectriques fondées sur (voir K.4)

- la distance entre l'emplacement d'évaluation du champ ambiant et tout emplacement d'évaluation de la RBS est inférieure à 40 fois la distance jusqu'à la source ambiante;
- la source ambiante n'est pas fortement directionnelle.

Pour toute source radioélectrique qui n'est pas entièrement couverte par cet emplacement d'évaluation "maître", choisir des emplacements d'évaluation supplémentaires de manière à satisfaire aux critères de la présente annexe, par exemple:

- entre la source et la zone d'évaluation, ou
- des emplacements d'évaluation supplémentaires en zone dégagée, y compris le point le plus proche de la zone d'évaluation à la source.

K.3.3 Description

Evaluer l'intensité de champs de radiofréquences (ou le DAS) pour chaque source RBS ambiante conformément au protocole d'évaluation établi dans l'Article 6.

Pour les autres sources de radiofréquences, évaluer l'intensité de champs de radiofréquences (ou le DAS) conformément aux normes internationales applicables, par exemple CEI 62311 [22].

K.4 Démonstration des critères de sélection d'emplacements d'évaluation de sources non colocalisées

K.4.1 Principes

Le présent paragraphe définit une base de sélection d'un nombre minimal d'emplacements d'évaluation pour établir les quotients d'exposition les plus défavorables des sources radioélectriques ambiantes généralement bien distantes de l'emplacement d'évaluation.

Le champ qui est déterminé en un emplacement d'évaluation donné est censé représenter de manière conservatrice le quotient d'exposition maximal pour une source radioélectrique donnée sur une zone définie par un cercle de rayon δr à condition que

- l'emplacement d'évaluation choisi soit essentiellement situé dans une zone exempte de fouillis local;
- la variation du quotient d'exposition due à la différence de trajets, soit inférieure à 5 %;
- le changement de directivité de l'antenne de la source radioélectrique fondée sur une propagation d'espace libre peut être ignoré dans la zone qui contient les points d'évaluation.

K.4.2 Etablir des critères de séparation des emplacements d'évaluation de la source compte tenu de la distance à la source radioélectrique

K.4.2.1 Tenir compte de la modification d'intensité du champ de radiofréquences en fonction de la distance

Etant donné la propagation en espace libre, quel est le rapport de distance minimal entre deux emplacements d'évaluation et une source radioélectrique qui peut donner lieu à une modification de 5 % du quotient d'exposition ?

Compte tenu de l'Equation (7), la densité de puissance, S , à partir de la source distante, est définie par:

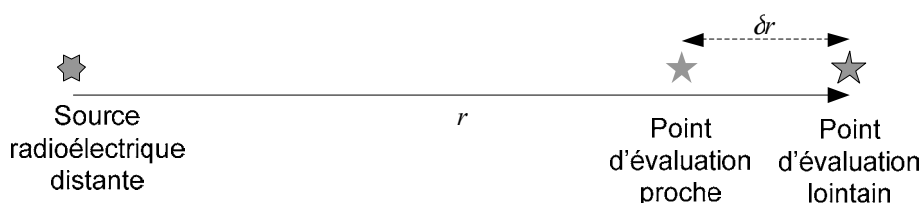
$$S = \frac{A}{r^2} \quad (\text{K.1})$$

où

r est la distance à la source distante;

A est une constante (soumise à un changement de directivité non significatif, voir K.4.2.2).

NOTE La valeur de A dépend de l'unité pour r par exemple m ou km.



IEC 1060/11

Figure K.1 – Emplacements d'évaluation

Si l'on considère la Figure K.1, le fait de se déplacer d'une courte distance δr vers la source (condition la plus critique) augmentera la densité de puissance S de δS , de sorte que:

$$S + \delta S = \frac{A}{(r - \delta r)^2} \quad (\text{K.2})$$

Pour une augmentation de 5 % de S sur la distance δr :

$$\frac{S + \delta S}{S} = 1,05 \quad (\text{K.3})$$

En utilisant les équations (K.1) et (K.2) dans l'équation (K.3):

$$\frac{r_2}{(r - \delta r)_2} = 1,05 \quad (\text{K.4})$$

Le rapport X requis est défini comme

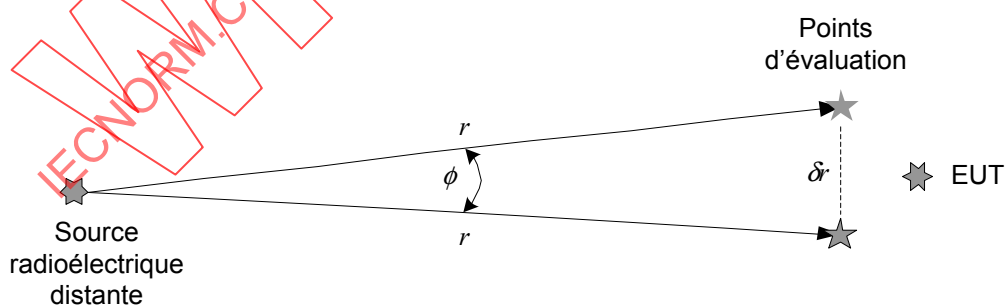
$$X = \frac{r}{\delta r} \quad (\text{K.5})$$

En remplaçant pour X en utilisant l'Equation (K.4) on obtient $X = 41,49$

Pour un environnement radio réel (et probablement encombré), la densité de puissance S décroît d'un facteur de puissance - donné dans l'équation (K.1) - supérieur à 2. Pour deux emplacements d'évaluation orientés dans toute autre direction, S varie plus lentement avec δr . Par conséquent, un facteur de 40 convient pour plus de simplicité - c'est-à-dire que si la source radioélectrique est à une distance égale à 40 fois la distance entre les points d'évaluation, une seule évaluation suffit.

K.4.2.2 Variation du champ due à la directivité de l'antenne-source distante

Considérons à présent la Figure K.2, pour deux emplacements d'évaluation avec r constant mais variable dans la direction ϕ par rapport à la source radioélectrique.



IEC 1061/11

Figure K.2 – Rapport de la séparation de la source radioélectrique distante et de la zone d'évaluation à la séparation des points d'évaluation entre eux