

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE



**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)**

**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 communications sans fil utilisés très près du corps humain (gamme de fréquences de 30 MHz à 6 GHz)**



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2010 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](mailto:inmail@iec.ch)  
Web: [www.iec.ch](http://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](http://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](http://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](http://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](http://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](mailto: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](http://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](http://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](http://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](http://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](mailto:csc@iec.ch)

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE



**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)**

**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 communications sans fil utilisés très près du corps humain (gamme de fréquences de 30 MHz à 6 GHz)**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

PRICE CODE  
CODE PRIX

**XE**

ICS 33.050.10

ISBN 2-8318-1087-0

## CONTENTS

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FOREWORD.....                                                                        | 5  |
| INTRODUCTION.....                                                                    | 7  |
| 1 Scope.....                                                                         | 8  |
| 2 Normative references .....                                                         | 8  |
| 3 Terms and definitions .....                                                        | 9  |
| 4 Symbols and abbreviated terms.....                                                 | 12 |
| 4.1 Physical quantities .....                                                        | 12 |
| 4.2 Constants.....                                                                   | 12 |
| 4.3 Abbreviations .....                                                              | 12 |
| 5 Measurement system specifications .....                                            | 13 |
| 5.1 General requirements.....                                                        | 13 |
| 5.2 Phantom specifications – shell and liquid .....                                  | 14 |
| 5.2.1 General requirements .....                                                     | 14 |
| 5.2.2 Phantom material, shape and size .....                                         | 14 |
| 5.2.3 Tissue-equivalent liquid material properties .....                             | 15 |
| 5.3 Measurement instrumentation system specifications .....                          | 17 |
| 5.3.1 General requirements .....                                                     | 17 |
| 5.3.2 Scanning system .....                                                          | 17 |
| 5.3.3 Probes.....                                                                    | 17 |
| 5.3.4 Probe calibration .....                                                        | 17 |
| 5.3.5 Specifications for fixture(s) to hold the DUT in the test position .....       | 17 |
| 6 Protocol for SAR evaluation.....                                                   | 18 |
| 6.1 Measurement preparation.....                                                     | 18 |
| 6.1.1 General preparation.....                                                       | 18 |
| 6.1.2 System check .....                                                             | 18 |
| 6.1.3 Preparation of the device under test .....                                     | 18 |
| 6.1.4 Position of the device under test in relation to the phantom .....             | 20 |
| 6.1.5 Test frequencies.....                                                          | 30 |
| 6.2 Tests to be performed .....                                                      | 30 |
| 6.2.1 General requirements .....                                                     | 30 |
| 6.2.2 Test reductions.....                                                           | 30 |
| 6.2.3 General test procedure.....                                                    | 31 |
| 6.2.4 Fast SAR evaluations .....                                                     | 32 |
| 6.3 Measurement procedure.....                                                       | 34 |
| 6.3.1 General procedure.....                                                         | 34 |
| 6.3.2 Procedures for testing of DUTs with simultaneous multi-band transmission ..... | 35 |
| 6.4 Post-processing .....                                                            | 37 |
| 6.4.1 Interpolation .....                                                            | 37 |
| 6.4.2 Probe offset extrapolation.....                                                | 37 |
| 6.4.3 Definition of averaging volume.....                                            | 37 |
| 6.4.4 Searching for the maxima .....                                                 | 38 |
| 7 Uncertainty estimation .....                                                       | 38 |
| 7.1 General considerations.....                                                      | 38 |
| 7.1.1 Concept of uncertainty estimation.....                                         | 38 |
| 7.1.2 Type A and type B evaluations .....                                            | 38 |

|                       |                                                                                                       |     |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.1.3                 | Degrees of freedom and coverage factor .....                                                          | 39  |
| 7.2                   | Components contributing to uncertainty .....                                                          | 40  |
| 7.2.1                 | General .....                                                                                         | 40  |
| 7.2.2                 | Contribution of the measurement system (probe and associated electronics).....                        | 40  |
| 7.2.3                 | Contribution of mechanical constraints .....                                                          | 46  |
| 7.2.4                 | Contribution of physical parameters.....                                                              | 49  |
| 7.2.5                 | Contribution of post-processing .....                                                                 | 53  |
| 7.2.6                 | Standard source offset and tolerance .....                                                            | 57  |
| 7.3                   | Uncertainty estimation.....                                                                           | 58  |
| 7.3.1                 | Combined and expanded uncertainties .....                                                             | 58  |
| 7.3.2                 | Maximum expanded uncertainty .....                                                                    | 58  |
| 8                     | Measurement report .....                                                                              | 64  |
| 8.1                   | General.....                                                                                          | 64  |
| 8.2                   | Items to be recorded in the measurement report.....                                                   | 64  |
| Annex A (informative) | Phantom rationale .....                                                                               | 66  |
| Annex B (normative)   | SAR measurement system verification .....                                                             | 69  |
| Annex C (informative) | Fast SAR testing .....                                                                                | 78  |
| Annex D (informative) | Standard sources and phantoms for system validation .....                                             | 80  |
| Annex E (informative) | Example recipes for phantom tissue-equivalent liquids.....                                            | 86  |
| Annex F (normative)   | SAR correction for deviations of complex permittivity from targets.....                               | 89  |
| Annex G (informative) | Hands-free kit testing.....                                                                           | 91  |
| Annex H (informative) | Skin enhancement factor.....                                                                          | 94  |
| Annex I (informative) | Tissue-equivalent liquid dielectric property measurements and measurement uncertainty estimation..... | 98  |
| Annex J (informative) | Testing compliance for the exposure of the hand .....                                                 | 100 |
| Annex K (informative) | Test reduction .....                                                                                  | 102 |
| Annex L (normative)   | Power scaling procedure .....                                                                         | 104 |
| Annex M (informative) | Rationale for probe parameters .....                                                                  | 106 |
| Bibliography          | .....                                                                                                 | 108 |
| Figure 1              | – Dimensions of the elliptical phantom .....                                                          | 15  |
| Figure 2              | – Definition of reference points .....                                                                | 21  |
| Figure 3              | – Measurements by shifting of the device at the phantom .....                                         | 22  |
| Figure 4              | – Test positions for a generic device .....                                                           | 23  |
| Figure 5              | – Test positions for body-worn devices .....                                                          | 24  |
| Figure 6              | – Device with swivel antenna (example of desktop device).....                                         | 24  |
| Figure 7              | – Test positions for body supported devices.....                                                      | 26  |
| Figure 8              | – Test positions for desktop devices .....                                                            | 27  |
| Figure 9              | – Test positions for front-of-face devices.....                                                       | 28  |
| Figure 10             | – Test position for limb-worn devices .....                                                           | 29  |
| Figure 11             | – Test position for clothing-integrated wireless devices .....                                        | 30  |
| Figure 12             | – Block diagram of the tests to be performed .....                                                    | 33  |
| Figure 13             | – Orientation of the probe with respect to the normal of the phantom surface.....                     | 35  |
| Figure B.1            | – Set-up for the system check.....                                                                    | 71  |

|                                                                                                                                                                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure D.1 – Mechanical details of the reference dipole .....                                                                                                                                                                      | 82  |
| Figure D.2 – Dimensions of the flat phantom set-up used for deriving the minimal dimensions for $W$ and $L$ .....                                                                                                                  | 83  |
| Figure D.3 – FDTD predicted uncertainty in the 10 g peak spatial-average SAR as a function of the dimensions of the flat phantom compared with an infinite flat phantom .....                                                      | 84  |
| Figure D.4 – Standard waveguide source.....                                                                                                                                                                                        | 85  |
| Figure G.1 – Configuration of a wired personal hands-free headset .....                                                                                                                                                            | 91  |
| Figure G.2 – Configuration without a wired personal hands-free headset .....                                                                                                                                                       | 92  |
| Figure H.1 – SAR and temperature increase ( $\Delta T$ ) distributions simulated for a three-layer (skin, fat, muscle) planar torso model.....                                                                                     | 94  |
| Figure H.2 –Statistical approach to protect 90 % of the population.....                                                                                                                                                            | 95  |
| Figure H.3 – Spatial-average SAR skin enhancement factors.....                                                                                                                                                                     | 96  |
| Figure J.1 – Test position for hand-held devices, not used at the head or torso .....                                                                                                                                              | 100 |
| Table 1 – Dielectric properties of the tissue-equivalent liquid material .....                                                                                                                                                     | 16  |
| Table 2 – Example uncertainty template and example numerical values for relative permittivity ( $\epsilon'_r$ ) and conductivity ( $\sigma$ ) measurement; separate tables may be needed for each $\epsilon'_r$ and $\sigma$ ..... | 50  |
| Table 3 – Parameters for reference function $f_1$ .....                                                                                                                                                                            | 54  |
| Table 4 – Reference SAR values in watts per kilogram used for estimating post-processing uncertainties .....                                                                                                                       | 55  |
| Table 5 – Measurement uncertainty evaluation template for DUT SAR test .....                                                                                                                                                       | 59  |
| Table 6 – Measurement uncertainty evaluation template for system validation .....                                                                                                                                                  | 61  |
| Table 7 – Measurement uncertainty evaluation template for system repeatability.....                                                                                                                                                | 63  |
| Table B.1 – Numerical reference SAR values for reference dipoles and flat phantom – All values are normalized to a forward power of 1 W .....                                                                                      | 76  |
| Table B.2 – Numerical reference SAR values for reference matched waveguides in contact with flat phantom (from reference [53]) .....                                                                                               | 77  |
| Table D.1 – Mechanical dimensions of the reference dipoles .....                                                                                                                                                                   | 81  |
| Table D.2 – Parameters used for calculation of reference SAR values in Table B.1 .....                                                                                                                                             | 84  |
| Table D.3 – Mechanical dimensions of the standard waveguide .....                                                                                                                                                                  | 85  |
| Table E.1 – Suggested recipes for achieving target dielectric parameters .....                                                                                                                                                     | 87  |
| Table F.1 – Root-mean-squared error of Equations (F.1) to (F.3) as a function of the maximum change in permittivity or conductivity [13].....                                                                                      | 90  |
| Table H.1 – Spatial-average SAR correction factors.....                                                                                                                                                                            | 96  |
| Table I.1 – Parameters for calculating the dielectric properties of various reference liquids.....                                                                                                                                 | 98  |
| Table I.2 – Dielectric properties of reference liquids at 20 °C .....                                                                                                                                                              | 99  |
| Table M.1 – Minimum probe requirements as a function of frequency and parameters of the tissue equivalent liquid.....                                                                                                              | 106 |
| Table M.2 – Extrapolation and integration uncertainty of the 10 g peak spatial average SAR ( $k=2$ ) for homogeneous and graded meshes .....                                                                                       | 107 |

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

# **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)**

## 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 62209-2 has been prepared by IEC technical committee 106: Methods for the assessment of electric, magnetic and electromagnetic fields associated with human exposure.

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

|              |                  |
|--------------|------------------|
| FDIS         | Report on voting |
| 106/195/FDIS | 106/200/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.

The French version of this standard has not been voted upon.

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

A list of all parts of the IEC 62209 series, published under the general title *Human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices – Human models, instrumentation, and procedures*, can be found on the IEC website.

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

The IEC work item “Evaluation of the Human Exposure to Radio Fields from Hand-Held and Body-Mounted Wireless Communication Devices in the Frequency range 30 MHz to 6 GHz (Human Models, Instrumentation, Procedures),” has the objective to measure the human exposure from devices intended to be used at a position near the human body. This standard was developed to provide procedures to evaluate exposures due to any electromagnetic field (EMF) transmitting device when held in the hand or in front of the face, mounted on the body, combined with other transmitters within a product, or embedded in garments. The types of devices dealt with include but are not limited to mobile telephones, cordless telephones, cordless microphones, auxiliary broadcast devices and radio transmitters in personal computers. For transmitters used in close proximity to the human ear, specific absorption rate (SAR) measurements should be performed using the procedures of IEC 62209-1:2005.

TC 106 has the scope to prepare international standards on measurement and calculation methods used to assess human exposure to electric, magnetic and electromagnetic fields. The task includes assessment methods for the exposure produced by specific sources. It applies to basic restrictions and reference levels. Although the establishment of exposure limits is not within the scope of TC 106, the results of assessments performed in accordance with TC 106 standards can be compared with the basic restrictions of relevant standards and guidelines. Conformity assessment depends on the policy of national regulatory bodies.

A Category D liaison in IEC involves organizations that can make an effective technical contribution and participate at the working group level or specific project level of the IEC technical committees or subcommittees. Obvious goals are standards harmonization and minimizing duplication of effort. The work of IEC technical committee 106 (TC 106) and IEEE International Committee on Electromagnetic Safety (ICES SCC39), technical committee 34 (TC 34), is an example where two international committees worked together informally through common membership to achieve the goal of harmonization, specifically between IEC Project Team 62209 (PT 62209) on the “Procedure to Measure the Specific Absorption Rate (SAR) for Hand-Held Mobile Telephones” and IEEE/SCC39-ICES/TC34 on IEEE Std 1528-2003 “IEEE Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate (SAR) in the Human Head from Wireless Communications Devices: Measurement Techniques” [32].<sup>1</sup>

IEEE/SCC39-ICES/TC34 has a similar project. Because the project is more advanced in IEC, a Category D liaison was sought in order to avoid divergence of standards and duplication of work. Thus, rather than developing two separate standards (IEC and IEEE), the IEEE committee felt it would be more efficient to develop a single IEC standard with direct input from the members of IEEE/SCC39-ICES/TC34, many of whom are also members of PT 62209 or are from the same organizations that send delegates to participate in the work of PT 62209. The Category D liaison is limited only to this project (Part 2 of IEC 62209 series).

---

<sup>1</sup> Figures in square brackets refer to the Bibliography.

# **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)**

### **1 Scope**

This part of IEC 62209 series is applicable to any wireless communication device capable of transmitting electromagnetic fields (EMF) intended to be used at a position near the human body, in the manner described by the manufacturer, with the radiating part(s) of the device at distances up to and including 200 mm from a human body, i.e. when held in the hand or in front of the face, mounted on the body, combined with other transmitting or non-transmitting devices or accessories (e.g. belt-clip, camera or Bluetooth add-on), or embedded in garments. For transmitters used in close proximity to the human ear, the procedures of IEC 62209-1:2005 are applicable.

This standard is applicable for radio frequency exposure in the frequency range of 30 MHz to 6 GHz, and may be used to measure simultaneous exposures from multiple radio sources used in close proximity to human body. Definitions and evaluation procedures are provided for the following general categories of device types: body-mounted, body-supported, desktop, front-of-face, hand-held, laptop, limb-mounted, multi-band, push-to-talk, clothing-integrated. The types of devices considered include but are not limited to mobile telephones, cordless microphones, auxiliary broadcast devices and radio transmitters in personal computers.

This International Standard gives guidelines for a reproducible and conservative measurement methodology for determining the compliance of wireless devices with the SAR limits.

Because studies suggest that exclusion of features to represent a hand in human models constitutes a conservative case scenario for SAR in the trunk and the head, a representation of a hand is not included if the device is intended to be used next to the head or supported on or near the torso [73], [80]. This standard does not apply for exposures from transmitting or non-transmitting implanted medical devices. This standard does not apply for exposure from devices at distances greater than 200 mm away from the human body.

IEC 62209-2 makes cross-reference to IEC 62209-1:2005 where complete clauses or subclauses apply, along with any changes specified.

### **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 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)*

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 terms and definitions given in the IEC 62209-1:2005, as well the following apply.

#### 3.1

##### **accessory**

optional component that can be used in conjunction with a transmitting device

##### EXAMPLES

Accessories for mobile phones, wireless transmitting devices, wireless receiving devices or wireless transceiving devices, or two-way radios include the following:

- a) accessories for holding, affixing, or otherwise carrying, wearing or attaching the device, as well as providing spacing from the body (e.g. a belt-clip, wrist-strap or any other body strap, or lanyard for wearing the device as necklace);
- b) electronic accessories for performing tasks or which provide features (e.g., GPS modules, outboard printers, MP3 players, cameras or viewing devices);
- c) electronic accessories providing audio or video input or output (e.g., headsets, microphones, cameras);
- d) accessories providing enhanced RF capability to the device (e.g., replacement or auxiliary antennas);
- e) batteries and related d.c. power components;
- f) combinations of accessories, where two or more of the above are combined within one component (e.g., belt clip with built-in Bluetooth and "pigtail" audio cable to device).

#### 3.2

##### **body-mounted device<sup>2</sup>**

body-worn device

portable device containing a wireless transmitter or transceiver which is positioned in close proximity to a person's torso or limbs (excluding the head) by means of a carry accessory during its intended use or operation of its radio functions

#### 3.3

##### **body-supported device**

a device whose intended use includes transmitting with any portion of the device being held directly against a user's body

NOTE This differs from a body-mounted device in that it is not attached to a user's body by means of a carry accessory

#### 3.4

##### **cable**

wire that is necessary for the functionality in the intended operational configuration

#### 3.5

##### **conservative exposure**

estimate of the peak spatial-average SAR, including uncertainties as defined in this standard, representative of and slightly higher than expected to occur in the bodies of a significant majority of persons during intended use of hand-held devices

NOTE Conservative estimate does not mean the absolute maximum SAR value that could possibly occur under every conceivable combination of body size, body shape, wireless device orientation, and spacing relative to the body. In order to ensure that the results are not overly restrictive, and thereby unnecessarily inhibit the

<sup>2</sup> Both terms are used. Colloquially the term "body-worn" is preferred over "body-mounted".

advancement of new mobile communications technologies, SAR overestimates should be as small as possible. For example, overestimates of the order of 20 % have been reported for head exposures [78], [79], and were deemed reasonable. Achieving an optimal compromise between over- or underestimate conditions is a complex task, which is why the conductivity of the tissue-equivalent liquid is not selected to be arbitrarily large, for example.

### 3.6

#### **desktop device**

a device placed or mounted on a desk, table, or similar supporting structure, and the antenna of which is intended to be operated closer than 200 mm from the human body

### 3.7

#### **device under test**

#### **DUT**

a device that contains one or more wireless transmitters or transceivers that is subject to this standard

NOTE A device under test may be further categorised as a body-worn, body-supported, desktop, front-of-face, hand-held, limb-worn, clothing-integrated or as a generic device.

### 3.8

#### **duty factor**

operational time averaging factor

the proportion of time that a transmitter transmits over a specified period

### 3.9

#### **front-of-face device**

hand-held device operated in close proximity to the face

EXAMPLE Front-of-face device types include push-to-talk devices, two-way radios, devices equipped with a camera.

### 3.10

#### **generic device**

a device that cannot be categorized as any of the specific device types

### 3.11

#### **hand-held device**

a portable device which is located in a user's hand during its intended use

### 3.12

#### **host**

any equipment which has complete user functionality when not connected to the radio equipment part and to which the radio equipment part provides additional functionality and to which connection is necessary for the radio equipment part to offer functionality

### 3.13

#### **intended use**

intended purpose

use for which a product, process or service is intended according to the specifications, instructions and information provided by the manufacturer. Also, use of a device for the full range of available functions, in accordance with the specifications, instructions and information provided by the manufacturer

NOTE 1 User guide instructions may include the intended use operating position and orientation.

NOTE 2 Intended use, i.e. the way a manufacturer specifies that a device should be used may not encompass all possible use conditions.

**3.14****laptop device**

portable computer

a portable device containing one or more wireless transceivers, that can sit on the user's lap and is not intended for hand-held use

NOTE Laptop device types include laptop (notebook) computers, typically comprised of separate keyboard and display sections connected by hinge, and tablet computers, which typically have a one-section construction where the display section also serves as input interface using a stylus or virtual keyboard.

**3.15****limb-mounted device**

a device whose intended use includes being strapped to the arm or leg of the user while transmitting (except in idle mode)

EXAMPLE Limb-mounted device types include wrist-mounted, ankle-mounted, and forearm-mounted devices.

**3.16****measurement drift**

continuous or incremental change over time in indication, due to changes in metrological properties of a measuring instrument

**3.17****multi-band transmission**

operation mode for transmitting on several radio frequency bands simultaneously

**3.18****output power**

power at the output of the RF transmitter when the antenna, or a load with the same impedance at the test frequency and in the considered test position, is connected to it

**3.19****peak SAR value, primary**

largest SAR value determined in an area scan measurement

**3.20****peak SAR value, secondary**

other local SAR maxima determined in an area scan measurement that are smaller than the primary peak SAR value

**3.21****separation distance**

distance between the DUT and the outside surface of the phantom, representing the distance during intended use

**3.22****two-way radio**

push-to-talk (PTT) device

a hand-held radio transceiver in which a switch is used to toggle between radio transmission and reception

## 4 Symbols and abbreviated terms

### 4.1 Physical quantities

The internationally accepted SI-units are used throughout the standard.

| Symbol                 | Quantity                          | Unit                     | Unit symbol       |
|------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-------------------|
| $E$                    | Electric field strength           | volt per metre           | V/m               |
| $f$                    | Frequency                         | Hertz                    | Hz                |
| $H$                    | Magnetic field strength           | ampere per metre         | A/m               |
| $J$                    | Current density                   | ampere per square metre  | A/m <sup>2</sup>  |
| $\bar{P}_{\text{avg}}$ | Average (temporal) absorbed power | watt                     | W                 |
| SAR                    | Specific absorption rate          | watt per kilogram        | W/kg              |
| $T$                    | Temperature                       | kelvin                   | K                 |
| $\varepsilon$          | Permittivity                      | farad per metre          | F/m               |
| $\lambda$              | Wavelength                        | metre                    | m                 |
| $\mu$                  | Permeability                      | henry per metre          | H/m               |
| $\rho$                 | Mass density                      | kilogram per cubic metre | kg/m <sup>3</sup> |
| $\sigma$               | Electric conductivity             | siemens per metre        | S/m               |

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

### 4.2 Constants

| Symbol          | Physical constant          | Magnitude                           |
|-----------------|----------------------------|-------------------------------------|
| $c$             | Speed of light in vacuum   | $2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$     |
| $\eta$          | Impedance of free space    | $120\pi$ or $377 \Omega$            |
| $\varepsilon_0$ | Permittivity of free space | $8,854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ |
| $\mu_0$         | Permeability of free space | $4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$   |

### 4.3 Abbreviations

|         |                                        |
|---------|----------------------------------------|
| CDMA    | code division multiple access          |
| CW      | continuous wave                        |
| DOE     | design of experiments                  |
| DUT     | device under test                      |
| E-field | electric field                         |
| EMC     | electromagnetic compatibility          |
| FDTD    | finite-difference time-domain          |
| FDMA    | frequency division multiple access     |
| GPRS    | general packet radio service           |
| GSM     | global system for mobile communication |
| MIMO    | multiple input multiple output         |
| MOD     | modulation                             |
| OFAT    | one-factor-at- a-time                  |
| PTT     | push-to-talk                           |
| RF      | radio frequency                        |

|      |                               |
|------|-------------------------------|
| RMS  | root mean square              |
| RSS  | root sum square               |
| SAR  | specific absorption rate      |
| TDMA | time division multiple access |

## 5 Measurement system specifications

### 5.1 General requirements

A SAR measurement system consists of a human body model (phantom), electronic measurement instrumentation, a scanning system and a device holder.

The test shall be performed using a miniature probe that is automatically positioned to measure the internal *E*-field distribution in a phantom representing the human body exposed to the electromagnetic fields produced by wireless devices. From the measured *E*-field values, the SAR distribution and the peak spatial-average SAR value shall be calculated.

The test shall be performed in a laboratory conforming to the following environmental conditions:

- both the ambient and liquid temperatures shall both be in the range of 18 °C to 25 °C; see 7.2.4.4 to determine the liquid temperature uncertainty;
- the DUT, test equipment, liquid and phantom shall have been kept in the laboratory long enough for their temperatures to have stabilized (i.e., they should not have been recently moved from another area with a different ambient temperature, such as a refrigerator or outdoors);
- the variation of the liquid temperature during the test shall not deviate from the liquid temperature during dielectric property measurement by more than  $\pm 2$  °C or that which would result in a SAR deviation within  $\pm 5$  %, whichever is smaller; see 7.2.4.4 to determine the liquid temperature uncertainty;
- the ambient noise (e.g., noise of measurement system, noise due to the robot motors, other RF transmitters, etc.) shall not induce a 1 g SAR greater than 0,012 W/kg (3 % of the lower measurement value of 0,4 W/kg that can be determined with the uncertainties of Table 5), as measured according to 7.2.4.5 with the RF transmitter of the DUT turned off;
- during testing the DUT shall not connect to any wireless network; the connection to a base station simulator is acceptable;
- the effects of scatterers (e.g., floor, robot, other devices, etc.) other than the transmitter and the phantom shall be smaller than 3 % of the measured SAR, as measured according to 7.2.4.5 with the RF transmitter of the DUT turned on. If the effect of the scatterers is larger than 3 %, additional uncertainty shall be added (7.2.4.5).

System validation according to the protocol defined in Annex B shall be done at least once per year, including when a new system is put into operation and whenever modifications have been made to the system, such as a new software version, different type or version of readout electronics or different types of probes. The standard sources used for system validation (e.g. a half-wave dipole, patch antenna, open-ended waveguide) shall be designed and validated according to the protocol in Annex B. Additional sources (e.g. dipoles at specific frequencies not presently included in Tables B.1, D.1, and D.2) may be used as standard sources provided they meet the requirements specified in Annex B.

Where this standard explicitly specifies performance characteristics for the measurement system or a device part of the measurement system, the manufacturer of the system or of the device, or the system integrator shall document the conformity with the provisions of this standard.

## 5.2 Phantom specifications – shell and liquid

### 5.2.1 General requirements

The physical characteristics of the standard flat phantom are intended to simulate a human body. The flat phantom is an open-top container with a thin dielectric shell and filled with a tissue-equivalent liquid. The dielectric properties (permittivity and conductivity) of the liquid are specified in 5.2.3, and have been formulated to obtain a conservative assessment of the SAR induced in the user [6] (see Annex A for the rationale used to derive liquid parameters).

### 5.2.2 Phantom material, shape and size

The phantom shell shall be constructed in the form of an open-top container with a flat bottom. In this standard, flat phantoms shall be used for system validation, system check and for measurements of SAR for DUTs using positions specified in 6.1.4.

Any flat phantoms used shall be large enough to allow the measurement of SAR in 1 g and 10 g volumes (liquid density of 1 000 kg/m<sup>3</sup> is used) with an influence from shape of less than 1 % (see Annex A).

NOTE Use of a flat phantom as a standard phantom for SAR evaluations of body-worn and body-supported devices is intended to represent maximum coupling between the DUT and phantom compared to a significant majority of exposure situations involving people. Such coupling to the boundary while maintaining prescribed distances is likely to produce a conservative estimation of SAR. Annex H provides more details about this topic.

The flat phantom shall have the following shape and dimensions:

- a) Except as specified in item b), the shape of the phantom shall be an ellipse with length 600 mm ± 5 mm and width 400 mm ± 5 mm (see Figure 1).
- b) Except for frequencies above 300 MHz and for separation distances less than or equal to 25 mm from the outer surface of the bottom of the phantom shell, phantoms with other shapes and smaller dimensions are allowed [5] as follows:
  - between 300 MHz and 800 MHz, the phantom flat bottom wall may have any shape that encompasses an ellipse with length  $0,6 \lambda_0$  and width  $0,4 \lambda_0$ , where  $\lambda_0$  is the wavelength in air.
  - between 800 MHz and 6 GHz, the phantom may have any shape flat bottom wall that encompasses an ellipse with length 225 mm and width 150 mm.

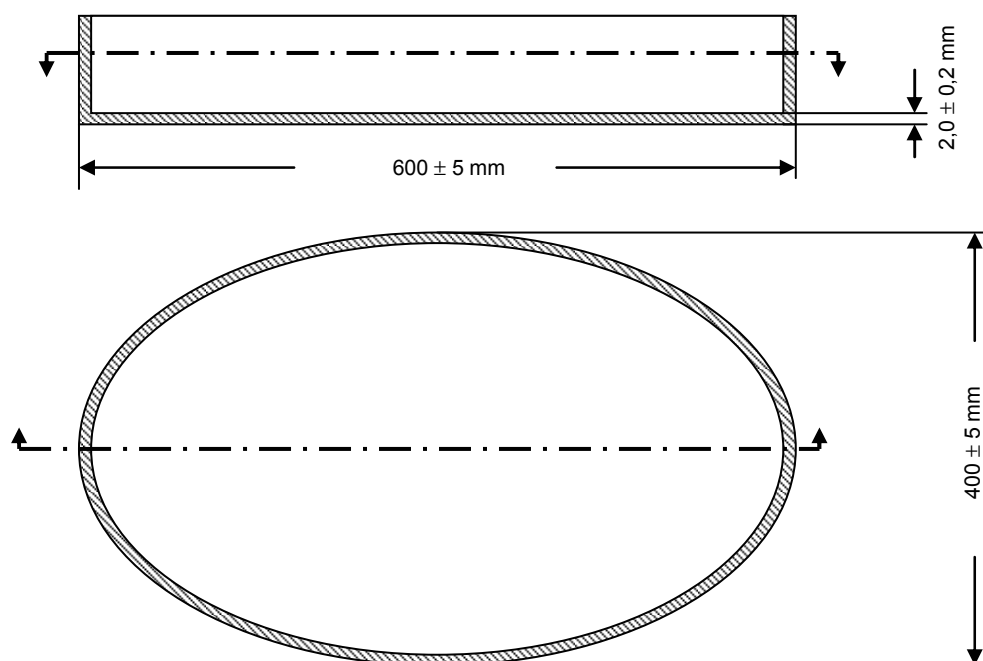


**Figure 1 – Dimensions of the elliptical phantom**

The phantom shall be filled with tissue-equivalent liquid to a depth of at least 150 mm. For the frequency range 3 GHz to 6 GHz, a liquid depth of 150 mm is also recommended, but it can be reduced provided that the reflections from the top liquid surface do not change the peak spatial average SAR values by more than 1 %. When filled with liquid, the sagging of the outer surface at the centre of the bottom wall shall be less than 2 mm.

The phantom shell shall be made of low-loss and low-permittivity material, having loss tangent  $\tan \delta \leq 0,05$  and relative permittivity:

$$\epsilon_r' \leq 5 \text{ for } f \leq 3 \text{ GHz}$$

$$3 \leq \epsilon_r' \leq 5 \text{ for } f > 3 \text{ GHz [62]}$$

The thickness of the bottom-wall of the flat phantom shall be 2,0 mm with a tolerance of  $\pm 0,2$  mm.

If the above requirements are met, the effect of the shape and thickness on the repeatability of SAR measurement results is less than 1 %. Effects on the SAR due to the influence of the deviation from the shell parameters and thickness shall be included in the uncertainty estimation.

The phantom shell material shall be resistant to damage or reaction with tissue-equivalent liquid chemicals.

### 5.2.3 Tissue-equivalent liquid material properties

Nominal dielectric values of the tissue-equivalent liquid in the phantom are specified in Table 1, for discrete frequencies ranging between 30 MHz and 6 GHz. For other frequencies within this range, the nominal dielectric values shall be obtained by linear interpolation between the higher and lower tabulated figures. Example recipes for preparing tissue-

equivalent liquids designed to produce the dielectric properties at some of the frequencies in the 30 MHz to 6 GHz range are provided in Annex E. The rationale for the liquid equivalent material properties is given in Annex A.

The liquid temperature specifications are given in 5.1.

**Table 1 – Dielectric properties of the tissue-equivalent liquid material**

| Frequency<br>MHz | Real part of the<br>complex relative<br>permittivity, $\epsilon'_r$ | Conductivity, $\sigma$<br>S/m |
|------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 30               | 55,0                                                                | 0,75                          |
| 150              | 52,3                                                                | 0,76                          |
| 300              | 45,3                                                                | 0,87                          |
| 450              | 43,5                                                                | 0,87                          |
| 750              | 41,9                                                                | 0,89                          |
| 835              | 41,5                                                                | 0,90                          |
| 900              | 41,5                                                                | 0,97                          |
| 1 450            | 40,5                                                                | 1,20                          |
| 1 800            | 40,0                                                                | 1,40                          |
| 1 900            | 40,0                                                                | 1,40                          |
| 1 950            | 40,0                                                                | 1,40                          |
| 2 000            | 40,0                                                                | 1,40                          |
| 2 100            | 39,8                                                                | 1,49                          |
| 2 450            | 39,2                                                                | 1,80                          |
| 2 600            | 39,0                                                                | 1,96                          |
| 3 000            | 38,5                                                                | 2,40                          |
| 3 500            | 37,9                                                                | 2,91                          |
| 4 000            | 37,4                                                                | 3,43                          |
| 4 500            | 36,8                                                                | 3,94                          |
| 5 000            | 36,2                                                                | 4,45                          |
| 5 200            | 36,0                                                                | 4,66                          |
| 5 400            | 35,8                                                                | 4,86                          |
| 5 600            | 35,5                                                                | 5,07                          |
| 5 800            | 35,3                                                                | 5,27                          |
| 6 000            | 35,1                                                                | 5,48                          |

NOTE For convenience, permittivity and conductivity values at some frequencies that are not part of the original data from Drossos et al. [16] or the extension of FCC data [17] are provided (these values are shown in italics in Table 1). The italicized values were linearly interpolated between the non-italicized values that are immediately above and below these values, except the values at 6 000 MHz which were linearly extrapolated from the values at 3 000 MHz and 5 800 MHz.

For the purpose of SAR evaluations, the tissue-equivalent liquids shall be assumed to have a density of 1 000 kg/m<sup>3</sup>.

### 5.3 Measurement instrumentation system specifications

#### 5.3.1 General requirements

The requirements of the scanning system and probes are given in 5.3.2 and 5.3.3 respectively. The probe calibration and DUT holder requirements are defined in 5.3.4 and 5.3.5 respectively.

#### 5.3.2 Scanning system

The minimum requirements for the scanning system are:

- positional accuracy:  $\leq \pm 0,2$  mm;
- minimum resolution (step size):  $\leq 1$  mm;
- scanning range:  $\geq 90$  % of the phantom dimensions in all directions.

#### 5.3.3 Probes

Accurate measurements require that the probe tip has sufficiently small size to be able to effectively resolve the distribution of the fields induced in the phantom. The probe should only minimally distort the field distribution, which can be achieved if the probe diameter is smaller than one third of the wavelength in the liquid. Furthermore, accurate measurements are needed as close as possible to the surface of the phantom in order to keep the extrapolation error as low as possible. Clause M.1 gives a rationale for the probe requirements.

The minimum requirements of the preceding paragraph are achieved if the probe fulfils the following specifications:

- probe tip diameter:
  - $\leq 8$  mm, for frequencies up to and including 2 GHz;
  - $\leq \lambda/3$  for frequencies greater than 2 GHz
 where
  - $\lambda$  is the wavelength in the liquid medium in mm;
- sensitivity:  $\leq 0,01$  W/kg.

#### 5.3.4 Probe calibration

The probe shall be calibrated together with associated readout electronics and the calibration so obtained shall be valid for any other identical or technically equivalent type of readout electronics. The probe shall be calibrated in each tissue-equivalent liquid at the appropriate operating frequency and temperature range according to the methodology described in Annex B of IEC 62209-1:2005.

#### 5.3.5 Specifications for fixture(s) to hold the DUT in the test position

The device holder shall be made of low loss and low permittivity material(s):

- loss tangent  $\tan \delta \leq 0,05$ ,
- relative permittivity  $\epsilon_r' \leq 5$ .

The device holder shall ensure precise and repeatable positioning of the DUT. The positioning uncertainty shall be assessed according to methods of 7.2.3.4.3.

## 6 Protocol for SAR evaluation

### 6.1 Measurement preparation

#### 6.1.1 General preparation

The dielectric properties of the tissue-equivalent liquids shall be measured within 24 h before the SAR measurements, or less frequently if the laboratory can document compliance with the recommendations of 5.2.3 using measurement intervals up to but not greater than one week. The measured conductivity and relative permittivity shall be within 10 % of the target values. The measured SAR results shall be corrected using the procedures of Annex F. If the correction  $\Delta$ SAR has a negative sign, the measured SAR results shall not be corrected.

The measurement procedures for the dielectric parameters in Annex I should be used. Methods to determine the effect on the SAR due to permittivity and conductivity deviations are described in Annex F.

#### 6.1.2 System check

A system check according to the procedures of Annex B shall be completed before performing SAR measurements for a DUT.

#### 6.1.3 Preparation of the device under test

##### 6.1.3.1 General

The DUT shall use its internal, integrated or connected transmitter. The antenna(s) and accessories used shall be specified in the measurement report.

The RF output power and frequency (channel) shall be controlled using an internal test program or by a wireless link to a base station or network simulator.

The DUT shall be set to transmit at its highest time-averaged RF output power level that is defined by the transmission mode and/or the operating requirements of the DUT. If this is not possible or practical, the test may be performed at any lower power level and then scaled to the highest power level numerically if the scaling factor is known and documented in the measurement report. Annex L describes an example scaling procedure.

If the normal mode of operation includes transmission in bursts without a fixed duty factor the tests shall be performed using a fixed controlled duty factor and the SAR results shall then be scaled to the maximum intended duty factor for that mode and documented in the measurement report. If the maximum intended duty factor is not well identified or if a fixed controlled duty factor is difficult to generate, then an available mode of operation shall be used and appropriate scaling shall be chosen and documented in the measurement report.

The exposure tests shall be based on the characteristics of the DUT, i.e. operating modes, operating bands, antenna configurations, etc. Where multiple operating modes are available they shall all be tested, unless some modes can clearly be shown to utilise a lower time-averaged output power than others at the same frequency. For example, if a DUT has multiple transmit slots, the mode using the highest number of slots shall be used, and the modes using fewer slots at the same frequency do not need to be tested (assuming that the time-average output power during the slot is the same for all modes). Where some modes are to be excluded from testing, there shall be a clear explanation of the relationship of the operating modes with respect to their power level, duty factor, operating frequency and antenna used, see 6.2 and Annex C for further details. Testing in idle mode is not necessary where this has a lower time-average output power than during active transmission.

In general, the DUT shall be tested using its available operational configurations as detailed in the user instructions. There shall be no cables attached to the DUT, unless the cables are

necessary for the functionality in the intended operational configuration (e.g., a headset cable for hands-free use or a data cable for data transmission). Attaching cables to the DUT can alter the RF current distribution on the surface of the DUT. Cables that are not necessary for the functionality in the intended operational configuration shall be positioned perpendicular to the phantom surface so that the impact on the measured SAR is minimized. Cables that are necessary for the functionality in the intended operational configuration shall be positioned to produce conservative SAR results. The cable positioning shall be documented in the measurement report.

If an operational mode is capable of simultaneous multiple transmission (e.g., GSM and Bluetooth transmitting together), this operational mode shall also be tested (see 6.3.2 for procedures).

Where a DUT is only intended to be operated with an external power source, the manufacturer-supplied cabling should be used to connect to a suitable power source. Where a battery is the intended power source, the battery shall be fully charged before the measurements and there shall be no external power supply. A single charge of the battery may be used for a sequence of measurements as long as the drift is assessed as described in 6.1.3.2 and SAR values are corrected according to guidelines included in this document.

### **6.1.3.2 Multiple SAR measurements using a single charge of the battery**

#### **6.1.3.2.1 General requirements**

There are three conditions which shall be met when multiple SAR measurements are made using a single charge of the battery:

- a) measured SAR values shall be corrected by a factor greater than or equal to the magnitude of the drift;

NOTE No correction to a measured SAR value is to be made when the drift is upwards i.e. an apparent increase in E-field (or power); only downward drift shall be corrected.

- b) the cumulative drift (i.e. the magnitude of the drift after the second, third, fourth, etc. measurement in the sequence) shall be less than or equal to  $\pm 1,0$  dB;
- c) the results of measurements for which the cumulative drift is greater than 1,0 dB shall be discarded (i.e. repeated where appropriate).

The magnitude of the drift can be assessed in three different ways as detailed below.

#### **6.1.3.2.2 Method 1 – drift assessment by measurement of the battery's discharge characteristic<sup>3</sup>**

This method of drift assessment uses the measured discharge characteristic of the battery for the same frequency and mode of operation as used in the SAR test<sup>4</sup>. The discharge characteristic can be measured either as a conducted power measurement using the DUT's external RF connector (if available) or as a SAR measurement using a liquid-filled flat phantom. For both types of measurement, the power out of the DUT (set to transmit the required frequency and mode) shall be continuously monitored until the magnitude of the drift exceeds 1,0 dB (26 %).

For a conducted power measurement, a direct power reading is made. Conducted power measurements are made on the DUT at the antenna port using equipment capable of measuring RF power prior to DUT placement for SAR test. If a conducted power measurement

<sup>3</sup> The method used to measure the discharge characteristic of the battery unavoidably includes variations in the SAR measurement system components.

<sup>4</sup> To avoid numerous repetitions of the measurement of the battery's discharge characteristic of the battery for each possible frequency and mode, a single measurement can be made using the frequency and mode with the highest time-averaged output power. This would ensure a conservative approach to drift correction.

is performed, the power shall be measured immediately before and immediately after the SAR measurement.

For a radiated E-field measurement, the single-point SAR value at a fixed reference point within the liquid-filled flat phantom is continuously measured - the result being converted to SAR after completion of the measurement. The reference point shall be chosen so that the single-point SAR value exceeds the lower detection limit of the SAR system. A secondary measurement shall be made by the system at the user defined point immediately after the SAR measurement.

The resulting curve of power or SAR reduction against time shall be used to correct for the drift in the multiple measurements. Correction shall be carried out by noting the time duration from the start of the multiple test sequence to the end of each successive test and reading the corresponding drop in power or SAR for that time period from the curve.

#### **6.1.3.2.3 Method 2 – drift assessment by calculation of the cumulative drift**

In this method, the recorded drift for each of the individual SAR measurements is added to the cumulative drift recorded for all of the preceding measurements in the sequence e.g. if, in a 3-test sequence, the initial test has a drift of 0,4 dB, the second test has 0,25 dB and the third test has 0,31 dB, then the drifts to be compensated are:

- for the initial test: 0,4 dB
- for the second test: 0,65 dB (i.e. 0,4 dB + 0,25 dB)
- for the third test: 0,96 dB (i.e. 0,4 dB + 0,25 dB + 0,31 dB).

The magnitude of the drift for each individual SAR measurement shall be evaluated by measuring the radiated E-field strength (or single-point SAR) value at a fixed reference point inside the liquid-filled phantom, as described in 6.1.3.2.2, before and after each SAR measurement. If the radiated E-field strength method is not sensitive, as an alternative the conducted power from the external coaxial connector on the DUT shall be measured before and after each SAR measurement. If the DUT continues to transmit between the successive SAR measurements, the time delay between these separate SAR measurements should be minimised and should not exceed 5 min.

When the cumulative drift after the second, third, fourth, etc. measurement exceeds 1,0 dB, the last individual SAR measurement shall be discarded, and the SAR values of the previous measurements in the sequence shall be corrected for the relevant magnitude of drift.

#### **6.1.3.2.4 Method 3 – Drift assessment by calculation of the cumulative drift**

This method is only applicable if the DUT is not moved during the sequence of multiple tests.

This method of drift assessment is similar to that of 6.1.3.2.3, but in this case, the cumulative drift is calculated by re-setting the DUT, after each successive test, to the frequency and mode of the transmission used in the initial test and recording the conducted power level or the radiated E-field (or SAR value) relative to the level recorded before the start of the initial test.

When the cumulative drift is equal to, or exceeds 1,0 dB, the last individual SAR measurement shall be discarded, and the SAR values of the previous measurements in the sequence shall be corrected for the relevant magnitude of drift.

### **6.1.4 Position of the device under test in relation to the phantom**

#### **6.1.4.1 General considerations and requirements**

This subclause describes positioning procedures for the following device types:

- generic device (6.1.4.3);
- body-worn device (6.1.4.4);
- device with hinged or swivel antenna (6.1.4.5);
- body-supported device (6.1.4.6);
- desktop device (6.1.4.7);
- front-of-face device (6.1.4.8);
- hand-held only device (6.1.4.9);
- limb-worn device (6.1.4.10);
- clothing-integrated device (6.1.4.11).

This subclause describes how the DUT, with or without accessories, shall be positioned, oriented and configured with respect to the phantom. The specified test position(s) is (are) applicable for device-to-phantom surface separations up to and including 200 mm.

NOTE The figures provided in this subclause are for illustration purposes only and are not to scale or representative of the required scanned area.

If the manufacturer has specified several intended device operation positions and orientations, each of these shall be tested and testing shall be limited to these positions. If no intended use positions are specified or there are no instructions, the test procedures for the generic device shall be used.

In all cases, the DUT shall be tested against a flat phantom. The DUT shall be positioned below the phantom in such a way that the peak spatial-average SAR can be measured. For larger devices or where the maximum is recorded at the edge of the scanning area, a larger phantom with dimensions that are at least 20 % larger than the projection of the DUT (including cables, if any) may be needed, or shifting of the DUT and re-measurement may be necessary so that the maximum is fully captured within the scanning area (see 6.1.4.2).

The DUT shall be oriented in accordance with the manufacturer's intended use, if specified. General guidance for the orientation of a DUT or carry accessory parallel to the flat phantom is as follows. This guidance shall be followed as long as it is consistent with the manufacturer's intended use. P1, P2, P3, and P4 are defined as the midpoint of each edge of the surface as shown in Figure 2. Line P1-P2 and Line P3-P4 shall be parallel to the phantom surface such that the distance between P1 and the phantom surface is equal to the distance between P2 and the phantom surface. Similarly, the distance between P3 and the phantom surface shall be equal to the distance between P4 and the phantom surface. The separation distance is defined as the distance between the phantom shell and the closest point of the DUT when positioned as described above. The closest point in practice could be then P1 and P2, P3 and P4, or the point defined by the separation distance between the phantom shell and the closest point of the DUT when positioned as described above.

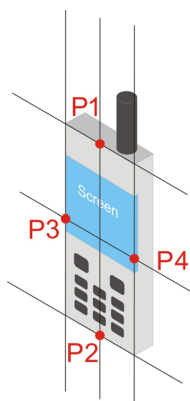


**Figure 2 – Definition of reference points**

#### 6.1.4.2 Positioning for devices that are large relative to phantom surface area

If the DUT is larger than the minimum elliptical phantom defined in Figure 1 and associated text, the DUT shall be shifted such that multiple area scans can be made of the whole DUT. When the phantom is shifted over the considered surface of the DUT, the coupling between the DUT and phantom may change and will then be different from that seen with a larger phantom covering the whole DUT.

To limit differences in the measured SAR due to coupling variations, the scanned areas of the DUT of two successive tests should intersect by at least one third in the direction of the shifting as shown in Figure 3.

It should be verified that the maximum single-point SAR deviation between the two intersecting scanned areas shall be less than the expanded uncertainty for repeatability per Table 7. Otherwise, the resulting uncertainty shall be assessed and documented according to the procedures and techniques presented in Clause 7. There is no need for shifting if the radiating structures are small compared to both the DUT and the phantom and/or the first area scan shows that the SAR distribution is entirely captured within the scanning area. The motivations for omitting shifting shall be clearly stated in the measurement report.

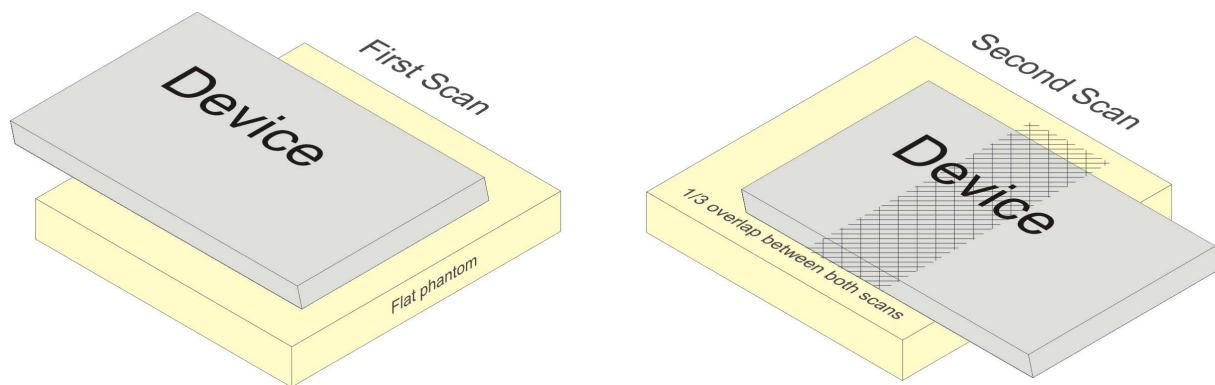


**Figure 3 – Measurements by shifting of the device at the phantom**

#### 6.1.4.3 Generic device

For a device that can not be categorized as any of the other specific device types in 6.1.4.1, it shall be considered to be a generic device; i.e. represented by a closed box incorporating at least one internal RF transmitter and antenna.

The SAR evaluation shall be performed for all surfaces of the DUT that are accessible during intended use, as indicated in Figure 4. The separation distance in testing shall correspond to the intended use distance as specified in the user instructions provided by the manufacturer. If the intended use is not specified, all surfaces of the DUT shall be tested directly against the flat phantom.

The surface of the generic device (or the surface of the carry accessory holding the DUT) pointing towards the flat phantom shall be parallel to the surface of the phantom.

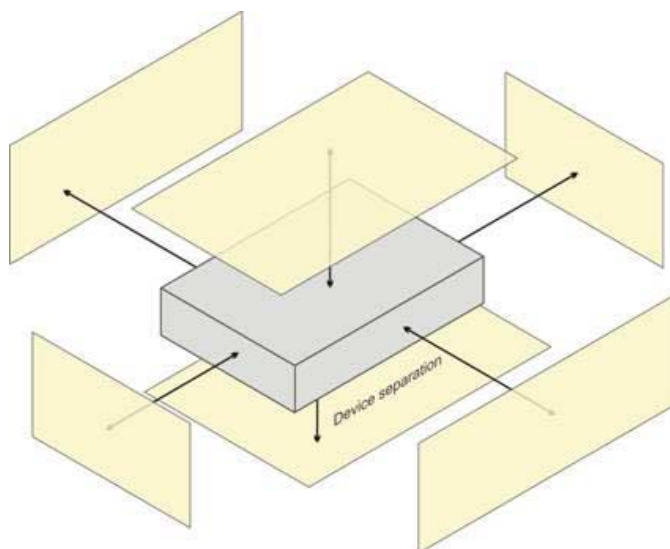


**Figure 4 – Test positions for a generic device**

The generic device principle may be applied to all devices. Where a transmitter is added to the host device so that the host and transmitter operate as a single device it should be addressed according to subclauses 6.1.4.4 to 6.1.4.11 as applicable. Where the antenna or the attached RF transmitter is external to the host and the positioning of the antenna or attached RF transmitter is independent of positioning of the host, e.g. transmitter is attached by a cable, it shall be assessed using the generic device procedures.

For DUTs with multiple antennas, the same principles are applicable, and all the relevant combinations of antenna positions shall be tested. Annex C provides more insight on the way to reduce the number of combinations tested.

#### **6.1.4.4 Body-worn device**

A typical example of a body-worn device is a mobile phone, wireless enabled PDA or other battery operated wireless device with the ability to transmit while mounted on a person's body using a carry accessory approved by the wireless device manufacturer.

If the user instructions provided by the manufacturer specify intended use with a carry accessory (belt-clip, holster, carry-case or similar), the device shall be placed as intended in that carry accessory and the carry accessory shall be placed in the intended orientation against the flat phantom.

For carry accessories constructed from non conductive materials that are capable of holding the DUT at varying minimum distances to the phantom, the carry accessory providing the closest separation distance is expected to produce the highest SAR; therefore, testing of the carry accessories providing larger separation distances is not necessary. For carry accessories that do not contain conductive materials (e.g. metal), it is acceptable to substitute the carry accessory with an air-gap or a spacer that keeps the DUT at a distance from the phantom surface no greater than the distance provided by the carry accessory. The spacer shall be made of a low loss and low permittivity material with a loss tangent  $\leq 0,005$  and relative permittivity  $\leq 1,1$ . Accessories that do not contain RF transmitters and have been proven to increase the peak SAR by less than 5 %, such as hands-free kits, do not need SAR tests separate from the SAR tests attached to a main DUT configuration. Annex G provides other information and rationale about hands-free kit testing.

**NOTE** In this context, hands-free kit means only non-transmitting earpiece(s) and/or headset accessory connected to a mobile device via a cable or wire, but not devices such as a Bluetooth earpiece and/or headset, i.e. an "un-wired hands-free kit."

If the user instructions provided by the manufacturer specify an intended use with an appropriate accessory at a certain separation distance to the body, the device shall be positioned as intended at the distance to the outer surface of the phantom that corresponds to the specified distance (Figure 5). When evaluating device SAR without a specific carry accessory, the separation distance shall not exceed 25 mm. The surface of the device pointing towards the flat phantom should be parallel to the surface of the phantom. However, all devices do not have a flat surface. Therefore the details of the device position, e.g. the definition of the distance and the physical relationship between the device and the phantom (see 6.1.4.1), shall be documented in the measurement report according to the manufacturer instructions.

EXAMPLE A separation distance 15 mm is commonly used for body-worn mobile phones, to represent a spacing provided by intended accessories.

If the intended use is not specified in the user instructions, the device shall be tested with all its surfaces directly against the flat phantom. The details of the device position, especially contact points to the surface of the phantom, shall be documented in the measurement report. If testing for one or more surfaces is omitted, this shall be documented with an associated rationale in the measurement report.

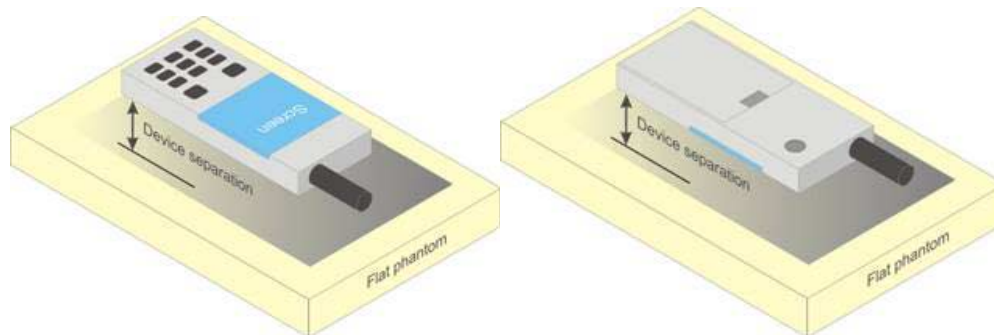


Figure 5 – Test positions for body-worn devices

#### 6.1.4.5 Devices with hinged or swivel antenna(s)

For devices that employ one or more external antennas with variable positions (e.g. antenna extended, retracted, rotated), these shall be positioned in accordance with the user instructions provided by the manufacturer. For a device with only one antenna, if no intended antenna position is specified, tests shall be performed if applicable in both the horizontal and vertical positions relative to the phantom, and with the antenna oriented away from the body of the DUT (Figure 6) and/or with the antenna extended and retracted such as to obtain the highest exposure condition. For antennas that may be rotated through one or two planes, an evaluation should be made and documented in the measurement report to the highest exposure scenario and only that position(s) need(s) to be tested. For devices with multiple detachable antennas see provisions of 6.2.2.

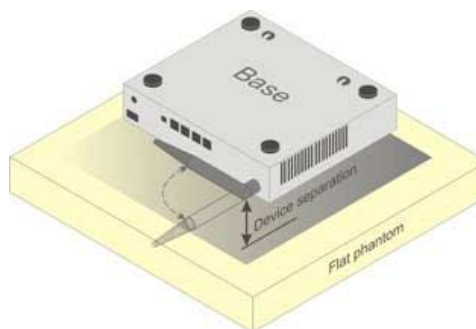


Figure 6 – Device with swivel antenna (example of desktop device)

#### 6.1.4.6 Body-supported device

A typical example of a body supported device is a wireless enabled laptop device that among other orientations may be supported on the thighs of a sitting user. To represent this orientation, the device shall be positioned with its base against the flat phantom. Other orientations may be specified by the manufacturer in the user instructions. If the intended use is not specified, the device shall be tested directly against the flat phantom in all usable orientations.

The screen portion of the device shall be in an open position at a 90° angle as seen in Figure 7a (left side), or at an operating angle specified for intended use by the manufacturer in the operating instructions. Where a body supported device has an integral screen required for normal operation, then the screen-side will not need to be tested if it ordinarily remains 200 mm from the body. Where a screen mounted antenna is present, this position shall be repeated with the screen against the flat phantom as shown in Figure 7a) (right side), if this is consistent with the intended use.

Other devices that fall into this category include tablet type portable computers and credit card transaction authorisation terminals, point-of-sale and/or inventory terminals. Where these devices may be torso or limb-supported, the same principles for body-supported devices are applied.

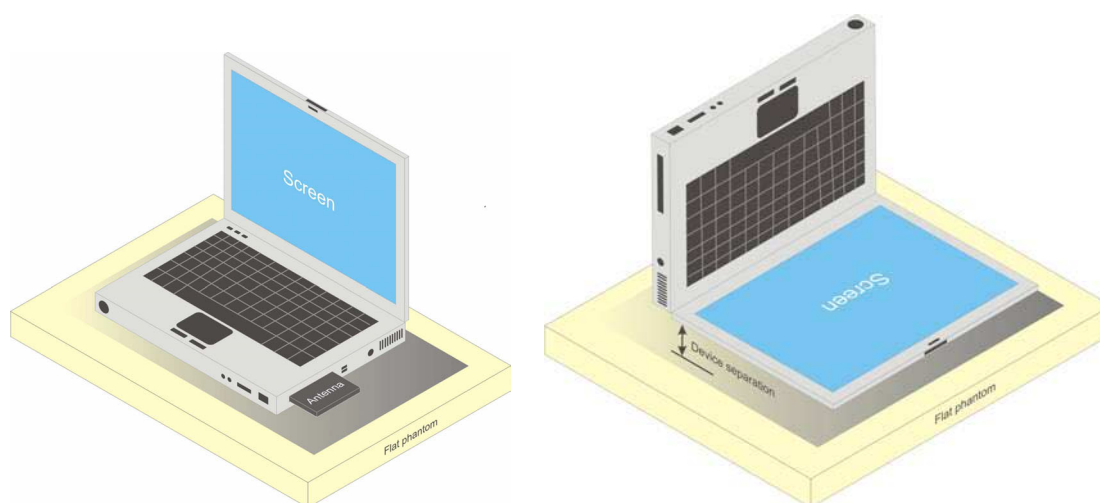
The example in Figure 7b) shows a tablet form factor portable computer for which SAR should be separately assessed with

- d) each surface and
- e) the separation distances

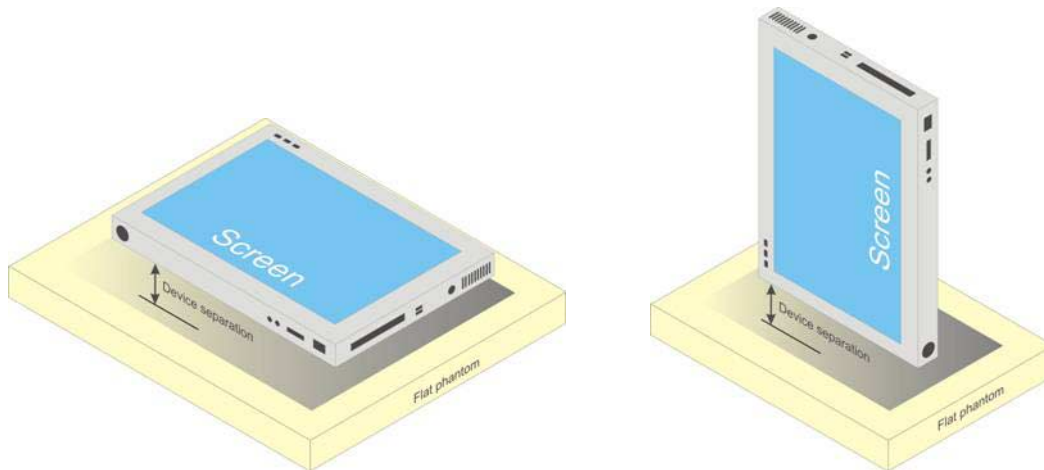
positioned against the flat phantom that correspond to the intended use as specified by the manufacturer. If the intended use is not specified in the user instructions, the device shall be tested directly against the flat phantom in all usable orientations.

Some body-supported devices may allow testing with an external power supply (e.g. a.c. adapter) supplemental to the battery, but it shall be verified and documented in the measurement report that SAR is still conservative.

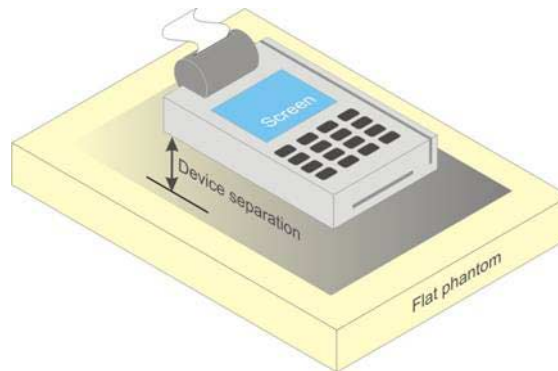
For devices that employ an external antenna with variable positions (e.g. swivel antenna), see 6.1.4.5 and Figure 6.



**a) Portable computer with external antenna plug-in-radio-card (left side) or with internal antenna located in screen section (right side)**



**b) Tablet form factor portable computer**



**c) Wireless credit card transaction authorisation terminal**

**Figure 7 – Test positions for body supported devices**

#### **6.1.4.7 Desktop device**

A typical example of a desktop device is a wireless enabled desktop computer placed on a table or desk when used.

The DUT shall be positioned at the distance and in the orientation to the phantom that corresponds to the intended use as specified by the manufacturer in the user instructions. For devices that employ an external antenna with variable positions, tests shall be performed for all antenna positions specified. Figures 6 and 8 show positions for desktop device SAR tests. If the intended use is not specified, the device shall be tested directly against the flat phantom.

Due to the physical design, some device surfaces may not be required for testing, e.g. the base of a desk standing device.

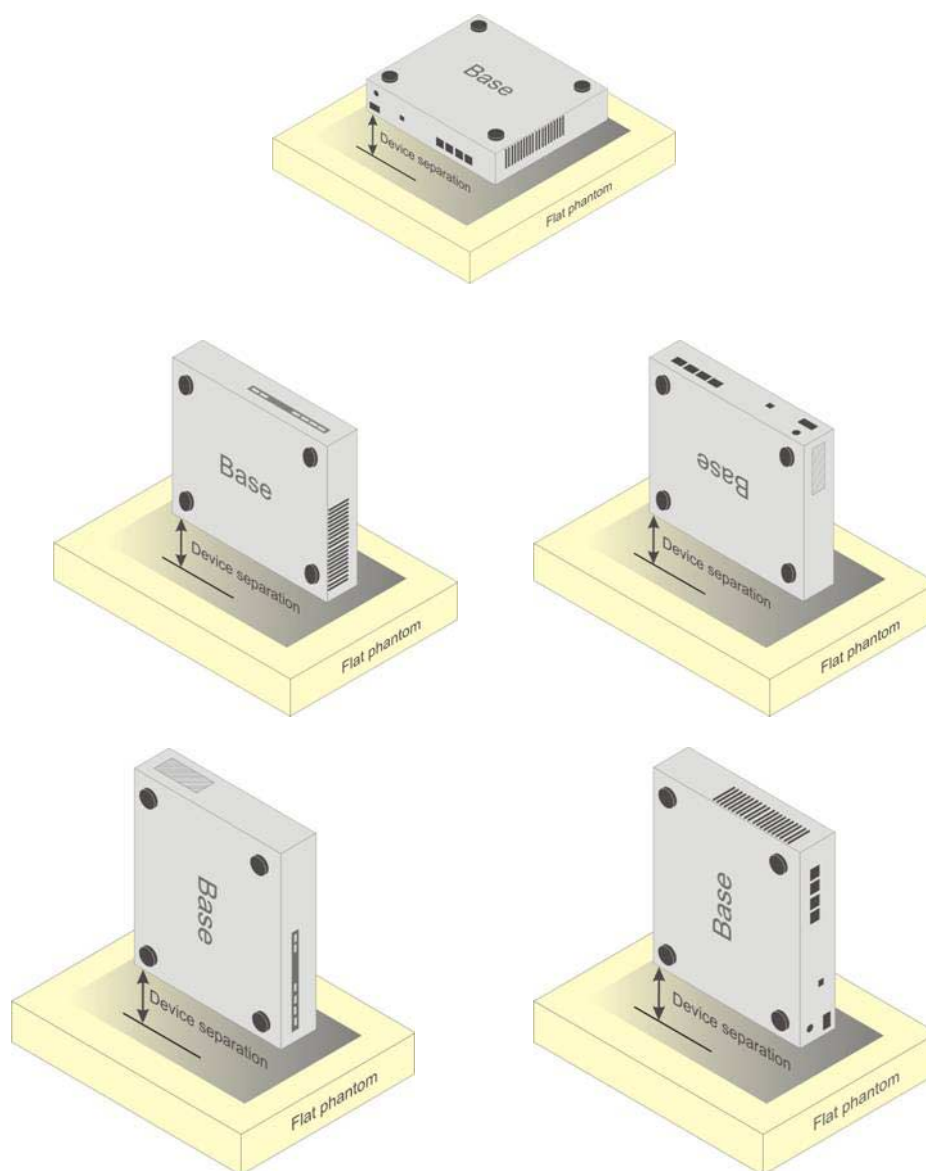
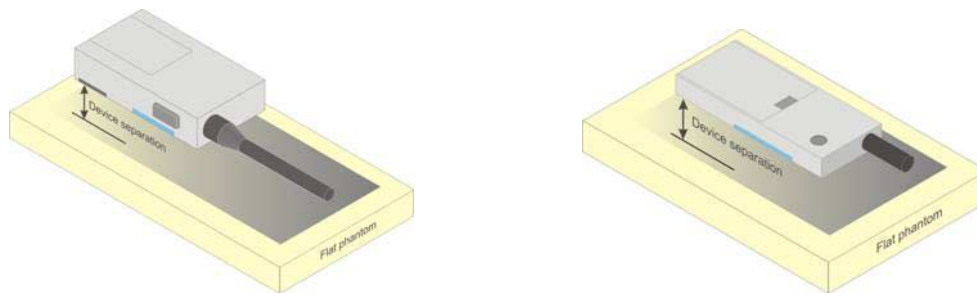


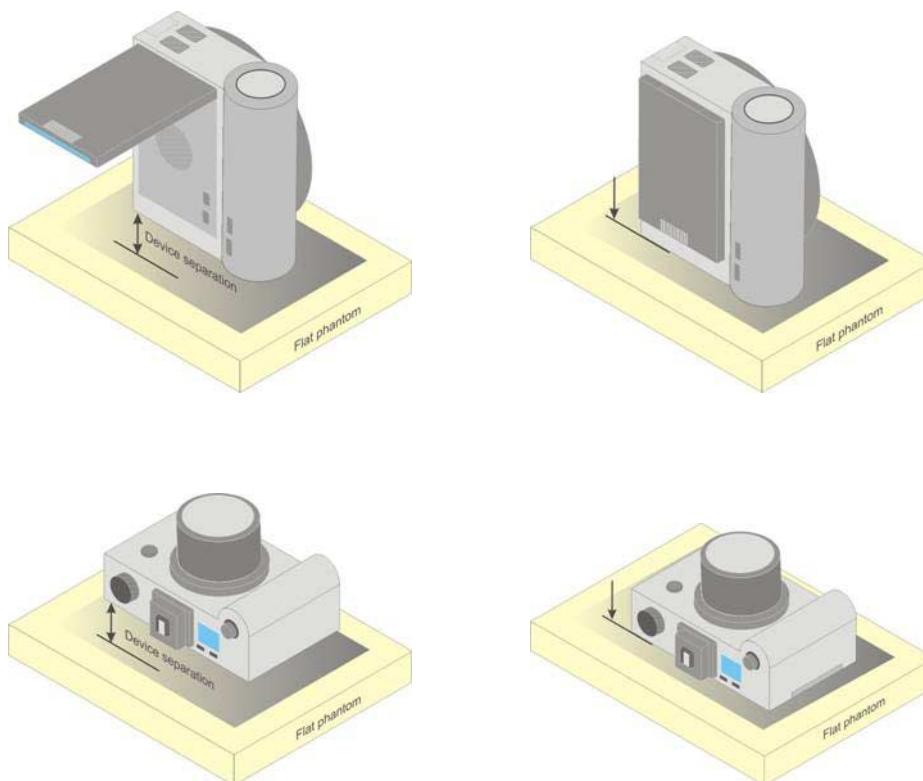
**Figure 8 – Test positions for desktop devices**

#### 6.1.4.8 Front-of-face device

A typical example of a front-of-face device is a two-way radio that is held at a distance from the face of the user when transmitting. In these cases the device under test shall be positioned at the distance to the phantom surface that corresponds to the intended use as specified by the manufacturer in the user instructions (Figure 9a). If the intended use is not specified, a separation distance of 25 mm<sup>5</sup> between the phantom surface and the device shall be used.



a) Two-way radios



b) Still cameras and video cameras

**Figure 9 – Test positions for front-of-face devices**

Other devices that fall into this category include wireless-enabled still cameras and video cameras that can send data to a network or other device (Figure 9b). In the case of a device

<sup>5</sup> This distance corresponds to the 95 % percentile of the nose protrusion distance obtained in the anthropomorphic survey of Gordon et al. [27].

whose intended use requires a separation distance from the user (e.g., device with a viewing screen), this shall be positioned at the distance to the phantom surface that corresponds to the intended use as specified by the manufacturer in the user instructions (Figure 9b, left side). If the intended use is not specified, a separation distance of 25 mm between the phantom surface and the device shall be used.

For a device whose intended use requires the user's face to be in contact with the device (e.g., device with an optical viewfinder), this shall be placed directly against the phantom (Figure 9b, right side).

#### 6.1.4.9 Hand-held usage of the device, not at the head or torso

Additional studies remain needed for devising a representative method for evaluating SAR in the hand of hand-held devices. Future versions of this standard are intended to contain a test method based on scientific data and rationale. Annex J presents the currently available test procedure.

#### 6.1.4.10 Limb-worn device

A limb-worn device is a unit whose intended use includes being strapped to the arm or leg of the user while transmitting (except in idle mode). It is similar to a body-worn device. Therefore, the test positions of 6.1.4.4 also apply. The strap shall be opened so that it is divided into two parts as shown in Figure 10. The device shall be positioned directly against the phantom surface with the strap straightened as much as possible and the back of the device towards the phantom.

If the strap cannot normally be opened to allow placing in direct contact with the phantom surface, it may be necessary to break the strap of the device but ensuring to not damage the antenna.

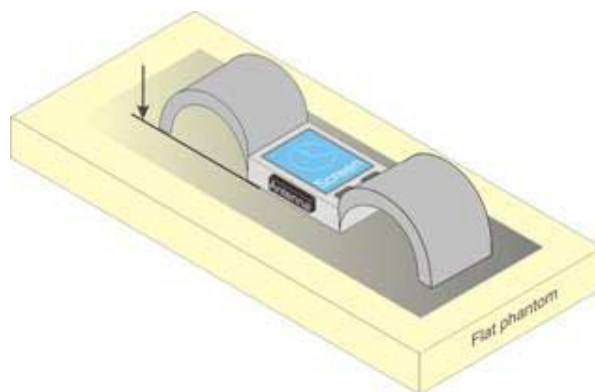


Figure 10 – Test position for limb-worn devices

#### 6.1.4.11 Clothing-integrated device

A typical example of a clothing-integrated device is a wireless device (mobile phone) integrated into a jacket to provide voice communications through an embedded speaker and microphone. This category also includes headgear with integrated wireless devices.

All wireless or RF transmitting components shall be placed in the orientation and at the separation distance to the phantom surface that correspond to intended use of the device when it is integrated into the clothing (Figure 11).

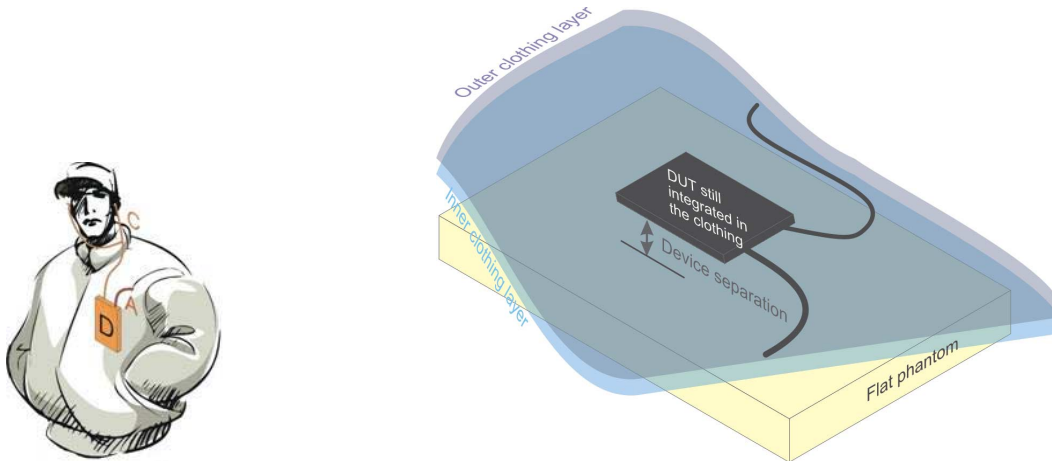


**Figure 11 – Test position for clothing-integrated wireless devices**

### 6.1.5 Test frequencies

The procedures of IEC 62209-1:2005 shall be used.

## 6.2 Tests to be performed

### 6.2.1 General requirements

The test procedure encompasses two main steps:

- a) The selection of the test conditions to be measured using the test reduction techniques discussed in 6.2.2, and
- b) the SAR evaluation of these test conditions using the general test procedure discussed in 6.2.3; optionally, fast SAR evaluation methods conforming to the requirements set forth in 6.2.4 may be employed.

In order to determine the highest value of the peak spatial-average SAR of a DUT according to the above steps, device positions, configurations and operational modes shall be tested for each frequency band as follows:

- c) Identify all possible test conditions of the device (frequencies, frequency bands, operational modes, accessories, device positions, etc.).
- d) Select test conditions to be measured applying test reduction (6.2.2) methods (optional)
  - i) Exclude unnecessary test conditions based on physical rationale (6.2.2.2) or analysis of SAR data (6.2.2.3);
  - ii) Perform a search (6.2.2.4) to choose the test conditions to be tested (optional).
- e) Test the selected test conditions using 6.2.3.

In all cases where test reductions (6.2.2) have been exercised or applied, the relevant device-accessory combinations or device orientations that are excluded and the rationale for test reduction shall be clearly documented in the measurement report.

### 6.2.2 Test reductions

#### 6.2.2.1 General requirements

In all cases where test reductions have been exercised or applied, the relevant device-accessory combinations or device orientations that are excluded and the rationale for test reductions shall be clearly documented in the measurement report. For more information on test reduction see Annex C and Annex K.

### 6.2.2.2 Test reductions based on physical rationale

Justification may be made to exclude SAR testing of certain device-accessory combinations if through sound scientific or engineering rationale it is shown that there is no increase in SAR with respect to a reference configuration. Two common cases where the use of physical rationale is deemed acceptable are:

- body-worn accessories that do not contain conductive materials (e.g. metal), where only the one that positions the device closer to the body is tested, and
- accessories that are similar (with identical metal content) except for the colour, which has no impact on SAR, where only one such device is tested.

### 6.2.2.3 Test reductions based on analysis of SAR data

Analysis of SAR data, e.g., statistical analysis based on a design of experiments (DOE) approach, may be used to develop scientific or engineering rationales for the test reduction of certain SAR tests. For example, if devices are available with optional faceplates with paint coatings of varying metal content, statistical analysis of SAR data may be used to justify excluding the testing of faceplates with less than a certain amount of metal content. Care shall be made to limit the application of the test reduction to products that are sufficiently similar to the original product for which the test reduction was determined.

### 6.2.2.4 Search for highest SAR test conditions

A device may operate in different transmission modes and may be usable with several antenna options, battery options and other accessories, and the number of possible combinations can be very large. Methods are therefore needed to streamline the measurement process, so that the highest SAR test conditions can be quickly identified. For example, a device with two antenna configurations (antenna extended and retracted), four battery types, four types of carry accessories and four types of audio accessories, testing all possible combinations would result in at least  $2^7 = 128$  tests per frequency band and device position. It is unnecessary to test all possible combinations; statistical techniques can be used to show trends from a smaller set of data and determine which device-accessory combinations result in higher SAR values. Using a design of experiments (DOE) is the preferred statistical method of achieving this. A DOE is a structured, organized method for analyzing the influence of factors and the interactions between factors on the output of a process. The DOE approach is extensively covered in the literature [62]. Other methods of searching for high SAR test conditions are given in Annex C (C.4).

### 6.2.3 General test procedure

In order to determine the highest value of the peak spatial-average SAR of a handset, the applicable test conditions shall be tested for each frequency band according to steps 1 to 3 below. A flowchart of the test process is shown in Figure 12.

**Step 1:** The tests described in either 6.2.4 or 6.3.1 below shall be performed at the usable channel that is closest to the centre of the transmit frequency band covered by the transmitter and antenna for the device positions described in 6.1, all configurations for each device position, and all operational modes for each device position and configuration, in each frequency band.

**Step 2:** For the condition providing highest peak spatial-average SAR determined in Step 1, perform the tests described in 6.3.1 at all other test frequencies identified in 6.1.5. In addition, for all other conditions (device position, configuration and operational mode) where the peak spatial-average SAR value determined in Step 1 is within 3 dB of the applicable SAR compliance limit, all other test frequencies shall be tested as described in 6.3.1 as well.

**Step 3:** Examine all the data to determine the highest value of the peak spatial-average SAR found in Steps 1 to 2.

**Step 4:** For devices capable of simultaneous transmission from multiple separate antennas, apply the appropriate procedure described in 6.3.2.

#### 6.2.4 Fast SAR evaluations

Full SAR testing (see 6.3) is not required for the purpose of identifying the highest SAR test conditions. Faster methods for determining the SAR can be used. The uncertainty of any fast SAR method shall be determined and documented following the procedures and techniques as presented in Clause 7. Several methods for fast SAR assessments are described in [47]. Annex C provides more information on fast SAR evaluations.

The uncertainty of any fast SAR method shall be determined and documented following the procedures and techniques as presented in Clause 7, as much as possible. However, Clause 7 may not be sufficient to determine the complete uncertainty budget for any fast SAR method. Indeed, some of these techniques use specific hardware and certain uncertainty contributions are hardware dependent. When a particular uncertainty contribution reported in Clause 7 is not applicable for some specific fast SAR technique, this shall be clearly justified (e. g. probe positioning uncertainty in 7.2.3.1 is irrelevant for a system using a fixed probe-array). Moreover, technology-specific uncertainty contributions shall also be assessed and reported, following explicit scientific or engineering rationales. In all cases, the configuration resulting in the highest SAR value needs to be repeated by the standardized measurement method.

In addition, all other test configurations having a SAR result higher than the applicable compliance limit reduced by the uncertainty of the faster SAR evaluation method ( $k = 2$ , see 7.1.2) need to be repeated by the standardized measurement method.

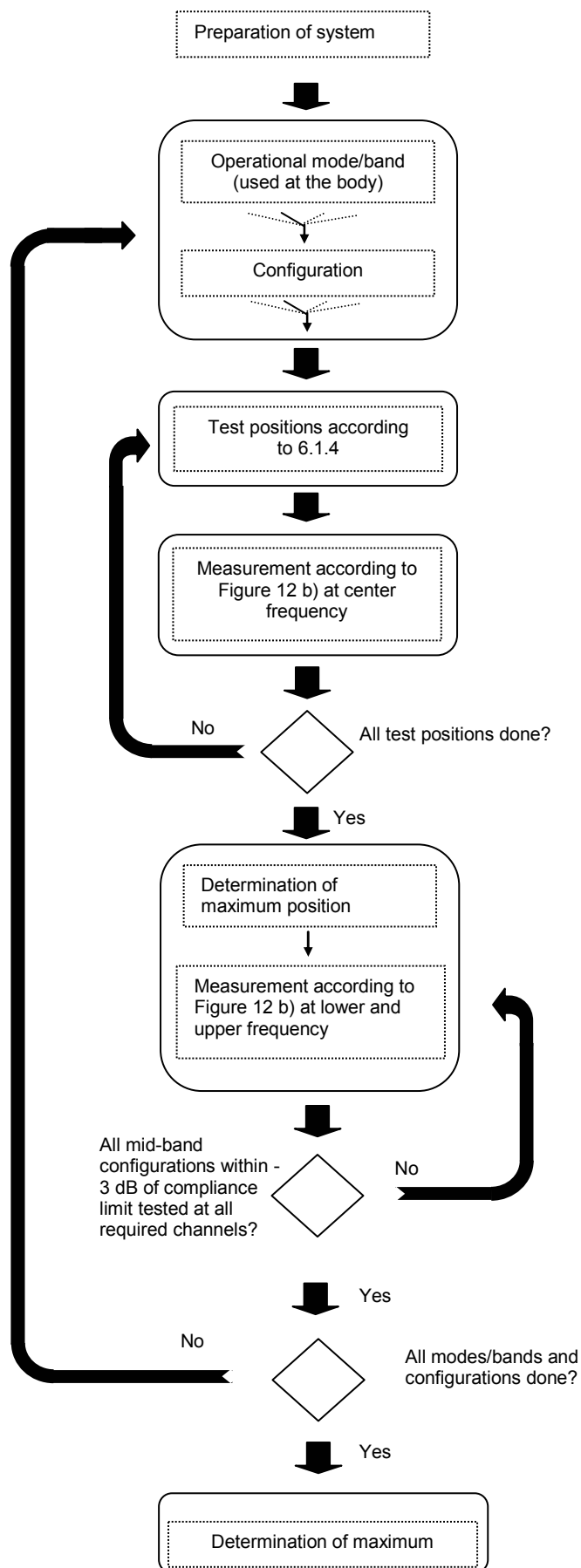


Figure 12a – Tests to be performed

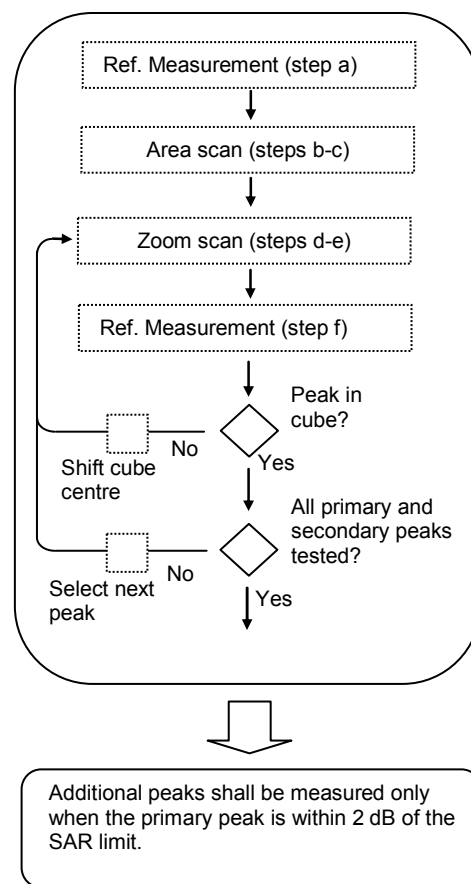


Figure 12b – General procedure

Figure 12 – Block diagram of the tests to be performed

## 6.3 Measurement procedure

### 6.3.1 General procedure

The following procedure shall be performed for each of the test conditions (see Figure 12) described in 6.2.

- a) Measure the local SAR at a test point within 8 mm of the phantom inner surface that is closest to the DUT. Alternatively, measure the SAR drift as described in 7.2.2.10.
- b) Measure the two-dimensional SAR distribution within the phantom (area scan procedure). The boundary of the measurement area shall not be closer than 20 mm from the phantom side walls. The distance between the measurement points should enable the detection of the location of local maximum with an accuracy of better than half the linear dimension of the tissue cube after interpolation. A maximum grid spacing of 20 mm for frequencies below 3 GHz and  $(60/f \text{ [GHz]})$  mm for frequencies of 3 GHz and greater is recommended. The resolution can also be tested using the functions in 7.2.5.2. The maximum distance between the geometrical centre of the probe detectors and the inner surface of the phantom shall be 5 mm for frequencies below 3 GHz and  $\delta \ln(2)/2$  mm for frequencies of 3 GHz and greater, where  $\delta$  is the plane wave skin depth and  $\ln(x)$  is the natural logarithm. The maximum variation of the sensor-phantom surface distance shall be  $\pm 1$  mm for frequencies below 3 GHz and  $\pm 0,5$  mm for frequencies of 3 GHz and greater. At all measurement points the angle of the probe with respect to the line normal to the surface should be less than  $5^\circ$  (see Figure 13 and Annex M). If this cannot be achieved for a measurement distance to the phantom inner surface shorter than the probe diameter, additional uncertainty evaluation is needed.
- c) From the scanned SAR distribution, identify the position of the maximum SAR value, in addition identify the positions of any local maxima with SAR values within 2 dB of the maximum value that will not be within the zoom scan of other peaks; additional peaks shall be measured only when the primary peak is within 2 dB<sup>6</sup> of the SAR compliance limit (e.g., 1 W/kg for 1,6 W/kg 1 g limit, or 1,26 W/kg for 2 W/kg, 10 g limit).
- d) Measure the three-dimensional SAR distribution at the local maxima locations identified in step c) (zoom scan procedure). The horizontal grid step shall be  $(24 / f \text{ [GHz]})$  mm or less but not more than 8 mm. The minimum zoom scan size is 30 mm by 30 mm by 30 mm for frequencies below 3 GHz. For higher frequencies, the minimum zoom scan size can be reduced to 22 mm by 22 mm by 22 mm. The grid step in the vertical direction shall be  $(8 \cdot f \text{ [GHz]})$  mm or less but not more than 5 mm, if uniform spacing is used (Annex C.3.3 of IEC 62209-1:2005). If variable spacing is used in the vertical direction, the maximum spacing between the two closest measured points to the phantom shell shall be  $(12/f \text{ [GHz]})$  mm or less but not more than 4 mm, and the spacing between farther points shall increase by an incremental factor not exceeding 1,5. When variable spacing is used, extrapolation routines shall be tested with the same spacing as used in measurements. The maximum distance between the geometrical centre of the probe detectors and the inner surface of the phantom shall be 5 mm for frequencies below 3 GHz and  $\delta \ln(2)/2$  mm for frequencies of 3 GHz and greater, where  $\delta$  is the plane wave skin depth and  $\ln(x)$  is the natural logarithm. Separate grids shall be centred on each of the local SAR maxima found in step c). Uncertainties due to field distortion between the media boundary and the dielectric enclosure of the probe should also be minimized, which is achieved if the distance between the phantom surface and physical tip of the probe is larger than probe tip diameter. Other methods may utilize correction procedures for these boundary effects that enable high precision measurements closer than half the probe diameter [2], [66]. For all measurement points, the angle of the probe with respect to the flat phantom surface shall be less than  $5^\circ$ . If this can not be achieved an additional uncertainty evaluation is needed following 7.2.2.6.
- e) Use post processing (e.g. interpolation and extrapolation) procedures defined in 6.4 to determine the local SAR values at the spatial resolution needed for mass averaging.

<sup>6</sup> This limit is given by the required minimum spacing between the measurement points and the uncertainty of the interpolation schemes.

- f) The local SAR should be measured at the same location as in Step a). SAR drift is assessed and reported in the uncertainty budget (Table 5) as described in 7.2.2.10.

In the event that the evaluation of measurement drift exceeds the 5 % tolerance, it is required that SAR be reassessed following guidelines contained within this standard.

If the drift is larger than 5 %, then the measurement drift shall be considered a bias, not an uncertainty. A correction shall be applied to the measured SAR value. It is not necessary to record the drift in the uncertainty budget (i.e.  $u_i = 0\%$ ). The uncertainty budget reported in a measurement report should correspond to the highest SAR value reported (after correction, if applicable). Alternatively, the uncertainty budget reported should cover all measurements, i.e., it should report a conservative value.

Alternatively, measure the SAR drift again as described in 7.2.2.10.

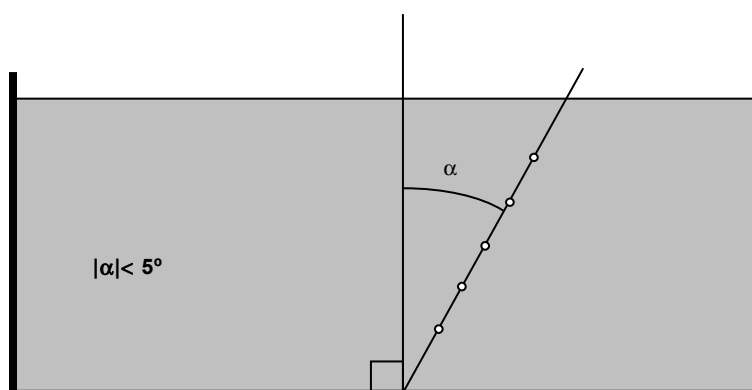


Figure 13 – Orientation of the probe with respect to the normal of the phantom surface

### 6.3.2 Procedures for testing of DUTs with simultaneous multi-band transmission

#### 6.3.2.1 General requirements

The following procedures are applicable to devices incorporating multiple transmission modes that are intended to operate simultaneously at frequencies ( $f_1$ ,  $f_2$ , etc.) that are separated by more than the valid frequency range of the probe calibration or the tissue-equivalent liquid, whichever is the smallest (i.e. when the SAR can not normally be assessed simultaneously using the same probe and liquid). The valid frequency range of probe calibration (5.3.4) is typically narrow (e.g.,  $\pm 50$  MHz) for electric field probes in most systems currently in use. Also, since electric field probes used in present systems typically have a d.c. voltage at the output, the probe cannot distinguish between signals at different frequencies. The valid frequency range of the tissue-equivalent liquid refers to the frequency range over which the dielectric parameters are within tolerance of the target values (see 5.2). Due to these limitations, the multiple transmission modes must first be assessed separately, then combined arithmetically.

Some secondary transmitters (i.e. lower power transmitters) can be eliminated from evaluation if their power levels fall below a threshold level. Annex K details procedures for establishing these threshold levels, dependent on frequency and separation distance.

Subclauses 6.3.2.2 to 6.3.2.5 describe alternative evaluation procedures. The following prerequisites apply for the alternative methods:

- a) The area scan, zoom scan and peak spatial-average SAR are evaluated separately at each frequency (as per 6.3.1) with the transmission mode at that frequency turned on and the modes at the other frequencies turned off.

- b) The SAR data are combined for each test condition (device position, channel, configuration and accessory) where two or more modes are intended to operate simultaneously (as per 6.2).

The alternatives are summarized as follows:

- 1) summation of peak spatial-averaged SAR values – simplest but most conservative method to find upper bound (6.3.2.2);
- 2) selection of highest assessed maximum SAR values – accurate estimate when separate maxima are far apart and do not effect each other by more than 5 % (6.3.2.3);
- 3) calculation of multi-band SAR from existing area and zoom scans – accurate and fast method, always applicable (6.3.2.4);
- 4) volumetric scanning – most accurate, always applicable (6.3.2.5).

Alternative (1), being the most conservative, is identified as the reference method. The DUT is deemed to fully comply with the requirements of this standard if it meets the requirements when using one of these alternative evaluation procedures.

#### **6.3.2.2 Alternative 1: Evaluation by summation of peak spatial-averaged SAR values**

This procedure gives the easiest and most conservative method to determine the upper limit of the multi-band SAR. Note that the peak-spatial averaged SAR values for different modes may be at different spatial locations. This method will overestimate the multi-band SAR in this case.

- 1) For each test condition where simultaneous operation is intended, add the peak spatial-average SAR values at each frequency,  $f_1$ ,  $f_2$ , etc (see Note below).
- 2) If the maximum summed SAR value is within -3 dB of the compliance limit, additional measurements at lower and upper frequencies shall be conducted for this test condition. These additional values shall be used to determine the maximum SAR.
- 3) The maximum summed SAR value in step 1 or 2 is the multi-band SAR.

NOTE An acceptable variation of step 1 is to add the highest peak spatial-average SAR values regardless of test condition. In other words, add the highest peak spatial-average SAR at the frequency  $f_1$  (among all test conditions at that frequency) to the highest peak spatial-average SAR value at the frequency  $f_2$  (among all test conditions), and so on for any other frequencies. Steps 2 and 3 must still be followed using this method. This method is more conservative than the method of step 1.

#### **6.3.2.3 Alternative 2: Evaluation by selection of highest assessed maximum SAR values**

This procedure gives an accurate estimate of the multi-band SAR when the separately measured SAR zoom scan distributions have little or no overlap. The maxima are then separated to such extent that they differ in level by less than 5 % from the resulting maximum peak SAR value if the SAR distributions are added spatially.

- 1) Measure the maximum mass-averaged SAR at each frequency separately according to 6.3.1.
- 2) For all identical test conditions, analyse to what extent the SAR distributions overlap by adding the area scans spatially, i.e. point-by-point.
- 3) If the resulting maximum peak SAR value of the added distribution is less than 5 % from the highest of the separate maximum peak SAR values, then the multi-band SAR is equal to the higher of the two separate mass-averaged SAR values.

#### **6.3.2.4 Alternative 3: Evaluation by calculated volumetric SAR data**

This procedure uses existing area and zoom scans in combination with interpolation and extrapolation for generation of volumetric SAR data and is a rapid way of obtaining the multi-band SAR. It is always applicable.

- 1) At each frequency, calculate the volumetric SAR distribution over the region projected by the area scan. Different algorithms to accomplish this have been presented (e.g., [4], [9], [43], [54], [55], [56], [57]). The uncertainty of the method used must be well documented and shall be recorded.
- 2) Add the volumetric SAR distributions of all frequencies spatially, using interpolation according to 6.4.1 if necessary.
- 3) Use post processing procedures defined in 6.4 to determine the peak spatial-average SAR from the SAR distribution of step 2.

### 6.3.2.5 Alternative 4: Evaluation by volumetric scanning

This procedure is the most accurate way of assessing the multi-band SAR and is always applicable. As stated above, the SAR data are combined for each test condition (device position, channel, configuration and accessory) where two or more modes are intended to operate simultaneously (as per 6.2).

- 1) Determine a volumetric grid that encompasses the zoom scans at all frequencies  $f_1$ ,  $f_2$ , etc. measured previously (see Note).
- 2) At each frequency, measure the volumetric zoom scan found in step 1. This zoom scan measurement adheres to all of the requirements of 6.3.1 except for the size of the volume. The measurement is conducted with the transmission mode at that frequency turned on and the modes at the other frequencies turned off.
- 3) Add the SAR distributions obtained in step 2 spatially to obtain a summed SAR distribution. Calculate the maximum multi-band SAR from the summed distribution, using the post-processing procedures defined in 6.4 to determine the peak spatial-averaged SAR.

The tested device should be fixed on the phantom when the liquids are changed so that the summation of the SAR distributions is as accurate as possible. It is suggested that if the battery of the device needs to be recharged, the charger cable is attached to the DUT when it remains positioned on the phantom.

**NOTE** The encompassing volume in step 1 can be large (e.g., if the zoom scans at frequencies  $f_1$ ,  $f_2$ , etc. are far apart), resulting in long measurement times in step 2. An acceptable variation of step 1 is to choose zoom scan volumes for each frequency that correspond to the previously-measured zoom scans at the other frequencies. For step 2, this will result in SAR measurements at frequency  $f_1$  using separate zoom scans from frequencies  $f_2$ ,  $f_3$ , etc., then SAR measurements at frequency  $f_2$  using the zoom scans from frequencies  $f_1$ ,  $f_3$ , etc., and so on.

## 6.4 Post-processing

### 6.4.1 Interpolation

If the measurement grid is not as fine as required to compute the averaged SAR over a given mass, interpolation shall be carried out between the measurement points. Examples of interpolation schemes are given in Annex C of IEC 62209-1:2005 and uncertainty is evaluated according to Clause 7.

### 6.4.2 Probe offset extrapolation

The electric field probes used generally contain three orthogonal dipoles in close proximity and these dipoles are embedded in a protective tube. The measurement point is situated a few millimetres from the tip of the probe and this offset shall be taken into account when identifying the position of the measured SAR. Examples of extrapolation schemes are given in Annex C of IEC 62209-1:2005 and uncertainty is evaluated according to Clause 7.

### 6.4.3 Definition of averaging volume

The averaging volume shall be in the shape of a cube and the side dimension of a 1 g or 10 g mass. A density of 1 000 kg/m<sup>3</sup> shall be used to represent the body tissue density (do not use the phantom liquid density), in order to be consistent with the definition of the liquid dielectric

properties, i.e. the side length of the 1 g cube shall be 10 mm, the side length of the 10 g cube 21,5 mm.

When filled with liquid the outer bottom surface of the phantom may deviate from an ideal plane surface. Schemes for averaging over a cubic volume with regard to a curved shell are given in Annex C of IEC 62209-1:2005.

#### 6.4.4 Searching for the maxima

The cubic volumes shall be moved on the inner surface of the phantom, in the vicinity of the local maximum SAR, using the rules given in Annex C of IEC 62209-1:2005. The cube with the highest local maximum SAR shall not be at the edge of the scanning volume. If this is found to be the case, the scanning volume shall be shifted and the measurements shall be repeated.

### 7 Uncertainty estimation

#### 7.1 General considerations

##### 7.1.1 Concept of uncertainty estimation

The concept of uncertainty estimation in the measurement of the SAR values produced by wireless devices is based on the general rules provided by the ISO/IEC Guide 98-3:2008. Nevertheless, uncertainty estimation for complex measurements remains a difficult task and requires high-level and specialized engineering knowledge. In order to facilitate this task, guidelines and approximation formulas are provided in this clause, enabling the estimation of each individual uncertainty component. The uncertainty templates in Table 5, Table 6, and Table 7 are intended to address generic system uncertainty covering the entire frequency range of 30 MHz to 6 GHz and for any device under test. However, actual uncertainty component values and quantities generally will not remain the same throughout the frequency range of 30 MHz to 6 GHz, and uncertainties for partial frequency ranges must necessarily be adjusted accordingly. Use of standard template and standard uncertainty component values has the disadvantage that uncertainty may be overestimated in some cases, but advantages include usage of approximations and formulae as provided in this clause.

Manufacturers of SAR measurement systems shall specify the operational frequency of coverage in which the system has been designed to measure e.g., 450 MHz to 1 900 MHz. This will make it easier to determine variables to the quantities used within Table 5 which shall be updated with regards to fixed values for specific frequencies e.g., probe isotropy, boundary effect, probe positioner etc. In the event that measurements extend beyond the frequency scope as specified by a system manufacturer the onus will be on the user to determine quantities and the influence associated with uncertainty, and update the table accordingly. Where a series of values have been used to cover a broad frequency range (3 GHz to 6 GHz), additional documentation may be required detailing the estimation of each quantity, influence and methodology. Where a system employs a value of zero for a fixed quantity within the uncertainty table, strong technical justification shall be provided by either the system manufacturer or user.

##### 7.1.2 Type A and type B evaluations

Both type A and type B evaluations of the standard uncertainty shall be used. When a Type A analysis is performed, the standard uncertainty  $u_i$  shall be derived using the estimated standard deviation from statistical observations. When a type B analysis is performed,  $u_i$  comes from the upper  $a_+$  and lower  $a_-$  limits of the quantity in question, depending on the probability distribution function defining  $a = (a_+ - a_-)/2$ , then:

- rectangular distribution:  $u_i = a / \sqrt{3}$
- triangular distribution:  $u_i = a / \sqrt{6}$

- normal distribution:  $u_i = a/k$
- U-shaped (asymmetric) distribution:  $u_i = a/\sqrt{2}$

where

$a$  is the half-length of the interval set by limits of the influence quantity;

$k$  is a coverage factor;

$u_i$  is the standard uncertainty.

For  $n$  repeat measurements of the same specific device or quantity in the same test set-up, the standard deviation of the mean ( $= s/\sqrt{n}$ ) can be used for the standard uncertainty, where  $s$  is the standard deviation obtained from a larger set of previous readings for the same test conditions. Predetermined standard deviations based on a larger number of repeat tests can be used to estimate uncertainty components in cases where the system, method, configuration and conditions, etc., are representative of the specific device test. Predetermination does not include the contributions of the particular DUT. For a specific device, the value of  $n$  used for the standard deviation of the mean is the number of tests with the specific device, not the tests used in the predetermination.

### 7.1.3 Degrees of freedom and coverage factor

When the degrees of freedom are less than 30, a coverage factor of two is not the appropriate multiplier to be used to achieve a 95 % confidence level. A simple but only approximately correct method is to use  $t$  in place of the coverage factor  $k$ , where  $t$  is the Student's- $t$  factor. Standard deviations of  $t$ -distributions are narrower than normal (Gaussian) distributions, but the curves approach the Gaussian shape for large numbers of degrees of freedom. The degrees of freedom for most standard uncertainties based on type B evaluations can be assumed to be infinite. Then the effective degrees of freedom of the combined standard uncertainty,  $u_c$ , will most strongly depend on the degrees of freedom of the type A contributions and their magnitude relative to the type B contributions.

The coverage factor ( $k_p$ ) for small sample populations should be determined as

$$k_p = t_p(\nu_{\text{eff}}),$$

where

$k_p$  is the coverage factor for a given probability;

$t_p(\nu_{\text{eff}})$  is the  $t$ -distribution;

$\nu_{\text{eff}}$  is the effective degrees of freedom estimated using the Welch-Satterthwaite

$$\text{formula: } \nu_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^m \frac{c_i^4 u_i^4}{\nu_i}}.$$

The subscript  $p$  refers to the approximate confidence level, e.g., 95 %. Tabulated values of  $t_p(\nu_{\text{eff}})$  are available, for example in [61].

EXAMPLE Assume that the combined standard uncertainty calculated from all the influence quantities in Table 5 with an assumed positioning uncertainty of 7 % is  $u_c = 14,5$  %. Assume also that the number of samples or tests is equal to 5, so  $\nu_i = 4$  (number of samples or tests equal to 5), and the degrees of freedom for all of the other

components are  $\nu_i = \infty$ . From the equation  $\nu_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^m \frac{c_i^4 u_i^4}{\nu_i}}$ , the effective degrees of freedom for the combined

standard uncertainty is  $\nu_{\text{eff}} = 74$ , so  $k = 2$  does apply in this case, and the expanded uncertainty is  $U = 29$  %. If the standard uncertainty for positioning variations goes to 9 % and the number of tests is reduced to 4 ( $\nu_i = 3$ ), then  $u_c = 15,6$  %,  $\nu_{\text{eff}} = 27$ ,  $k = k_p = k_{95} = t = t_{95} = 2,11$ , and the expanded uncertainty becomes  $U = 2,11 \times 15,6 = 32,9$  %.

## 7.2 Components contributing to uncertainty

### 7.2.1 General

Each component contributing to uncertainty that is frequency-dependent shall be evaluated in the frequency band where SAR assessment is performed. For frequency spread operational modes, the uncertainty contribution is the highest value found within the considered bandwidth.

### 7.2.2 Contribution of the measurement system (probe and associated electronics)

#### 7.2.2.1 Probe calibration uncertainty

The calibration uncertainty of an E-field probe is estimated with the procedures described in Annex B of IEC 62209-1:2005 for temperature and waveguide calibration techniques. The uncertainty in the sensitivity shall be estimated assuming a normal probability distribution.

#### 7.2.2.2 Probe isotropy uncertainty

E-field probe isotropy is a measure of the deviation in probe response to arbitrary field polarization. In general, fields emitted by a DUT are of arbitrary polarization. However, the fields induced in the tissue-equivalent liquid have a predominant polarization component parallel to the surface, due to the physics of the absorption mechanism [74]. When the probe orientation is essentially normal to the phantom surface during the measurement (within  $\pm 5^\circ$ ), the isotropy uncertainty is calculated as:

$$SAR_{\text{uncertainty}} [\%] = \sqrt{0,5 \times dev\_isotropy_{\text{axial}} [\%]^2 + 0,5 \times dev\_isotropy_{\text{hemispherical}} [\%]^2}$$

where

$dev\_isotropy_{\text{hemispherical}} [\%]$  is the maximum deviation (%) from the isotropic response assessed for  $\Phi: \pm 180^\circ$ ,  $\theta > \pm 60^\circ$  ;

$dev\_isotropy_{\text{axial}} [\%]$  is the maximum deviation (%) from the isotropic response assessed for  $\Phi: \pm 180^\circ$ ,  $\theta = 0^\circ$  ;

$\Phi$  is the rotation around probe axis;

$\theta$  is the rotation around the normal of the probe axis.

The uncertainty posed by the isotropy deviation can be rather high and depends on manufacturing details, i.e. it needs to be assessed for each probe individually.

This deviation is assessed with the method described in Annex B of IEC 62209-1:2005.

A rectangular probability distribution has been assumed for probe isotropy uncertainty in Table 5.

#### 7.2.2.3 Probe linearity uncertainty

Diode detectors are generally non-linear with amplitude and non-symmetric with respect to the response to time-varying fields, i.e. its response is non-linear with respect to field strength and modulation. The uncertainty with respect to true mean power detector needs to be determined by the procedure described in the following:

The setup can be equivalent with one described in IEC 62209-1:2005, Annex B. Since the effects are only functions of the sensor element (diode, sensor, line) and not functions of the surrounding media, the deviation from mean power response can be determined in any medium including air.

An uncertainty factor shall be assessed for CW signals. Uncertainty shall also be assessed for pulsed signals at 10 % duty factor and 11 Hz pulse repetition rate, and 4 % duty factor with a repetition rate of 1 000 Hz at the lowest and highest applicable frequency used in TDMA systems.

For modulations other than CW (including CDMA) and TDMA, the deviation from linearity shall be assessed separately.

E-field sensor linearity uncertainty is assessed using the procedures described in Annex B of IEC 62209-1:2005 according to the square of the measured E-field strength magnitude. The maximum deviation from the mean power response is assessed for the equivalent mean power SAR range from 0,01 W/kg to 100 W/kg in steps of 3 dB or less. The range is expected to occur in the cubical volume for testing compliance in the range of 0,4 W/kg to 10 W/kg.

$$SAR_{\text{uncertainty}} [\%] = \left| 100 \left( \frac{SAR_{\text{eval}}}{SAR_{\text{ref}}} - 1 \right) \right|_{\text{max}} \quad \text{for } 0,01 \frac{\text{W}}{\text{kg}} \leq SAR_{\text{ref}}^{\text{rms}} \leq 100 \frac{\text{W}}{\text{kg}}; \text{modulation (CW, pulsed, system modulation)}$$

where

$SAR_{\text{eval}}$  is the measured SAR value;

$SAR_{\text{ref}}$  is the reference SAR value as determined by average power meters.

The uncertainty posed by the non-linear response can be rather high and depends on the various probe components, i.e. it needs to be determined for each probe individually. If the uncertainty has not been established for the particular probe an uncertainty of 200 % shall be used. A rectangular probability distribution has been assumed for probe linearity uncertainty in Table 5.

#### 7.2.2.4 Probe modulation response uncertainty

The response to modulated signals of probes based on diode-detectors can be complex since the diodes are greatly non-linear elements. The diode response theories were reported in [40] and [50]. The linearization parameters for a particular modulation can be determined by two methods: 1) numerically determined based on the modulation envelope and the electrical characteristics of the diode and the other sensor elements (must be determined experimentally) or 2) by relative experimental calibration, i.e., power-sweep at that particular modulation. These parameters must be determined for each sensor separately. For constant envelope pulsed signals (GSM, GMSK, Bluetooth, DECT), the parameters of the compensation function are reduced to one parameter for some probes, namely the crest factor.

The uncertainty can be determined by using any source (e.g., waveguide or dipole) with a setup equal to or equivalent to the setup described in Figure B.1. The signal generation setup shall simulate the modulation for which the uncertainty is determined according to the specification of the communication system standard. The power should be increased for probe sensor voltage equivalent to smaller than 100 mW/kg to the equivalent of larger than 10 W/kg for the investigated sensor in 5 dB steps. At each power level, the SAR should be measured with the modulated signal and with CW at the same mean power (verification that the power meter is a true mean power detector and the amplifier is sufficient linear for the entire dynamic of the signal is required). This procedure must be repeated for each field sensor.

The equation below can be used to derive the modulation uncertainty for the particular modulation  $X$ .

$$\text{SAR}_{\text{mod } X_{\text{uncertainty } y}}[\%] = \text{MAX}_{i = \{x,y,z\}} \left( \text{MAX}_{P_i = P_0}^{P_0 + 20 \text{ dB}} \left( 100 \times \left| \frac{\text{SAR}(P_i)_{\text{mod } X_i}}{\text{SAR}(P_i)_{\text{CW}_i}} - 1 \right| \right) \right)$$

where

- $\text{SAR}_{\text{mod } X_{\text{uncertainty } y}}$  is the uncertainty for the particular modulation  $X$  in percent;  
 $\text{SAR}(P_i)_{\text{mod } X_i}$  is the SAR measured with the modulated signal at a mean power;  
 $\text{SAR}(P_i)_{\text{CW}_i}$  is the SAR measured with CW at the same mean power.

The SAR uncertainty is determined as the maximum of all  $\text{SAR}_{\text{mod } X}$  at each step for all three sensors. A rectangular probability distribution has been assumed for probe modulation response uncertainty in Table 5.

### 7.2.2.5 Probe sensitivity and detection limits

Field-probe sensitivity and system detection limit uncertainties may arise when the measured field strength is too close to the detection limit of the probe and associated system instrumentation. The setup to be used is described in IEC 62209-1:2005, Annex B. This uncertainty should be assessed with a CW signal and a pulsed signal corresponding to the minimum duty factor allowed or specified for the SAR test system. The CW and pulsed signals should produce approximately 0,1 W/kg, 2,0 W/kg, and 10,0 W/kg of time-averaged SAR for this evaluation. For example, at 10 % duty factor 10 W/kg would correspond to the maximum peak SAR of 100 W/kg specified by the protocols in this standard. The SAR level of 0,1 W/kg is chosen to provide a sufficient signal-to-noise ratio for this evaluation, which corresponds to 1,0 W/kg at 10 % duty factor. This level is also chosen because SAR levels less than 0,1 W/kg typically have negligible contribution to the peak spatial-average SAR. This range of SAR levels should cover the peak-to-average power ratio and signalling requirements of the typical DUTs operating in FDMA, TDMA, and CDMA modes. For devices that operate at less than 10 % duty factors, such as the DECT system, the evaluation shall be modified accordingly to cover that operating range. The uncertainty due to detection limits shall be evaluated assuming it has a rectangular probability distribution.

### 7.2.2.6 Boundary effect uncertainty

In some cases, the probe may need to be used to measure closer than the radius  $r_p$  of the probe tip, in order to reduce interpolation and extrapolation uncertainties. Then boundary effect uncertainty should be assessed preferably using the waveguide system described in IEC 62209-1:2005, Annex B. Alternatively, the temperature method could be used. The method below is valid assuming the angle between the probe axis and the surface normal line is smaller than 5°. Since the boundary effect is a characteristic of a specific probe, it should be determined during the probe calibration (i.e. according to  $r_p$  value of the probe). If algorithms are applied to compensate for the boundary effect, then the SAR uncertainty should be determined with the same evaluation hardware and software as is used for performing the SAR measurements. The boundary effect uncertainty can be estimated according to the following uncertainty approximation formula based on linear and exponential extrapolations between the surface and  $d_{\text{be}} + d_{\text{step}}$  along lines that are approximately normal to the surface:

$$\text{SAR}_{\text{uncertainty}}[\%] = \Delta \text{SAR}_{\text{be}}[\%] \frac{(d_{\text{be}} + d_{\text{step}})^2}{2d_{\text{step}}} \frac{(e^{-d_{\text{be}}/(\delta/2)})}{\delta/2}$$

$$\text{for } (d_{\text{be}} + d_{\text{step}}) < 10 \text{ mm and } f \leq 3 \text{ GHz}$$

$$\text{SAR}_{\text{uncertainty}}[\%] = \Delta \text{SAR}_{\text{be}}[\%] \frac{\delta}{\delta - d_{\text{be}}}$$

$$\text{for } d_{\text{be}} < \delta \text{ and } f > 3 \text{ GHz}$$

where

|                            |                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $SAR_{\text{uncertainty}}$ | is the uncertainty in percent of the probe boundary effect;                                                                                                                                          |
| $d_{\text{be}}$            | is the distance between the surface and the closest measurement point used in the averaging process in millimetres;                                                                                  |
| $d_{\text{step}}$          | is the separation distance between first and second measurement points from the surface, in millimetres, provided that boundary effect uncertainties at the second measurement point are negligible; |
| $\delta$                   | is the minimum penetration depth in millimetres of the tissue-equivalent liquids (see Table 1), i.e. $\delta = 6$ mm at 6 GHz;                                                                       |
| $\Delta SAR_{\text{be}}$   | is the deviation between the measured SAR value at the distance $d_{\text{be}}$ from the boundary and the waveguide analytical value or value assessed by temperature probe $SAR_{\text{ref}}$ .     |

If the probe diameter exceeds one third of the wavelength (in the medium), the boundary effect is large ( $\gg 1$  dB) and accurate measurements are difficult to obtain. The condition that the boundary effect is negligible at the second measurement point might be violated as well. In these cases, a default uncertainty for the boundary effect of 50 % shall be used (Annex M).

In case the angle between probe axis and normal vector of the surface is larger than  $5^\circ$ ,  $\Delta SAR_{\text{be}}$  shall be assessed by the following steps using the setup defined in B.3 for the test frequency:

- Step 1: Perform an area scan and move to the interpolated maximum (all measurements in steps 2 to 8 are taken on a line normal to the surface that includes this interpolated maximum).
- Step 2: Perform a z-scan in which all points correspond to the grid points in the z-direction of the volume scan. These values will represent the reference values. The reference values shall be compared to the numerical values and shall be documented and not deviate more than the uncertainty for the system validation.
- Step 3: Rotate the inclination of the probe angle by  $10^\circ$  (the maximum angle of  $5^\circ$  plus  $5^\circ$ ).
- Step 4: Rotate the axial rotation to  $0^\circ$ .
- Step 5: Perform a z-scan and assess the deviation in comparison to the reference values for the first measurement point.
- Step 6: Rotate the probe around the axis in  $15^\circ$  steps until the rotation is less than  $360^\circ$  and repeat steps 4 to 6.
- Step 7: Rotate the inclination of the probe angle by  $5^\circ$  until the rotation is less than the maximum inclination achieved during the measurements and repeat steps 4 to 7.
- Step 8: Report all values. The maximum deviation recorded in Step 5 is the maximum boundary uncertainty  $\Delta SAR_{\text{be}}$  to be used in the above equations.

A rectangular probability distribution has been assumed for the boundary effect uncertainty in Table 5.

#### 7.2.2.7 Uncertainty of readout electronics

The uncertainty components of the field probe readout electronics include amplification, linearity, loading of the probe and evaluation algorithm uncertainties, etc. The expected ranges of these uncertainty components can be generally assessed by using simulated terminations in place of the field probes and the use of manufacturer specifications for the electronic components. The root sum squared value of the uncertainty components shall then be used to get the overall readout electronics uncertainty. A normal probability distribution has been assumed for the readout electronics uncertainty in Table 5.

### 7.2.2.8 Response time

The probe shall be exposed to a well-defined electric field producing at least 2 W/kg near the surface of phantom and the tissue-equivalent liquid. The signal response time is evaluated as the time required by the measurement equipment (probe and readout electronics) to reach 90 % of the expected final value after a step variation or switch on/off of the power source. The SAR uncertainty resulting from this response time may be neglected if the probe is spatially stationary for a period of time greater than twice the response time before a SAR value is measured. In this case, enter a zero in column c of Table 5. If the probe is not spatially stationary for twice the response time or more, enter the actual uncertainty of the response time in column c of Table 5. A rectangular probability distribution has been assumed for the response time uncertainty in Table 5.

### 7.2.2.9 Integration time

Probe integration-time uncertainties may arise when test devices do not emit a continuous signal, such as the digital modulations used in some DUTs. When the integration time and discrete sampling intervals used in the probe electronics are not synchronized with the modulation characteristics of the measured signal, the RF energy at each measurement location may not be fully or correctly captured. This uncertainty shall be evaluated according to the signal characteristics of the test device prior to the SAR measurement.

For signals with amplitude or pulse modulation components and a periodicity greater than 1 % of the probe integration time, additional SAR uncertainties shall be considered when the probe integration time is not an exact multiple of the longest periodicity  $T$ . The uncertainty should be assessed according to the maximum uncertainty expected for unsynchronized probe integration time with an assumed rectangular probability distribution. For a signal with an envelope  $s(t)$ , the average signal read by the probe during the integration time  $t_{\text{int}}$  starting from time  $t_0$  is given by  $s_{\text{int}}(t_0, t_{\text{int}})$  in:

$$s_{\text{int}}(t_0, t_{\text{int}}) = \frac{1}{t_{\text{int}}} \int_{t_0}^{t_0 + t_{\text{int}}} s(t) dt \quad 0 \leq t_0 \leq T$$

$s_{\text{int}}$  assumes that the filtering of the probe does not alter the signal envelope  $s(t)$ . If  $t_0$  is not synchronized with the longest period  $T$  of  $s(t)$ , the probe integration-time uncertainty can be defined as shown in:

$$\text{SAR}_{\text{uncertainty\_a}} [\%] = 100 \times \frac{\max(s_{\text{int}}(t_0, t_{\text{int}})) - \min(s_{\text{int}}(t_0, t_{\text{int}}))}{2 \times s_{\text{int}}(0, T)}$$

where

|                                             |                                                                                       |
|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| $\text{SAR}_{\text{uncertainty\_a}}$        | is the uncertainty for the integration time in percent;                               |
| $\max(s_{\text{int}}(t_0, t_{\text{int}}))$ | are the maximum of any interval $(t_0, t_{\text{int}})$ between $0 \leq t_0 \leq T$ ; |
| $\min(s_{\text{int}}(t_0, t_{\text{int}}))$ | are the minimum of any interval $(t_0, t_{\text{int}})$ between $0 \leq t_0 \leq T$ . |

$\text{SAR}_{\text{uncertainty\_a}}$  can be used to derive the probe integration-time uncertainty of any signal. A simple alternative formula for the uncertainty for a TDMA signal is provided in:

$$\text{SAR}_{\text{uncertainty\_b}} [\%] = 100 \times \sum_{\text{all sub-frames}} \frac{t_{\text{frame}}}{t_{\text{int}}} \frac{\text{slot}_{\text{idle}}}{\text{slot}_{\text{total}}} \quad \text{for } t_{\text{int}} > t_{\text{frame}},$$

where

|                              |                                                         |
|------------------------------|---------------------------------------------------------|
| $SAR_{\text{uncertainty}_b}$ | is the uncertainty for the integration time in percent; |
| $t_{\text{frame}}$           | is the frame duration;                                  |
| $t_{\text{int}}$             | is the integration time;                                |
| $slot_{\text{idle}}$         | is the number of idle slots in a frame;                 |
| $slot_{\text{total}}$        | is the total number of slots in a frame.                |

In the above equation, it is implied that a TDMA signal may be comprised of multiple frame layers. For example, the basic sub-frame for GSM systems has a duration  $t_{\text{sub-frame}} = 4,6$  ms, with 7 idle slots in an 8-slot sub-frame, while the whole 26-slot frame duration is  $t_{\text{frame}} = 120$  ms, including 1 idle sub-frame slot.

$SAR_{\text{uncertainty}_b}$  is an approximation that typically overestimates the uncertainty. Here  $slot_{\text{idle}}$  is the number of idle slots in a frame with  $slot_{\text{total}}$  being the total number of slots. The frame duration is  $t_{\text{frame}}$ , with  $t_{\text{frame}} < t_{\text{int}}$ . The total probe integration-time uncertainty is the sum of the uncertainties for all sub-frames in the frame structure that have idle slots. For example, for a probe integration time of 0,2 s, the uncertainty is estimated to be  $s_{\text{int}}$  and  $SAR_{\text{uncertainty}_a}$ . For US TDMA (IS-136),  $t_{\text{frame}} = 20$  ms, with 2 idle slots in a 3-slot frame, and no multiframes. For a probe integration time of 0,2 s,  $SAR_{\text{uncertainty}_b}$  gives an uncertainty of 6,67 %, whereas the true uncertainty derived using  $s_{\text{int}}$  and  $SAR_{\text{uncertainty}_a}$  is 0 % (the integration time is an exact multiple of the frame time). GPRS is the same as GSM, except that the number of idle slots can be 6, 5, ..., where 7 idle slots is the worst case.

Enter this value in the uncertainty table, whereby a rectangular distribution can be assumed. FDMA and CDMA devices are tested with continuous or CW-equivalent signals; therefore, an uncertainty value of zero should be entered.

#### 7.2.2.10 Measured SAR drift

If the measured SAR drift is within 5 %, then it can be treated either as an uncertainty (i.e. random error) or a bias. If treated as an uncertainty, the drift shall be recorded in the uncertainty table. If treated as a bias, a correction shall be applied to the measured SAR value (6.3.1); in this case, it is not necessary to record the drift in the uncertainty budget (i.e.  $u_i = 0$  %).

Measured SAR drift is dynamic to the device under test during the evaluation for SAR and derived as a method to ensure stable power is applied to the device throughout the measurement process. This means that uncertainty shall be established. A standard uncertainty value of 5 % is included in Table 5 to cover the measured SAR drift. The 5 % tolerance can be updated to reflect a different value by utilizing one of two methods.

- As the preferred method, dynamic SAR (single point) measurements shall be made by the SAR measurement system within the tissue at a user defined point prior to the area scan being conducted. A secondary measurement shall be made by the system at the user defined point after completion of the SAR value. The difference between the measured SAR values can then be dynamically applied to Table 5 for measurement uncertainty.
- Alternatively and if the preferred method in a) is not sensitive enough, conducted measurements can be made on the device at the antenna port using equipment capable of measuring RF power prior to device placement for SAR test. The user shall repeat the conducted RF power measurement after the SAR test has completed. The difference between the conducted RF power measurements can be assessed and used as an updated tolerance in Table 5.

A rectangular probability distribution has been assumed for the measured SAR drift uncertainty in Table 5 (labelled Drift of Output Power).

### 7.2.3 Contribution of mechanical constraints

#### 7.2.3.1 Scanning system

The mechanical restrictions of the field probe positioner can introduce deviations in the accuracy and repeatability of probe positioning which add to the uncertainty of the measured SAR. The uncertainty may be estimated with respect to the specifications of the probe positioner relative to the position required by the actual measurement location defined by the geometrical centre of the field probe sensors and is expressed as maximum deviation  $d_{ss}$ . By assuming a rectangular probability distribution, the peak spatial-average SAR uncertainty contributions due to mechanical restrictions of the probe positioner,  $d_{ss}$ , may be calculated using a first-order uncertainty approximation:

$$SAR_{\text{uncertainty}} [\%] = \frac{d_{ss}}{\delta/2} \times 100$$

where

- $SAR_{\text{uncertainty}}$  is the uncertainty in percent;
- $d_{ss}$  is the maximum position uncertainty between the calculated position of the centre of the probe sensors and the actual position with respect to a reference point defined by the system manufacturer;
- $\delta$  is the minimum penetration depth in millimetre of the tissue-equivalent liquid for the frequency range studied, e.g.,  $\delta \approx 6$  mm at 6 GHz.

If the manufacturer of the positioner does not specify the mechanical restrictions of the probe positioner, this shall be evaluated to determine the contribution to SAR measurement uncertainty. This can be simply performed by evaluating the relative accuracy of movement in the area of the coarse scan and converting differences in positions specified by the software to that actually achieved into an uncertainty. The SAR uncertainty shall be entered in column c of Table 5 using an assumed rectangular distribution.

#### 7.2.3.2 Phantom shell uncertainty

The uncertainty as a function of the tolerance of the phantom shell is assessed according to a conservatively strong dependence on distance, i.e. dependence on the square of the distance and assuming a distance of  $a = 5$  mm between the body tissue-equivalent liquid and the location of the equivalent filament current density (the equivalent current density does not correspond to the closest current source but to the current density approximating the local H-field distributions).

$$SAR_{\text{uncertainty}} [\%] = \sqrt{\left(100 \times \left(\frac{(a + d + b/2s)^2}{a^2} - 1\right)\right)^2 + \left(5|\epsilon_{r_{\text{shell}}} - 4|\right)^2}$$

for  $3 \leq \epsilon_{r_{\text{shell}}} \leq 5$ , for  $f > 3$  GHz

$$SAR_{\text{uncertainty}} [\%] = 100 \times \left(\frac{(a + d + b/2s)^2}{a^2} - 1\right)$$

for  $f \leq 3$  GHz

where

- $SAR_{\text{uncertainty}}$  is the uncertainty in percent;
- $a$  is the distance between the body tissue-equivalent liquid and the position of the equivalent filament current density;
- $b$  is the maximum extension of the device including antenna and accessories under test; alternatively  $b$  is the distance between the

|                                                 |                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                 | centre of the phantom and the centre of the evaluated cube of the zoom scan;                                                                                                        |
| $d$                                             | is the maximum tolerance of the shell thickness and phantom shape;                                                                                                                  |
| $s$                                             | is the maximum sagging of the shell in % per distance;                                                                                                                              |
| $5 \times  \varepsilon_{r_{\text{shell}}} - 4 $ | is the absolute value of the actual permittivity of the shell minus the norm permittivity of 4 multiplied with the uncertainty of 5 % assessed when the permittivity deviates by 1. |

Beside distance tolerance and sagging, the uncertainty due to the tolerance of the relative permittivity ( $\varepsilon_r = 4 \pm 1$ ) of the shell shall also be considered, which is  $\pm 5$  %.

Enter the uncertainty value (rectangular distribution) in the corresponding row of the uncertainty table.

### 7.2.3.3 Probe position with respect to phantom shell surface

The uncertainty of the probe positioner with respect to the phantom shell  $d_{\text{ph}}$  shall be estimated. By assuming a rectangular probability distribution, the peak spatial-average SAR uncertainty contribution is calculated using a first-order error approximation:

$$\text{SAR}_{\text{uncertainty}} [\%] = \frac{d_{\text{ph}}}{\delta/2} \times 100$$

where

|                                   |                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\text{SAR}_{\text{uncertainty}}$ | is the uncertainty in percent;                                                                                                                                                       |
| $d_{\text{ph}}$                   | is the maximum uncertainty for determining the distance between probe tip and phantom shell, i.e. the uncertainty of determining the phantom location with respect to the probe tip; |
| $\delta$                          | is the minimum penetration depth in millimetres of the tissue-equivalent liquid for the frequency range studied.                                                                     |

The SAR uncertainty shall be entered in column c of Table 5 in the uncertainty table, assuming a rectangular distribution.

### 7.2.3.4 Device positioning and holders uncertainties

#### 7.2.3.4.1 General

A device holder is used to maintain the test position of a DUT against the phantom during a SAR measurement. Because a device holder may influence the characteristics of a DUT, the SAR uncertainty due to device holder perturbation shall be estimated using the procedures in 7.2.3.4.2. Procedures for SAR uncertainties due to positioning variations resulting from mechanical tolerances of the device holder are discussed in 7.2.3.4.3. Both subclauses include procedures for device-specific and predetermined uncertainties. If predetermined uncertainties are used, in most cases multiple repeats of device-specific tests can be done to reduce the predetermined standard deviations further.

#### 7.2.3.4.2 Device holder perturbation uncertainty

##### 7.2.3.4.2.1 General

The device holder shall be made of low-loss dielectric material with a relative permittivity of less than 5 and loss tangent of less than 0,05 (these material parameters can be determined for example using the coaxial contact probe method). Nevertheless, some holders may still affect the source, so the uncertainty resulting from the holder (i.e. the deviation from a set-up without the holder) should be estimated. The uncertainty for a specific test device should be estimated according to the method described in 7.2.3.4.2.2, which is a type B method. The

method described in 7.2.3.4.2.3 provides a type A method to assess the uncertainty for a group of DUTs having similar SAR characteristics and tested with the same device holder.

The SAR uncertainty to be used in Table 5 is:

$$\text{SAR}_{\text{uncertainty}} [\%] = \left( \frac{\text{SAR}_{\text{w/ holder}} - \text{SAR}_{\text{w/o holder}}}{\text{SAR}_{\text{w/o holder}}} \right) \times 100$$

where

$\text{SAR}_{\text{uncertainty}}$  is the uncertainty in percent;

$\text{SAR}_{\text{w/ holder}}$  is the SAR with device holder in watts per kilogram;

$\text{SAR}_{\text{w/o holder}}$  is the SAR without device holder in watts per kilogram.

#### 7.2.3.4.2.2 Device holder perturbation uncertainty for a specific test device: type B

The uncertainty for a specific DUT operating in a specific configuration shall be estimated by performing the following two tests using a flat phantom:

- evaluation of the peak spatial-averaged SAR ( $\text{SAR}_{\text{w/ holder}}$ ) by placing the device in the holder in the same way it would be held when tested against the body, then positioning the DUT in direct contact with a flat phantom (horizontal and vertical centre line of the DUT parallel to the bottom of the flat phantom);
- evaluation of the peak spatial-average SAR ( $\text{SAR}_{\text{w/o holder}}$ ) by placing the device in the same position but held in place using foamed polystyrene or equivalent low-loss and non-reflective material (permittivity no greater than 1,2 and loss tangent no greater than  $10^{-5}$ ).

This uncertainty has an assumed rectangular probability distribution and  $\nu_1 = \infty$  degrees of freedom.

#### 7.2.3.4.2.3 Device holder perturbation uncertainty for specific types of devices: type A

A type A uncertainty analysis can be applied for a group of DUTs having similar shapes and SAR distributions. The uncertainty arising from this analysis can apply to other DUTs having similar SAR characteristics and tested with the same device holder, such that the specific tests described in 7.2.3.4.2.2 can be avoided. The effect of the device holder for  $N$  different models of DUTs in the different configurations shall be estimated by performing the tests of 7.2.3.4.2.2 for each model ( $N$  shall be at least 6), where for each configuration.

The corresponding uncertainty for Table 5 shall be estimated by using the root-mean-square of the individual uncertainties, with degrees of freedom of  $\nu_1 = N - 1$ .

#### 7.2.3.4.3 Evaluation of device positioning uncertainty with respect to phantom

##### 7.2.3.4.3.1 General

The DUT test positions established by a single test operator using a device holder may deviate from the exact positions described in 6.1. SAR uncertainties due to device positioning deviations may vary by DUT design and the procedures used by a specific holder or test operator, and these effects are usually inseparable. The procedures of 7.2.3.4.3.2 may be used to evaluate an individual DUT design. Subclause 7.2.3.4.3.3 describes the procedures that may apply for evaluating a specific series or group of DUT designs that have the same shape and substantially equivalent dimensions and were tested using the same device holder. Unless these requirements are satisfied, the procedures in 7.2.3.4.3.2 should be used to evaluate each individual device. If a predetermined standard deviation for a specific device holder derived from testing a specific group of DUTs is applicable, an individual device may not require 7.2.3.4.3.2 repeat testing.

#### 7.2.3.4.3.2 Positioning uncertainty of a specific DUT in a specific device holder

The positioning uncertainty of a specific DUT tested in a specific device holder is assessed by repeat measurements of the 1 g or 10 g SAR. This positioning uncertainty should be evaluated using the antenna position, frequency channel, and device position for the operational mode (see 6.3) that produced the highest SAR among all frequency bands. In addition to the original SAR measurement, the DUT should be repositioned and the tests repeated at least four times. This minimum of five tests should be sufficient to establish a reasonable value for the degrees of freedom. If the positioning uncertainty of an individual device is suspected to be large, more tests may need to be performed to reduce the impact on the total measurement uncertainty. Increasing the number of tests will increase the effective degrees of freedom ( $\nu_{\text{eff}}$ ) and decrease the coverage factor. The average SAR for the total number of measurements ( $N$ ) is used to determine the SAR uncertainty according to the standard deviation and degrees of freedom ( $\nu_1 = N - 1$ ) of the number of tests performed.

#### 7.2.3.4.3.3 Positioning uncertainty of specific types of DUTs in a specific device holder

The positioning uncertainty for a specific group of DUT with predominantly the same shape and substantially equivalent dimensions tested with a specific device holder may be assessed using the following procedures. The tests should include at least six devices, each evaluated according to the procedures of 7.2.3.4.3.2 (5 tests each). When a DUT has the same shape, and substantially equivalent dimensions and SAR distribution characteristics, so as to satisfy the requirements of the specific group of devices tested using a specific holder, the device positioning uncertainty for this selected group of devices may be used in lieu of performing the tests described in 7.2.3.4.3.2 for that particular DUT (predetermination). The SAR uncertainty is reported in the corresponding row and column of Table 5 according to the mean power of the uncertainties determined for each device from the procedures in 7.2.3.4.3.2. The degrees of freedom ( $\nu_1$ ) are determined according to the number of tests ( $N$ ) performed for the  $M$  devices included in the specific group of DUTs, with  $\nu_1 = (N \times M) - 1$ .

### 7.2.4 Contribution of physical parameters

#### 7.2.4.1 General

Details of dielectric parameter test methods are given in Annex J of IEC 62209-1:2005, and uncertainty estimation methods are given in Annex J.7 of IEC 62209-1:2005. Annex I provides parameters for the frequency band 30 MHz to 6 GHz.

NOTE In accordance with usual metrological practices, the measurement uncertainty for each of the dielectric parameters is recommended to be less than or equal to the allowable variations from the target values of the measured dielectric parameters.

#### 7.2.4.2 Liquid density

The tissue-equivalent liquids are assumed to have a density of 1 000 kg/m<sup>3</sup>. This density value shall be used for SAR evaluations without any uncertainty associated with it.

#### 7.2.4.3 Liquid permittivity and conductivity

The uncertainty due to the liquid permittivity and conductivity arises from two different sources. The first source of uncertainty is from the use of the SAR correction for dielectric parameters within an allowable variation of  $\pm 10\%$  from the Table 1 target value (see Annex F). The second source of uncertainty arises from the measurement procedures used to assess permittivity and conductivity which is described in this section.

The dielectric property measurement procedures use vector network analyzers. Network analyzers require calibration in order to account for and remove inherent losses and reflections. The uncertainty budget for dielectric measurement derives from inaccuracies in the calibration data, analyzer drift, and random errors. Other possible sources of errors are the tolerances on the sample holder hardware and deviations from the optimal dimensions for

the specified frequencies. This applies regardless of the type of sample holder and the nature of the scattering parameters being measured.

Uncertainties due to the straight-line fit in the slotted-line method can be evaluated using a least-squares analysis.

**Table 2 – Example uncertainty template and example numerical values for relative permittivity ( $\epsilon'_r$ ) and conductivity ( $\sigma$ ) measurement; separate tables may be needed for each  $\epsilon'_r$  and  $\sigma$**

|                                                                                      |                                                                     | <i>a</i>           |                             | <i>b</i>   | <i>c</i> | <i>d</i><br>$u_i = (a/b) \times (c)$ | <i>e</i>                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------|------------|----------|--------------------------------------|------------------------------|
|                                                                                      | Uncertainty component                                               | Tolerance<br>(± %) | Probability<br>distribution | Divisor    | $c_i$    | Standard<br>uncertainty<br>(± %)     | $v_i$ or<br>$v_{\text{eff}}$ |
| 1                                                                                    | Repeatability of $\epsilon'_r$ or $\sigma$<br>( <i>N</i> repeats)   | 5,2                | N                           | 1          | 1        | 5,20                                 | 4                            |
| 2                                                                                    | Deviation from reference<br>liquid target $\epsilon'_r$ or $\sigma$ | 3,0                | R                           | $\sqrt{3}$ | 1        | 1,73                                 | 4                            |
| 3                                                                                    | Network analyzer-drift,<br>linearity, etc.                          | 0,5                | R                           | $\sqrt{3}$ | 1        | 0,29                                 | $\infty$                     |
| 4                                                                                    | Test-port cable variations                                          | 0,5                | U                           | $\sqrt{2}$ | 1        | 0,35                                 | $\infty$                     |
| 5                                                                                    | Combined standard<br>uncertainty                                    |                    |                             |            |          | 5,50                                 | 5                            |
| NOTE Row headings 1 to 5 and column headings <i>a</i> to <i>d</i> are for reference. |                                                                     |                    |                             |            |          |                                      |                              |

An example uncertainty template is shown in Table 2. All influence quantities may or may not apply to a specific test setup or procedure, and other components not listed may be relevant in some test setups. Other possible influence quantities not included in Table 2 may need to be considered, such as sample-to-probe air gaps/bubbles, frequency interpolations, sensor dimensional/positioning considerations, numerical analysis/data extraction artifacts, coaxial probe finite flange effects, etc. Table 2 also includes example numeric values. Depending on the test setup, actual uncertainty estimates may and should differ from the values shown here. Measurement of well-characterized reference materials can be used to estimate the dielectric property measurement uncertainty ([83], [84], [85], [86]) as described in the following procedure.

- Configure and calibrate the network analyzer in a frequency span large enough around the center frequency of interest, for example 835 MHz ± 100 MHz at five or more frequencies within the device transmission band.
- Measure a reference material at least *n* times to obtain the average and standard deviation for the relative permittivity and conductivity at each device centre band and nearby frequencies.
- For each of the test runs from step b) perform steps d) to h).
- Calculate the repeatability as the sample standard deviation divided by the mean value. For the permittivity, this is given as:

$$\text{Repeatability (\%)} = 100 \times \frac{1}{\bar{\epsilon}'_r} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\epsilon'_{r,i} - \bar{\epsilon}'_r)^2}$$

where the mean value is

$$\overline{\varepsilon'_r} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varepsilon'_{r,i}$$

Do the same for the conductivity.

- e) Enter the repeatability in row 1, column *a* of Table 2. The degrees of freedom  $\nu_i = N - 1$  is entered in column *e*. Determine the deviation of the dielectric parameters from the target values,  $\varepsilon_{r,ref}$  and  $\sigma_{ref}$ . For the permittivity, this is given as:

$$\text{Deviation (\%)} = 100 \times \left| \frac{\overline{\varepsilon'_r} - \varepsilon'_{r,ref}}{\varepsilon'_{r,ref}} \right|$$

Enter the deviation in row 2, column *a* of Table 2. The degrees of freedom  $\nu_i = N - 1$  is entered in column *e*. Do the same for conductivity.

- f) Estimate the type B uncertainties for the other components of Table 2 (and other relevant components if needed) in the frequency range under consideration.
- g) Determine the combined standard uncertainty as the root-sum-squared of the uncertainty components from steps c), d) and e). Enter this value in row 5 column *d* of Table 2.
- h) For relative permittivity, choose the frequency that gives the largest value for the combined standard uncertainty in step f). Enter this uncertainty and the corresponding degrees of freedom  $\nu_i$  into the appropriate row of Tables 5, 6 and 7. Do the same for conductivity.

Insert two completed versions of Table 2 (one each for permittivity and conductivity) into the measurement report, along with rationale for which influence quantities were used or omitted. The versions of Table 2 correspond to the largest values for the combined standard uncertainty found in steps f) and g).

In Tables 5, 6, and 7, the sensitivity coefficients  $c_i$  in columns *f* and *g* for the liquid conductivity and liquid permittivity measurement uncertainties are needed. These sensitivity coefficients are  $c_\sigma$  for conductivity and  $c_\varepsilon$  for permittivity. They are calculated using equations (F.1) to (F.5). The largest sensitivity coefficients over the frequency range 300 MHz to 6 GHz were found to be  $c_\sigma = 0,78$  (at 300 MHz) and  $c_\varepsilon = 0,23$  (at 2 000 MHz) for 1 g averaging, and  $c_\sigma = 0,71$  (at 300 MHz) and  $c_\varepsilon = 0,26$  (at 5 500 MHz) for 10 g averaging. These maximum values are entered into Tables 5, 6 and 7. Alternatively, maximum values for specific tested frequency ranges can be entered.

#### 7.2.4.4 Liquid temperature

The standard requires that SAR measurements are conducted within 18 °C and 25 °C, as well as within  $\pm 2$  °C of the temperature at which the dielectric parameters were measured. The following evaluation shall be conducted for each recipe to determine the uncertainty caused by the temperature tolerance.

Measurements of the dielectric parameters at liquid temperatures  $T_{low} = 18 \text{ °C} \pm 1 \text{ °C}$  and  $T_{high} = 25 \text{ °C} \pm 1 \text{ °C}$  should be performed and the equations

$$\varepsilon\_temp\_liquid\_uncertainty[\%] = 100 \times \left| \frac{2 \times [\varepsilon_r(T_{high}) - \varepsilon_r(T_{low})]}{\varepsilon_r(T_{high}) + \varepsilon_r(T_{low})} \times \frac{2 \text{ °C}}{T_{high} - T_{low}} \right|$$

$$\sigma\_temp\_liquid\_uncertainty[\%] = 100 \times \left| \frac{2 \times [\sigma(T_{high}) - \sigma(T_{low})]}{\sigma(T_{high}) + \sigma(T_{low})} \times \frac{2 \text{ °C}}{T_{high} - T_{low}} \right|$$

where

$\varepsilon\_temp\_liquid\_uncertainty$  is the temperature uncertainty for the liquid permittivity in percent;

|                                             |                                                                                    |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| $\sigma_{\text{temp\_liquid\_uncertainty}}$ | is the temperature uncertainty for the liquid conductivity in percent;             |
| $\varepsilon_r(T_{\text{high}})$            | is the relative permittivity at temperature $T_{\text{high}}$ ;                    |
| $\varepsilon_r(T_{\text{low}})$             | is the relative permittivity at temperature $T_{\text{low}}$ ;                     |
| $\sigma(T_{\text{high}})$                   | is the conductivity at temperature $T_{\text{high}}$ ;                             |
| $\sigma(T_{\text{low}})$                    | is the conductivity at temperature $T_{\text{low}}$ ;                              |
| $T_{\text{high}}$                           | is the highest temperature in °C at which the dielectric parameters were measured; |
| $T_{\text{low}}$                            | is the lowest temperature in °C at which the dielectric parameters were measured.  |

These equations can be used to derive the temperature uncertainty for the particular liquid. The uncertainty of  $T_{\text{low}}$  and  $T_{\text{high}}$  should be less than 0,1 °C.

The values of  $\varepsilon_{\text{temp\_liquid\_uncertainty}}$  and  $\sigma_{\text{temp\_liquid\_uncertainty}}$  are entered into column c of the appropriate rows in Tables 5, 6, and 7. Calculated values for some recipes are provided in Annex I. A rectangular probability distribution has been assumed for the liquid temperature uncertainty in Tables 5, 6, and 7. The sensitivity coefficients for the liquid temperature uncertainty are  $c_\sigma$  for conductivity and  $c_\varepsilon$  for permittivity. They are calculated using the procedure described in 7.2.4.3.

#### 7.2.4.5 Perturbation of the environment

Measurement uncertainties may occur when unwanted RF ambient signals are present during a SAR test. The ambient RF level is evaluated by performing SAR measurements using the same equipment setup as used for testing the DUT, but with the RF power switched off. RF ambient noise may not be checked before each SAR test if the laboratory can demonstrate that any RF sources that can influence the peak 1 g SAR measurement by not more than 0,012 W/kg.

Subclause 5.1 requires the SAR uncertainty due to RF ambient noise and the effects of RF scatterers each to be less than 3 % of the lower detection limit of the system. The test configurations described in Annex B are used to assess the effects of reflections from nearby objects at a test site. In addition, the RF ambient noise should be determined by performing SAR measurements with all local RF sources switched off. The effects of RF reflections and ambient fields should result in a peak 1 g SAR less than 0,012 W/kg, which corresponds to 3 % of 0,4 W/kg, to provide a sufficient signal-to-noise ratio for meeting the 100 mW/kg low dynamic range specified in this recommended practice. The SAR uncertainty shall be entered in the corresponding row of Table 5 for ambient field effects, (see e.g. [32]), and a rectangular probability distribution can be assumed.

When SAR measurements are performed in a controlled environment, such as an anechoic chamber, RF ambient effects should be assessed at least once a year. When SAR measurements are not performed in a controlled environment, RF ambient effects shall be assessed periodically, for example every 4 months, or when RF ambient conditions changes ensuring that any nearby high output non-periodic sources, for example walkie-talkies, that any nearby high output non-periodic sources, for example walkie-talkies, are present in the non controlled environment during the SAR measurements. In the case of non controlled environment, the laboratory shall declare in the measurement report the RF ambient conformity and the date of ambient noise check.

The rationale for the non-controlled environment RF check evaluation is that there is no reason to assess this uncertainty contribution before any SAR measurement if it can be demonstrated that RF sources are sufficiently far from the SAR measurement system location, even if the measurement system is placed in a non controlled environment, given the near field nature of the SAR measurement. The rationale on calibration intervals described in ISO 10012:2003 is recommended to assess the periodicity of evaluating RF ambient effects on SAR measurements.

## 7.2.5 Contribution of post-processing

### 7.2.5.1 General

This clause describes the estimation of the uncertainty resulting from the post-processing of the discrete measured data to determine the 1 g and 10 g peak spatial-average SAR, i.e. the combined uncertainty of interpolation, extrapolation, averaging and maximum finding algorithms. These algorithms may add uncertainty due to general assumptions about field behaviour, and therefore may not perfectly predict the electric field distribution in the tissue-equivalent liquid for a specific DUT. The algorithm uncertainty is a function of the resolution chosen for the measurement and the post-processing methods used in the area and zoom scans.

The actual SAR distribution at the peak location is strongly dependent on the operating frequency and design of the DUT, test position, and proximity to the tissue-equivalent liquid. SAR distributions can have a rather flat gradient when a low frequency source is a large distance away, or can have a very steep gradient when a small high frequency source such as a helix antenna is placed next to the tissue. In some cases, the maximum SAR is not at the surface of the phantom due to cancellation of magnetic fields at the surface.

The analytical SAR distribution functions presented below are intended to simulate these conditions and have been developed for the purpose of this uncertainty estimation. These reference functions are used to create artificial or “dummy” SAR data sets for testing the system software post-processing subroutines. Computed reference function values at coarse and fine grid spacings, the same as are used in measurements, are input to the SAR system software. SAR values at grid points corresponding to the area- and zoom-scan measurement grids are computed according to the three SAR distributions given in 7.2.5.2 and processed by the system interpolation, extrapolation, and integration algorithms as if they were actually measured. The resulting 1 g and 10 g SAR values are compared with reference SAR values listed in 7.2.5.2. Procedures for evaluating the SAR uncertainty of the area and zoom-scan post-processing algorithms are described in 7.2.5.3. The test functions assume a planar tissue-equivalent liquid and phantom interface. This uncertainty concept assumes that there are no errors in location of the grid points calculated with the analytical distribution functions, and probe positioning and measurement uncertainties are not included.

The post-processing uncertainty shall be estimated using a rectangular probability.

### 7.2.5.2 Evaluation test functions

Three analytical functions,  $f_1$ ,  $f_2$  and  $f_3$ , [82] are used to represent the possible range of SAR distributions expected for DUTs tested according to the procedures of this document. For the 30 MHz – 3 000 MHz frequency range, function  $f_1$  is based on the evaluation of SAR footprints of actual wireless devices [18]. Two parameter sets are given for  $f_1$  such that SAR distributions with single and double maxima can be evaluated. The function  $f_2$  is used to account for exposure conditions with  $H$ -field cancellation at the phantom/tissue-equivalent liquid surface. For the frequency range above 3 GHz,  $f_3$  is added to account for the much stronger attenuation. Since noise may effect the extrapolation at these frequencies, a noise term is included. The distribution functions are defined for the phantom surface at  $z = 0$ , and the half-space tissue-equivalent liquid is defined for all  $z > 0$ .

$$f_1(x, y, z) = A_1 e^{-\left(\frac{(x'+x_d/2)^2}{2\sigma_{xpeak}^2}\right)} e^{-y'^2/2\sigma_{ypeak}^2} e^{-z/a} + A_2 e^{-\left(\frac{(x'-x_d/2)^2}{2\sigma_{xsec}^2}\right)} e^{-y'^2/2\sigma_{ysec}^2} e^{-z/a}$$

where

$$\sigma_{xpeak} = \begin{cases} \sigma_{xpp}, x' \geq -x_d/2 \\ \sigma_{xpn}, x' < -x_d/2 \end{cases}, \quad \sigma_{ypeak} = \begin{cases} \sigma_{ypp}, y' \geq 0 \\ \sigma_{ypn}, y' < 0 \end{cases},$$

$$\sigma_{xsec} = \begin{cases} \sigma_{xsp}, x' \geq x_d / 2 \\ \sigma_{xsn}, x' < x_d / 2 \end{cases}, \quad \sigma_{ysec} = \begin{cases} \sigma_{ysp}, y' \geq 0 \\ \sigma_{ysn}, y' < 0 \end{cases}$$

$$f_2(x, y, z) = A e^{-\frac{z}{a}} \frac{a^2}{a^2 + x'^2} \left( 3 - e^{-\frac{2z}{a}} \right) \cos^2 \left( \frac{\pi}{2} \frac{y'}{3a} \right)$$

$$f_3(x, y, z) = A \left[ e^{\frac{-(x'^2 + \frac{y'^2}{2})}{(a/4)^2}} \left( e^{\frac{8z}{a}} \right) + 0,4 \times \left[ \frac{N_{rms}}{A} \times rnd(\zeta) \right] \right]$$

where

$x, y$  and  $z$  are the spatial coordinates (in mm);

$x' = x + d$  (in mm);

$y' = y + d$  (in mm);

$x_d$  = separation distance between SAR maxima, for two peaks case; see Table 3.

$d$  = offset parameter (in mm);

$a = 20$  mm;

$A = 1$  W/kg;

$N_{rms}$  is the amplitude of the system noise in W/kg in the liquid in the absence of an RF signal. This parameter is system dependent and corresponds to the noise measured inside the liquid in the absence of an RF signal according to 7.2.4.5. For the evaluation of the reference function  $f_3$ , a value of 0,1 W/kg should be used for  $N_{rms}$ ;

$rnd(\zeta)$  is a function which returns normally distributed random numbers with a standard deviation of 1. Appropriate functions are available in typical math applications. The variable  $\zeta$  is an arbitrary seed. The function  $rnd(\zeta)$  shall be evaluated for each point of the measurement grid.

The above parameters  $a$  and  $A$  do not have any particular physical meaning other than for generation of the appropriate SAR distributions.

The parameters for function  $f_1$  have been selected on the evaluations of different handsets at 1 950 MHz. They are given in Table 3.

**Table 3 – Parameters for reference function  $f_1$**

| No of peaks | $A_1$<br>W/kg | $A_2$<br>W/kg | $a$<br>mm | $x_d$<br>mm | $\sigma_{xpp}$<br>mm | $\sigma_{ypp}$<br>mm | $\sigma_{xsp}$<br>mm | $\sigma_{ysp}$<br>mm | $\sigma_{xpn}$<br>mm | $\sigma_{ypn}$<br>mm | $\sigma_{xsn}$<br>mm | $\sigma_{ysn}$<br>mm |
|-------------|---------------|---------------|-----------|-------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1           | 1,2           | 0,0           | 11,9      | n. a.       | 19,6                 | 15,5                 | n. a.                | n. a.                | 21,9                 | 17,2                 | n.a.                 | n.a.                 |
| 2           | 1,2           | 1,0           | 11,9      | 60,47       | 22,6                 | 19,7                 | 19,4                 | 19,6                 | 22,0                 | 15,5                 | 17,9                 | 24,2                 |

A value of  $d = 2,5$  mm, for example, provides a lateral shift of the SAR distribution so that the peak location is not aligned with a measurement grid having a 5 mm increment. This offset is used to test the software peak search subroutines and uncertainty.

The reference SAR values of the distribution functions  $f_1$ ,  $f_2$ , and  $f_3$  for 1 g and 10 g cubes aligned with the  $(x, y, z)$  coordinate axes are given in Table 4. When function  $f_1$  is considered,

the maximum deviation from reference values obtained considering one peak and two peaks cases, shall be used for post-processing uncertainty computations. The reference values are used in the following subclauses for testing other data-processing functions.

**Table 4 – Reference SAR values in watts per kilogram used for estimating post-processing uncertainties**

| Function | Reference SAR value<br>W/kg |           | Peak case                                     |
|----------|-----------------------------|-----------|-----------------------------------------------|
|          | 1 g cube                    | 10 g cube |                                               |
| $f_1$    | 0,791                       | 0,494     | One peak                                      |
| $f_1$    | 0,796                       | 0,503     | Two peaks, cube centred on the primary peak   |
| $f_1$    | 0,686                       | 0,438     | Two peaks, cube centred on the secondary peak |
| $f_2$    | 1,796                       | 1,375     |                                               |
| $f_3$    | 0,157                       | 0,026 8   |                                               |

### 7.2.5.3 Data-processing algorithm uncertainty evaluations

#### 7.2.5.3.1 Evaluation of the coarse area scan

A precondition for peak spatial-average SAR evaluation with a given uncertainty is that the location of the maximum exposure can be determined from the area scan data with such a precision that the peak spatial-average SAR is entirely enclosed in the zoom-scan volume. In other words, the area-scan interpolation algorithms should be capable of locating peak SAR locations with an accuracy of  $\pm L_z/2$  mm or better, where  $L_z$  is the side length of the zoom-scan volume. If this precondition is satisfied, which is tested with the procedures of this subclause, then the evaluation of the *area scan* does not contribute to the uncertainty budget.

The reference function values calculated at the usual area-scan grid points are input to the system software. The interpolation algorithm treats these data points as if they were measured to complete the area scan and determine the peak SAR location  $(x_{\text{eval}}, y_{\text{eval}})$ . This is compared with the actual peak location defined by the analytical functions at  $(x_{\text{ref}}, y_{\text{ref}}) = (-2,5, -2,5)$  mm, when  $d = 2,5$  mm. The subscripts “eval” and “ref” refer to evaluated and reference, respectively. In other words, the following inequalities shall be satisfied:

$$|x_{\text{ref}} - x_{\text{eval}}| \leq L_z/2 \text{ mm}$$

$$|y_{\text{ref}} - y_{\text{eval}}| \leq L_z/2 \text{ mm}$$

The ability of the two-dimensional area scan to accurately locate the SAR peak is dependent on the spatial resolution  $(\Delta x, \Delta y)$  of the area-scan grid, the spatial resolution  $(\Delta x_i, \Delta y_i)$  of the interpolated values, and the type of interpolation functions  $[g_i(x), g_i(y)]$  used. It is also dependent on the location of the evaluation grid with respect to the actual peak location  $(x_{\text{ref}}, y_{\text{ref}})$  and the number of evaluation points used  $(N_x, N_y)$ .

The following procedure should be used to assess the uncertainty of the interpolation algorithms used in the area scan for determining the peak SAR location:

- Choose the measurement resolution  $(\Delta x, \Delta y)$ , and number of evaluation (corresponding to measurement) points  $(N_x, N_y)$ . The centre of the area scan should be set to  $(x_0, y_0) = (0, 0)$ .
- SAR values are computed using the functions  $f_1$ ,  $f_2$  and  $f_3$ , at the area-scan evaluation grid points within the ranges:

$$x_0 - \Delta x \times [(N_x - 1)/2] \leq x \leq x_0 + \Delta x \times [(N_x - 1)/2],$$

$$y_0 - \Delta y \times [(N_y - 1)/2] \leq y \leq y_0 + \Delta y \times [(N_y - 1)/2],$$

where  $N_x$  and  $N_y$  are assumed to be odd integers. A value of  $z = 0$  is assumed since the peak location is independent of  $z$  for these three functions.

- c) The SAR values computed by the three distribution functions are interpolated by the SAR measurement system with a spatial resolution of  $(\Delta x_i, \Delta y_i)$  according to the interpolation functions  $[g_i(x), g_i(y)]$  used by the system to determine the peak SAR location  $(x_{eval}, y_{eval})$ . If the measurement system does not allow SAR values to be imported to perform the evaluation, the same algorithm should be implemented independently by other means to determine the interpolation and peak search uncertainties.
- d) The peak SAR location determined by the interpolation algorithms should satisfy the requirements of the inequalities

$$|x_{ref} - x_{eval}| \leq L_z/2 \text{ mm}$$

$$|y_{ref} - y_{eval}| \leq L_z/2 \text{ mm}.$$

Otherwise, the data-processing and measurement systems should use a finer grid resolution and/or a larger number of interpolation points to repeat the evaluation starting at step b).

- e) The centre of the area scan  $(x_0, y_0)$  should be shifted in 1 mm steps within the range  $0 < x_0 \leq \Delta x/2$  and  $0 < y_0 \leq \Delta y/2$  to repeat the evaluation starting at step b) for each of the shifted  $(x_0, y_0)$  in these ranges.

#### 7.2.5.3.2 Evaluation of the zoom scan

The zoom scan is evaluated by comparing the highest 1 g or 10 g SAR values with the reference SAR values in 7.2.5.2. From the area scan procedure in 7.2.5.3.1, the true peak location  $(x_{ref}, y_{ref})$  will be displaced from the estimated peak location  $(x_{eval}, y_{eval})$  by an amount given by inequalities:

$$|x_{ref} - x_{eval}| \leq L_z/2 \text{ mm}$$

$$|y_{ref} - y_{eval}| \leq L_z/2 \text{ mm}$$

This displacement is accounted for in the reference functions  $f_1$ ,  $f_2$ , and  $f_3$ , defined in 7.2.5.2 by incorporating the distance  $d$ . Since this displacement will vary in practice, the value of  $d$  should be varied over the range:

$$|d| \leq (L_z - L_c)/2$$

where  $L_c$  is the cube side length (10 mm for 1 g, 21,5 mm for 10 g). For each distance  $d$ , the largest uncertainty produced by any of the three functions is recorded. The root-mean-square of the largest uncertainty values for several distances  $d$  is entered as the uncertainty due to extrapolation, interpolation and integration.

NOTE Although the requirement for the area scan is that the local peak SAR is located within  $|d| \leq L_z/2$ , a smaller range of  $|d| \leq (L_z - L_c)/2$  is used here to ensure that the 1 g or 10 g cube can be computed on the first attempt. For values of  $(L_z - L_c)/2 < |d| \leq L_z/2$ , the measurement software should alert that the 1 g or 10 g cube is not captured and the measurement should be re-attempted. This will not affect the uncertainty, so it is not necessary to consider this case here.

- a) Choose a displacement  $d$  for the evaluation of the functions  $f_1$ ,  $f_2$  and  $f_3$ .  $d$  should vary from  $-(L_z - L_c)/2$  to  $+(L_z - L_c)/2$  in small increments (e.g., 1 mm steps). It should also vary separately in the  $x$  and  $y$  directions.
- b) SAR values are computed according to the functions  $f_1$ ,  $f_2$  and  $f_3$ , at the evaluation grid points that correspond to measured zoom-scan volume points. The centre of the zoom-scan volume should be positioned at

$$(x, y, z) = (0, 0, L_h/2 + z_d)$$

where

$L_h$  is the height of the zoom-scan volume, and

$z_d$  is the measurement point closest to the inner surface.

- c) The computed SAR values are extrapolated to the phantom surface at  $z = 0$  by the system software to obtain the additional points in the zoom scan volume that cannot be measured due to probe constraints. Both the computed and extrapolated data points are then interpolated to a finer resolution by the system software, which subsequently applies the integration algorithms as well as the search algorithm for finding the peak spatial-average SAR within the zoom scan volume to determine the highest 1 g or 10 g SAR. Other procedures are possible. If the system does not allow SAR values to be imported to perform the evaluation, the same algorithm should be implemented independently by other means to test the extrapolation, interpolation and integration algorithms.
- d) The 1 g and 10 g SAR values determined by the system or data processing software ( $SAR_{eval}$ ) are compared to the reference SAR values given in 7.2.5.2. The standard deviation caused by the random noise ( $SAR_{stdev}(N_{rms})$ ) is determined by evaluating  $f_3$  at least 100 times, and with each of the 100 or more evaluations using different random noise parameters. The SAR uncertainty for distribution functions  $f_1$  and  $f_2$  is calculated using equation:

$$SAR_{uncertainty}[\%] = 100 \times \left| \frac{SAR_{eval} - SAR_{ref}}{SAR_{ref}} \right|$$

The SAR uncertainty for distribution function  $f_3$  is calculated using equation:

$$SAR_{uncertainty}[\%] = 100 \times \left| \frac{SAR_{eval} - SAR_{ref}}{SAR_{ref}} \right| + 100\sqrt{3} \times \left| \frac{SAR_{stdev}(N_{rms})}{SAR_{stdev}} \right|$$

- e) The highest SAR uncertainty estimated by either of the three distribution functions is recorded.
- f) Repeat steps b) to d) for other displacement values  $d$ .
- g) Compute the root-mean-squared value of the uncertainties calculated in step d) for each displacement  $d$  above. This value should be entered as the uncertainty due to extrapolation, interpolation and integration in the corresponding row and column of Table 5 assuming rectangular probability distribution.
- h) Record the following parameters used to estimate the zoom scan uncertainty:
- the dimension of the grid used to sample the reference functions both in terms of number of points and sample steps in the three dimensions;
  - the number of interpolation points included between two test points, or the interpolation resolution in the three directions, for the reference functions;
  - the dimension  $d_{be}$  of the extrapolation region, i.e. the distance between the probe sensor position at the first measurement point and the phantom surface (measurement point is behind the probe tip);
  - the interpolation, extrapolation and averaging algorithms used.

The computational conditions (such as the number of grid points, the grid increments, and the number of interpolation points in the three directions) shall be the same for all the functions.

## 7.2.6 Standard source offset and tolerance

For system validation, the mechanical and electrical tolerances of the standard source affect the resulting peak spatial SAR values, e.g., different feedpoint impedance and current distribution as function of distance, phantom shell, liquid, etc. The real physical construction also deviates from the numerical model upon which the target values are based. The resulting offset and uncertainty can be determined by type A or type B evaluations. Type A would involve evaluations with different liquids, probes and phantoms. For type B evaluations, all parameters need to be assessed experimentally or numerically.

### 7.3 Uncertainty estimation

#### 7.3.1 Combined and expanded uncertainties

The contributions of each component of uncertainty shall be recorded with description, probability distribution, sensitivity coefficient and uncertainty value. A recommended tabular form is shown in Table 5. The combined standard uncertainty  $u_c$  shall be estimated according to the following formula:

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^m c_i^2 \times u_i^2}$$

where

- $c_i$  is the sensitivity coefficient;
- $u_c$  is the combined standard uncertainty;
- $u_i$  is the standard uncertainty.

The expanded uncertainty  $U$  shall be estimated using a confidence interval of 95 %.

#### 7.3.2 Maximum expanded uncertainty

The expanded uncertainty with a confidence interval of 95 % shall not exceed 30 % for peak spatial-average SAR values in the range from 0,4 W/kg to 10 W/kg. If the uncertainty is greater than 30 %, reported data need to take into account the percentage difference between the actual uncertainty and the 30 % target value – e.g. see method of IEC 62311 [30].

**Table 5 – Measurement uncertainty evaluation template for DUT SAR test**

| <i>A</i>                                                                     | <i>b</i>    | <i>c</i>                                  | <i>D</i>                    | $\frac{e}{f(d,k)}$ | <i>f</i>                      | <i>g</i>                       | $h = c \times f / e$                       | $i = c \times g / e$                        | <i>k</i>                                             |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------|-----------------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Source of Uncertainty                                                        | Description | Tolerance/<br>Uncertainty<br>value<br>± % | Probability<br>Distribution | Div.               | <i>c<sub>i</sub></i><br>(1 g) | <i>c<sub>i</sub></i><br>(10 g) | Standard<br>uncer-<br>tainty<br>± %, (1 g) | Standard<br>uncer-<br>tainty<br>± %, (10 g) | <i>v<sub>i</sub></i><br>or<br><i>v<sub>eff</sub></i> |
| <b>Measurement system</b>                                                    |             |                                           |                             |                    |                               |                                |                                            |                                             |                                                      |
| Probe calibration                                                            | 7.2.2.1     |                                           | N                           | 1                  | 1                             | 1                              |                                            |                                             | ∞                                                    |
| Isotropy                                                                     | 7.2.2.2     |                                           | R                           | √3                 | 1                             | 1                              |                                            |                                             | ∞                                                    |
| Linearity                                                                    | 7.2.2.3     |                                           | R                           | √3                 | 1                             | 1                              |                                            |                                             | ∞                                                    |
| Probe modulation response                                                    | 7.2.2.4     |                                           | R                           | √3                 | 1                             | 1                              |                                            |                                             | ∞                                                    |
| Detection limits                                                             | 7.2.2.5     |                                           | R                           | √3                 | 1                             | 1                              |                                            |                                             | ∞                                                    |
| Boundary effect                                                              | 7.2.2.6     |                                           | R                           | √3                 | 1                             | 1                              |                                            |                                             | ∞                                                    |
| Readout electronics                                                          | 7.2.2.7     |                                           | N                           | 1                  | 1                             | 1                              |                                            |                                             | ∞                                                    |
| Response time                                                                | 7.2.2.8     |                                           | R                           | √3                 | 1                             | 1                              |                                            |                                             | ∞                                                    |
| Integration time                                                             | 7.2.2.9     |                                           | R                           | √3                 | 1                             | 1                              |                                            |                                             | ∞                                                    |
| RF ambient conditions – noise                                                | 7.2.4.5     |                                           | R                           | √3                 | 1                             | 1                              |                                            |                                             | ∞                                                    |
| RF ambient conditions – reflections                                          | 7.2.4.5     |                                           | R                           | √3                 | 1                             | 1                              |                                            |                                             | ∞                                                    |
| Probe positioner mech. restrictions                                          | 7.2.3.1     |                                           | R                           | √3                 | 1                             | 1                              |                                            |                                             | ∞                                                    |
| Probe positioning with respect to phantom shell                              | 7.2.3.3     |                                           | R                           | √3                 | 1                             | 1                              |                                            |                                             | ∞                                                    |
| Post-processing                                                              | 7.2.5       |                                           | R                           | √3                 | 1                             | 1                              |                                            |                                             | ∞                                                    |
| <b>Test sample related</b>                                                   |             |                                           |                             |                    |                               |                                |                                            |                                             |                                                      |
| Device holder uncertainty                                                    | 7.2.3.4.2   |                                           | N                           | 1                  | 1                             | 1                              |                                            |                                             | <i>M</i> -1                                          |
| Test sample positioning                                                      | 7.2.3.4.3   |                                           | N                           | 1                  | 1                             | 1                              |                                            |                                             | <i>M</i> -1                                          |
| Power scaling                                                                | L.3         |                                           | R                           | √3                 | 1                             | 1                              |                                            |                                             | ∞                                                    |
| Drift of output power (measured SAR drift)                                   | 7.2.2.10    |                                           | R                           | √3                 | 1                             | 1                              |                                            |                                             | ∞                                                    |
| <b>Phantom and set-up</b>                                                    |             |                                           |                             |                    |                               |                                |                                            |                                             |                                                      |
| Phantom uncertainty (shape and thickness tolerances)                         | 7.2.3.2     |                                           | R                           | √3                 | 1                             | 1                              |                                            |                                             | ∞                                                    |
| Algorithm for correcting SAR for deviations in permittivity and conductivity | 7.2.4.3     | 1,9                                       | N                           | 1                  | 1                             | 0,84                           | 1,9                                        | 1,6                                         | ∞                                                    |
| Liquid conductivity (meas.)                                                  | 7.2.4.3     |                                           | N                           | 1                  | 0,78                          | 0,71                           |                                            |                                             | <i>M</i> -1                                          |
| Liquid permittivity (meas.)                                                  | 7.2.4.3     |                                           | N                           | 1                  | 0,23                          | 0,26                           |                                            |                                             | <i>M</i>                                             |
| Liquid permittivity – temperature uncertainty                                | 7.2.4.4     |                                           | R                           | √3                 | 0,78                          | 0,71                           |                                            |                                             | ∞                                                    |
| Liquid conductivity – temperature uncertainty                                | 7.2.4.4     |                                           | R                           | √3                 | 0,23                          | 0,26                           |                                            |                                             | ∞                                                    |
| Combined standard uncertainty                                                | 7.3.1       |                                           | RSS                         |                    |                               |                                |                                            |                                             |                                                      |

| <i>A</i>                                      | <i>b</i>    | <i>c</i>                            | <i>D</i>                 | $e = f(d, k)$ | <i>f</i>                      | <i>g</i>                       | $h = c \times f / e$               | $i = c \times g / e$                | <i>k</i>                                             |
|-----------------------------------------------|-------------|-------------------------------------|--------------------------|---------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Source of Uncertainty                         | Description | Tolerance/ Uncertainty value<br>± % | Probability Distribution | Div.          | <i>c<sub>i</sub></i><br>(1 g) | <i>c<sub>i</sub></i><br>(10 g) | Standard uncertainty<br>± %, (1 g) | Standard uncertainty<br>± %, (10 g) | <i>v<sub>i</sub></i><br>or<br><i>v<sub>eff</sub></i> |
| Expanded uncertainty<br>(95 % conf. interval) | 7.3.2       |                                     |                          |               |                               |                                |                                    |                                     |                                                      |

**Table 6 – Measurement uncertainty evaluation template for system validation**

| <i>A</i>                                                                              | <i>b</i>    | <i>c</i>                               | <i>D</i>                 | $e = f(d,k)$ | <i>f</i>       | <i>g</i>        | $h = c \times f / e$               | $i = c \times g / e$                | <i>k</i>                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------------------------|--------------------------|--------------|----------------|-----------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Source of Uncertainty                                                                 | Description | Tolerance/<br>Uncertainty value<br>± % | Probability distribution | Div.         | $c_i$<br>(1 g) | $c_i$<br>(10 g) | Standard uncertainty<br>± %, (1 g) | Standard uncertainty<br>± %, (10 g) | $\nu_i$<br>or<br>$\nu_{\text{eff}}$ |
| <b>Measurement system</b>                                                             |             |                                        |                          |              |                |                 |                                    |                                     |                                     |
| Probe calibration                                                                     | 7.2.2.1     |                                        | N                        | 1            | 1              | 1               |                                    |                                     | ∞                                   |
| Isotropy                                                                              | 7.2.2.2     |                                        | R                        | √3           | 1              | 1               |                                    |                                     | ∞                                   |
| Linearity                                                                             | 7.2.2.3     |                                        | R                        | √3           | 1              | 1               |                                    |                                     | ∞                                   |
| Modulation response                                                                   | 7.2.2.4     |                                        | R                        | √3           | 1              | 1               |                                    |                                     | ∞                                   |
| Detection limits                                                                      | 7.2.2.5     |                                        | R                        | √3           | 1              | 1               |                                    |                                     | ∞                                   |
| Boundary effect                                                                       | 7.2.2.6     |                                        | R                        | √3           | 1              | 1               |                                    |                                     | ∞                                   |
| Readout electronics                                                                   | 7.2.2.7     |                                        | N                        | 1            | 1              | 1               |                                    |                                     | ∞                                   |
| Response time                                                                         | 7.2.2.8     |                                        | R                        | √3           | 1              | 1               |                                    |                                     | ∞                                   |
| Integration time                                                                      | 7.2.2.9     |                                        | R                        | √3           | 1              | 1               |                                    |                                     | ∞                                   |
| RF ambient conditions<br>- noise                                                      | 7.2.4.5     |                                        | R                        | √3           | 1              | 1               |                                    |                                     | ∞                                   |
| RF ambient conditions<br>- reflections                                                | 7.2.4.5     |                                        | R                        | √3           | 1              | 1               |                                    |                                     | ∞                                   |
| Probe positioner mech.<br>restrictions                                                | 7.2.3.1     |                                        | R                        | √3           | 1              | 1               |                                    |                                     | ∞                                   |
| Probe positioning with<br>respect to phantom<br>shell                                 | 7.2.3.3     |                                        | R                        | √3           | 1              | 1               |                                    |                                     | ∞                                   |
| Post-processing                                                                       | 7.2.5       |                                        | R                        | √3           | 1              | 1               |                                    |                                     | ∞                                   |
| <b>Field source</b>                                                                   |             |                                        |                          |              |                |                 |                                    |                                     |                                     |
| Deviation of the<br>experimental source<br>from numerical source                      | 7.2.6       |                                        | N                        | 1            | 1              | 1               |                                    |                                     | ∞                                   |
| Source to liquid<br>distance                                                          | 7.2.3.4.3   |                                        | R                        | √3           | 1              | 1               |                                    |                                     | ∞                                   |
| Drift of output power<br>(measured SAR drift)                                         | 7.2.2.10    |                                        | R                        | √3           | 1              | 1               |                                    |                                     | ∞                                   |
| <b>Phantom and set-up</b>                                                             |             |                                        |                          |              |                |                 |                                    |                                     |                                     |
| Phantom uncertainty<br>(shape and thickness<br>tolerances)                            | 7.2.3.2     |                                        | R                        | √3           | 1              | 1               |                                    |                                     | ∞                                   |
| Algorithm for correcting<br>SAR for deviations in<br>permittivity and<br>conductivity | 7.2.4.3     |                                        | N                        | 1            | 1              | 0,84            |                                    |                                     | ∞                                   |
| Liquid conductivity<br>(meas.)                                                        | 7.2.4.3     |                                        | N                        | 1            | 0,78           | 0,21            |                                    |                                     | <i>M</i>                            |
| Liquid permittivity<br>(meas.)                                                        | 7.2.4.3     |                                        | N                        | 1            | 0,23           | 0,26            |                                    |                                     | <i>M</i>                            |
| Liquid conductivity –<br>temperature<br>uncertainty                                   | 7.2.4.4     |                                        | R                        | √3           | 0,78           | 0,71            |                                    |                                     | ∞                                   |
| Liquid permittivity –<br>temperature<br>uncertainty                                   | 7.2.4.4     |                                        | R                        | √3           | 0,23           | 0,26            |                                    |                                     | ∞                                   |
| Combined standard<br>uncertainty                                                      | 7.3.1       |                                        | RSS                      |              |                |                 |                                    |                                     |                                     |

| <i>A</i>                                      | <i>b</i>    | <i>c</i>                            | <i>D</i>                 | $e = f(d, k)$ | <i>f</i>                      | <i>g</i>                       | $h = c \times f / e$               | $i = c \times g / e$                | <i>k</i>                                             |
|-----------------------------------------------|-------------|-------------------------------------|--------------------------|---------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Source of Uncertainty                         | Description | Tolerance/ Uncertainty value<br>± % | Probability distribution | Div.          | <i>c<sub>i</sub></i><br>(1 g) | <i>c<sub>i</sub></i><br>(10 g) | Standard uncertainty<br>± %, (1 g) | Standard uncertainty<br>± %, (10 g) | <i>v<sub>i</sub></i><br>or<br><i>v<sub>eff</sub></i> |
| Expanded uncertainty<br>(95 % conf. interval) | 7.3.2       |                                     |                          |               |                               |                                |                                    |                                     |                                                      |

**Table 7 – Measurement uncertainty evaluation template for system repeatability**

| <i>A</i>                                                                     | <i>b</i>    | <i>c</i>                               | <i>D</i>                 | $e = f(d,k)$ | <i>f</i>       | <i>g</i>        | $h = c \times f / e$               | $i = c \times g / e$                | <i>k</i>                        |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------------------------|--------------------------|--------------|----------------|-----------------|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| Source of Uncertainty                                                        | Description | Tolerance/<br>Uncertainty value<br>± % | Probability distribution | Div.         | $c_i$<br>(1 g) | $c_i$<br>(10 g) | Standard uncertainty<br>± %, (1 g) | Standard uncertainty<br>± %, (10 g) | $v_i$<br>or<br>$v_{\text{eff}}$ |
| <b>Measurement system</b>                                                    |             |                                        |                          |              |                |                 |                                    |                                     |                                 |
| Modulation response                                                          | 7.2.2.4     |                                        | R                        | $\sqrt{3}$   | 0              | 0               |                                    |                                     | $\infty$                        |
| Detection limits                                                             | 7.2.2.5     |                                        | R                        | $\sqrt{3}$   | 0              | 0               |                                    |                                     | $\infty$                        |
| Boundary effect                                                              | 7.2.2.6     |                                        | R                        | $\sqrt{3}$   | 0              | 0               |                                    |                                     | $\infty$                        |
| Readout electronics                                                          | 7.2.2.7     |                                        | N                        | 1            | 0              | 0               |                                    |                                     | $\infty$                        |
| Response time                                                                | 7.2.2.8     |                                        | R                        | $\sqrt{3}$   | 0              | 0               |                                    |                                     | $\infty$                        |
| Integration time                                                             | 7.2.2.9     |                                        | R                        | $\sqrt{3}$   | 0              | 0               |                                    |                                     | $\infty$                        |
| RF ambient conditions – noise                                                | 7.2.4.5     |                                        | R                        | $\sqrt{3}$   | 0              | 0               |                                    |                                     | $\infty$                        |
| RF ambient conditions – reflections                                          | 7.2.4.5     |                                        | R                        | $\sqrt{3}$   | 0              | 0               |                                    |                                     | $\infty$                        |
| Probe positioner mech. restrictions                                          | 7.2.3.1     |                                        | R                        | $\sqrt{3}$   | 1              | 1               |                                    |                                     | $\infty$                        |
| Probe positioning with respect to phantom shell                              | 7.2.3.3     |                                        | R                        | $\sqrt{3}$   | 1              | 1               |                                    |                                     | $\infty$                        |
| Post-processing                                                              | 7.2.5       |                                        | R                        | $\sqrt{3}$   | 0              | 0               |                                    |                                     | $\infty$                        |
| <b>Field source</b>                                                          |             |                                        |                          |              |                |                 |                                    |                                     |                                 |
| Deviation between experimental sources                                       | 7.2.6       |                                        | N                        | 1            | 1              | 1               |                                    |                                     | $\infty$                        |
| Source to liquid distance                                                    | 7.2.3.4.3   |                                        | R                        | $\sqrt{3}$   | 1              | 1               |                                    |                                     | $\infty$                        |
| Drift of output power (measured SAR drift)                                   | 7.2.2.10    |                                        | R                        | $\sqrt{3}$   | 1              | 1               |                                    |                                     | $\infty$                        |
| <b>Phantom and set-up</b>                                                    |             |                                        |                          |              |                |                 |                                    |                                     |                                 |
| Phantom uncertainty (shape and thickness tolerances)                         | 7.2.3.2     |                                        | R                        | $\sqrt{3}$   | 1              | 1               |                                    |                                     | $\infty$                        |
| Algorithm for correcting SAR for deviations in permittivity and conductivity | 7.2.4.3     |                                        | N                        | 1            | 1              | 0,84            |                                    |                                     | $\infty$                        |
| Liquid conductivity (meas.)                                                  | 7.2.4.3     |                                        | N                        | 1            | 0,78           | 0,71            |                                    |                                     | <i>M</i>                        |
| Liquid permittivity (meas.)                                                  | 7.2.4.3     |                                        | N                        | 1            | 0,23           | 0,26            |                                    |                                     | <i>M</i>                        |
| Liquid conductivity – temperature uncertainty                                | 7.2.4.4     |                                        | R                        | $\sqrt{3}$   | 0,78           | 0,71            |                                    |                                     | $\infty$                        |
| Liquid permittivity – temperature uncertainty                                | 7.2.4.4     |                                        | R                        | $\sqrt{3}$   | 0,23           | 0,26            |                                    |                                     | $\infty$                        |
| Combined standard uncertainty                                                | 7.3.1       |                                        | RSS                      |              |                |                 |                                    |                                     |                                 |
| Expanded uncertainty (95 % confidence interval)                              | 7.3.2       |                                        |                          |              |                |                 |                                    |                                     |                                 |

## Notes for Tables 5 to 7

NOTE 1 Column headings *a-k* are given for reference.

NOTE 2 Abbreviations used in Table 5:

N, R, U – normal, rectangular, U-shaped probability distributions

Div. – divisor used to get standard uncertainty

NOTE 3 The uncertainty components indicated in this table are based on the test procedures and protocols developed for this document. When test protocols and procedures vary, different uncertainty components may apply, e.g., parameters defined for testing other phantom configurations and device positions.

NOTE 4 The divisor is a function of the probability distribution and degrees of freedom ( $\nu_i$  and  $\nu_{eff}$ ).

NOTE 5  $c_i$  is the sensitivity coefficient that should be applied to convert the variability of the uncertainty component into a variability of SAR.

NOTE 6 See 7.1.3 for discussions on degrees of freedom ( $\nu_i$ ) for standard uncertainty and effective degrees of freedom ( $\nu_{eff}$ ) for the expanded uncertainty.

NOTE 7  $M$  in the  $\nu_i$  column is number of tests.

NOTE 8 Some of the uncertainty influence quantities may be estimated from performance specifications provided by the equipment manufacturers; the uncertainty of certain other components that vary from test to test may need to be estimated for each measurement.

NOTE 9 All influence quantities in this template are applicable for system validation testing except the three items in the Test Sample Related group are replaced by a Dipole group containing two influence quantities described as: dipole axis to liquid distance, input power and SAR drift.

NOTE 10 As stated in the ISO/IEC Guide 99:2007, repeatability condition of measurement is here defined as the *"condition of measurement, out of a set of conditions that includes the same measurement procedure, same operators, same measuring system, same operating conditions and same location, and replicate measurements on the same or similar objects over a short period of time,"* thus implicitly emphasizing that a key aspect is that repeatability must include conditions and components for testing ONLY within one specific test lab. In this context, the dipole used for system repeatability tests is not part of the measuring system.

## 8 Measurement report

### 8.1 General

All test results shall be recorded in a measurement report and shall include all the information necessary for the interpretation of the DUT configurations tested, calibration performed and all information required by the method and instrumentation used.

This clause states the minimum requirements required to be included in the measurement report, further guidelines on the required content of the measurement report can be found in 5.10 of ISO/IEC 17025:2005. A test report compliant with ISO/IEC 17025 and including as a minimum the items listed below will demonstrate compliance with this standard.

### 8.2 Items to be recorded in the measurement report

All of the information needed for performing repeatable tests, calculations, or measurements giving results within the required calibration and uncertainty limits shall be recorded. The measurement report shall include:

#### a) General introduction

- 1) Identification of the test laboratory
- 2) Identification of the DUT including hardware and software revision numbers, serial number, e.g., IMEI (international mobile equipment identity)

- 3) Compliance requirements, e.g., test standards, guidelines, recommendations, etc.
  - 4) Exposure limits applicable, e.g., ICNIRP, IEEE/ICES, etc.
  - 5) A list of any accreditations provided by National or International bodies to perform testing at the standards listed above. This shall include the date of expiry
- b) Measurement system
- 1) Measurement system main component description e.g., positioner, probe, liquid, etc.
  - 2) Calibration data for relevant components
  - 3) Description of interpolation/extrapolation scheme used
  - 4) Liquids used and characteristics
  - 5) Results of system check
- c) Uncertainty estimation
- 1) To include measurement uncertainty value from Table 5
  - 2) Any other relevant items
- d) Device and test details
- 1) Description of the form factor of the DUT and a brief description of its intended function
  - 2) Description of the positions and orientations to be tested and rationale for any test reductions including, when appropriate according to 6.1.4.2, justifications of the definition of the distances based on the physical relationship between the device and the phantom
  - 3) Description of the available and tested antenna(s) and accessories, including batteries
  - 4) Description of the available and tested operating modes, power levels and frequency bands and rationale for any test reductions
  - 5) Testing environmental condition, e.g., temperature
  - 6) Results of all tests performed (peak spatial-average SAR value for each test, and graphical representation of the coarse scans with respect to the device for the maximum SAR value of each mode) and details on scaling of the results
- e) Report summary
- 1) Tabulated SAR values over the testing positions, bands, modes and configurations
  - 2) Reference to exposure limits and a statement of compliance, or otherwise

## Annex A (informative)

### Phantom rationale

#### A.1 Rationale for the phantom characteristics

Phantoms that represent the human anatomy are essential components of electromagnetic exposure evaluation. It is neither always necessary nor practical for the phantoms to emulate the anatomical details, however it is important to define and standardise the relevant features, dimensions and material properties that affect SAR measurement. The statistical breakdown of anatomical shapes and sizes can be obtained from anthropometric studies of human population to guide the specification of a realistic phantom shape.

The shape and size of the flat phantom are important for accurate and representative SAR measurements. The part of the body exposed to the RF emissions of the body-worn devices is not always well defined and may vary with the product model design and usage.

The flat phantom should not be excessively large compared with the size of a human torso. Large phantoms are also more difficult to construct, and SAR measurement systems may not be capable of performing measurements in phantoms that are very large or very deep.

A flat phantom represents a simple engineering structure for which the SAR can easily and unambiguously be measured and calculated. It is an open-top thin dielectric shell with bottom wall which is filled with a tissue-equivalent liquid. The physical characteristics of the standard flat phantom are intended to simulate a human body.

A flat-bottomed phantom provides maximal surface area contact with the device under test and therefore generally gives a conservative estimate of SAR in a real person. In addition, a flat-bottomed phantom will accommodate devices of various sizes. Flat phantoms should be large enough to allow complete coupling of the RF radiating antenna and to allow scanning of 1 g and 10 g volumes.

The use of a flat phantom as a standard phantom for SAR evaluations of body-worn devices is intended to represent maximum coupling of variations and distortions which may be caused by irregularity of the tissue boundary among the population. Such coupling to the boundary while maintaining prescribed distances will likely produce a conservative estimation of SAR.

The compositions of the tissue-equivalent liquid specified in this standard have been designed to produce a conservative estimate of SAR in an equivalent human body assuming homogeneous composition of the body tissues (see also Annex H).

If the intended use of the device is within 200 mm of the torso or in front of the face then the hand may be ignored [73], [80]. The flat phantom may be used to simulate the hand if the intended use of the device is in the hand at more than 200 mm from the torso or the head. Estimation in the hand SAR using a flat phantom is addressed in Annex J.

#### A.2 Rationale for the phantom shell requirements

In order to prevent any influence on the phantom shape on the measured SAR, resonance effects must be eliminated. At low frequencies (30 MHz to 300 MHz), the freespace wavelength  $\lambda$  ranges from 1 m to 10 m, and resonances are likely to occur if the phantom dimensions are in the order of magnitude of  $\lambda/2$ . Reproducible measurements can only be warranted if the shape and size of the phantom are stringently specified.

For all frequencies above 300 MHz, size- and shape-dependent effects can be avoided by specifying minimum phantom dimensions and limiting the distance between the phantom and the device to less than 25 mm [2].

The phantom shell must be made of low loss and low permittivity material:  $\tan(\delta) \leq 0,05$  and relative permittivity  $\epsilon_r' < 5$  for  $f \leq 3$  GHz and  $\epsilon_r' = 4 \pm 1$  for  $f > 3$  GHz. These values on the relative permittivity are based on a study by Onishi and Uebayashi [62]. The thickness of the bottom of the flat phantom must be 2,0 mm at the location where the device is positioned, with a tolerance of  $\pm 0,2$  mm. This minimal thickness results in a conservative estimate of SAR compared to measurements on thicker phantoms. Smaller thicknesses are not recommended due to problems with mechanical strength when holding the liquid.

The effect of the shape and thickness on SAR is assumed to be less than 1 % if the above requirements are met, and therefore the effect can be neglected [2].

When filled with the required depth of liquid as given in 5.2.2, any sagging of the lower surface of the bottom side of the phantom container must be less than 2 mm. This ensures that the surface area contact of the device under test to the phantom liquid is maximized.

### A.3 Rationale for tissue-equivalent liquids

The dielectric properties (permittivity and conductivity) of the liquid as specified in 5.2.3 have been formulated to obtain a conservative assessment of the SAR, irrespective of the body characteristics of the user of the device for the comparable exposure conditions [6].

The electrical parameters of the tissue simulant liquids for head SAR measurements ("head tissue-equivalent liquid") were proposed by Drossos et al. [16]. The values for parameters were derived for 10 frequencies in the frequency range of 300 MHz to 3 000 MHz using an analytical model of an infinite half-space of layered tissues exposed to a plane wave. This approach allows to study the effect of impedance matching and standing waves to the peak spatial-averaged SAR. The tissue layers were varied in composition and thickness to represent the anatomical variation of the exposed head region, covering the user group including adults and children (between the 10th and 90th percentile). Based on the worst-case tissue layer compositions of the head with respect to absorption at each frequency, head tissue-equivalent liquid dielectric parameters for homogeneous modelling were derived resulting in the same or slightly higher spatial peak absorption. The dielectric properties of the tissues used to model the human head were computed by the 4-term-Cole–Cole formula, which is a simple extrapolation of the short time results. The validity of this approach for near-field exposure of the head was demonstrated using flat layered and anatomically representative child and adult head models based on magnetic resonance imaging (MRI) by Kainz et al.[39] and Beard et al. [1].

The study of Drossos et al. [16] was extended for general body tissue composition [6]. It was found that standing wave effects due to reflections in the subcutaneous adipose tissue lead to a significant increase of SAR in comparison to the findings of Drossos et al. [16]. This increase cannot be compensated by modifying the dielectric parameters of the tissue-equivalent liquids. A comprehensive analysis of the coupling mechanism shows that the standing wave effects need only to be considered in the Fresnel zone and the far-field zone of the DUT [7]. At close distances, a conservative exposure estimate can be achieved using the parameters for head tissue-equivalent liquids as proposed by Drossos et al. [16]. Therefore, the liquid parameters defined in IEC 62209-1:2005 have been retained for the measurements of hand-held and body-mounted devices.

The frequency range of the tissue-equivalent liquids has been extended to 5,8 GHz considering the Cole-Cole dispersion characteristics of body tissues with high water content and the producibility of the liquids within the required tolerances. The permittivity and conductivity in the frequency range 3 GHz to 5,8 GHz were linearly interpolated, and also linearly extrapolated to 6 GHz.

For the frequency band 30 MHz to 150 MHz muscle tissue parameters are published in [22]. However, the high permittivity values are difficult to realize in practice. Since decreasing the permittivity leads to higher SAR lower permittivity values were chosen for the body simulant liquid, leaving conductivity values roughly unchanged.

For 150 MHz, conductivity and permittivity equal to those recommended for head tissue simulant in [17] were chosen. FDTD simulations showed that the tissue simulant electrical parameters proposed in Table 1 provide an overestimation for SAR regarding equipment for body-worn use at 30 MHz and 150 MHz.

Further information on the distance range within which these liquids yield a conservative exposure estimate is given in Annex H.

SAR is strongly dependent on the dielectric parameters of the tissue-equivalent material, as shown in Annex F. Therefore, it is important that these parameters are accurately measured before use in a phantom for SAR measurement.

Any combination of materials can be used for the tissue-equivalent material provided it has the required dielectric parameters within the specified tolerances at the frequency of interest. The application of the proposed body tissue-equivalent material electrical parameters leads to a conservative estimation of 1 g and 10 g volume averaged SAR under the conditions described in this annex.

## **Annex B** (normative)

### **SAR measurement system verification**

#### **B.1 General**

This clause provides procedures for the following:

- a) system check;
- b) system validation.

The objectives and applications of these different levels of validation procedures are as follows.

The system check provides a fast and reliable test method that can be performed daily or before every SAR measurement. The objective here is to ascertain that the set-up components are still within laboratory calibration limits, including drift effects. This test requires a flat phantom and a standard source, e.g., a half-wave dipole or open-ended waveguide.

System validation provides a means of system-level validation. The test set-up consists of a flat phantom and a reference dipole (see Annex D) or open-ended waveguide source. Therefore, system validation does not include uncertainty due to the use of anthropomorphic phantoms, nor does it include the uncertainty due to device positioning variability. This test is performed annually (e.g., after probe calibration), before measurements related to interlaboratory comparison (Annex E of IEC 62209-1:2005), and every time modifications have been made to the system, such as a new software version, different readout electronics, or different types of probes.

**NOTE** Interlaboratory comparisons provide laboratory qualification using a reference DUT (E.3 of IEC 62209-1:2005) and a standard anthropomorphic phantom. This qualification method includes the data scatter due to the human-like phantom and due to device positioning effects. This test is used to compare the accuracy and precision performance of various laboratories.

#### **B.2 System check**

##### **B.2.1 Purpose**

The purpose of the system check is to verify that the system operates within its specifications. The system check is a check of repeatability to make sure that the system works correctly at the time of the compliance test. The system check detects possible short-term drift and uncertainties in the system, such as:

- a) changes in the liquid parameters (e.g., due to water evaporation or temperature change),
- b) test system component failures,
- c) test system component drift,
- d) operator errors in the set-up or software parameters,
- e) other possible adverse conditions in the system configuration, e.g., RF interference.

The system check is a complete 1 g or 10 g averaged SAR measurement in a simplified set-up with a standard source (see B.2.3). The instrumentation and procedures in the system check are the same as those used for the compliance tests. The system check shall be performed using the same liquid as in the compliance test and at a chosen fixed frequency that is within  $\pm 10\%$  or  $\pm 100$  MHz of the compliance test mid-band frequency, whichever is greater. System checks shall be performed daily or before every SAR measurement and the

results shall always be within the tolerance specified in B.2.5. The target values are 1 g or 10 g averaged SAR values measured on systems having current system validation and calibration status, and using the system check setup as shown in Figure B.1. These target values should be determined using a standard source.

System performance should be checked using the system check procedures to ensure that the system operates within specifications and tolerance ranges. This procedure should be done prior to a full-compliance SAR evaluation.

### **B.2.2 Phantom set-up**

A flat phantom shall be used with the recommended tissue-equivalent liquid for the system check and system validation purposes (see Clause 5). The shape, dimensions and other specifications of the flat phantom are given in 5.2.2.

For dipole sources, the feedpoint shall be placed at the centre of the ellipse or rectangle, and the dipole arms shall be aligned with the major axis (see Annex D for dipole specifications). For waveguide sources, the longer side of the waveguide shall be aligned with the major axis. The material shall be resistant to damage or reaction with tissue-equivalent liquid chemicals.

### **B.2.3 Standard source**

The phantom shall be irradiated using a standard source for the required frequency (e.g., a half-wave dipole, or patch antenna or open-ended waveguide). The reference dipoles source used for system validation (see Annex D) can also but are not required to be used for the system check. A standard source shall be selected which has good positioning repeatability, mechanical stability, and impedance matching. In the following positioning instructions, a half-wave dipole is assumed as an example of a standard source.

A half-wave dipole shall be positioned below the bottom of the phantom and centred with its axis parallel to the longest dimension of the phantom. The distance between the liquid-filled phantom inner surface and the dipole centre,  $s$ , (see Figure B.1 and Table D.1) shall be specified for each test frequency. A low loss (loss tangent  $< 0,5$ ) and low relative permittivity (relative permittivity  $< 5$ ) spacer shall be used to establish the correct distance between the top surface of the dipole and the bottom surface of the phantom. The dipole shall have a return loss less than  $-20$  dB at the resonant frequency (as measured in the set-up) to reduce the uncertainty in the power measurement. The acceptable tolerance of the distance  $s$  shall be within  $\pm 0,2$  mm.

### **B.2.4 Standard source input power measurement**

The uncertainty of the power to the source shall be as low as possible. This requires the use of a test set-up with directional couplers and power meters during the system check. The recommended set-up is shown in Figure B.1 (which uses a half-wave dipole as an example of a standard source).

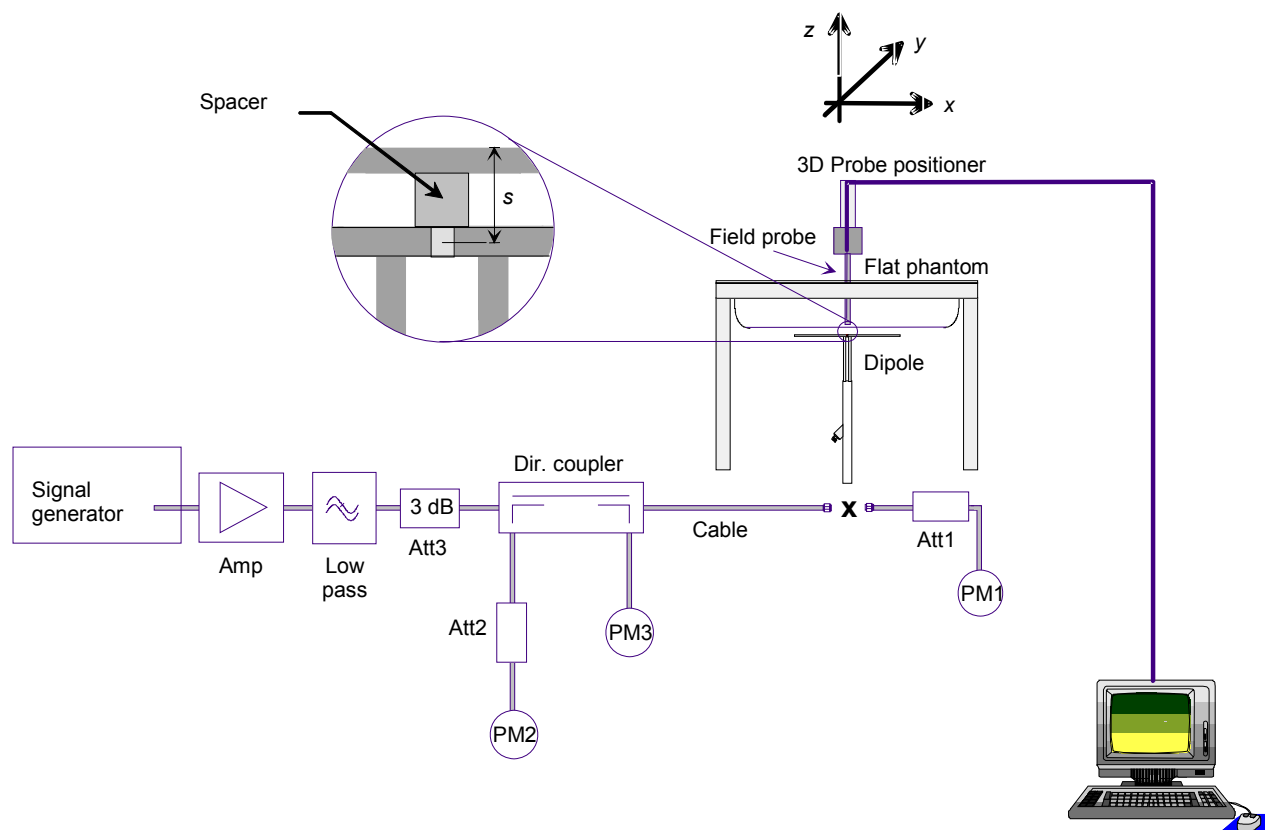


**Figure B.1 – Set-up for the system check**

First the power meter PM1 (including attenuator Att1) is connected to the cable to measure the forward power at the position of the dipole standard source connector (X). The signal generator is adjusted for the desired forward power at the dipole source connector (taking into account the attenuation of Att1) as read by power meter PM1. After connecting the cable to the dipole source, the signal generator is readjusted for the same reading at power meter PM2. If the signal generator does not allow adjustment in 0,01 dB steps, the remaining difference at PM2 shall be taken into consideration. The matching of the dipole source should be checked using a network analyser (in regular intervals) to ensure that the reflected power is at least 20 dB below the forward power.

The component and instrumentation requirements are as follows:

- The signal generator and amplifier shall be stable (after warm-up). The forward power to the dipole source shall be high enough to produce a SAR value exceeding the lower detection limit of the probe system (see B.5 of IEC 62209-1:2005). If the signal generator can deliver 15 dBm or more, an amplifier is generally not necessary. Some high power amplifiers shall not be operated at a level far below their maximum output power, e.g., a 100 W power amplifier operated at 250 mW output power can be quite noisy. An attenuator between the signal generator and amplifier is recommended to protect the amplifier input.
- The low pass filter inserted after the amplifier reduces the effect of harmonics and noise from the amplifier. For most amplifiers in normal operation, the filter is not necessary.
- The attenuator after the amplifier improves the source matching and the accuracy of the power sensor (consult the power meter manual).
- The directional coupler (recommended - 20 dB coupling coefficient) is used to monitor the forward power and adjust the signal generator output for constant forward power. A medium-quality coupler is sufficient because the loads (dipole and power head) are both well matched.

- e) The power meters PM2 and PM3 shall have low drift and a resolution of 0,01 dBm, but otherwise the accuracy has negligible impact on the power setting (absolute calibration is not required).
- f) The power meter PM1 and attenuator Att1 shall be high-quality components. These shall be calibrated, preferably together. The attenuator (– 10 dB) improves the accuracy of the power reading (some high-power heads come with a built-in calibrated attenuator). The exact loss factor of the attenuator at the test frequency shall be known; many attenuators vary up to 0,2 dB from the specified value.
- g) Use the same power level for PM1 test as used for the actual measurement to avoid linearity and range switching uncertainties in the power meters PM2 and PM3. If the power level is changed, the power level setting procedure shall be repeated.
- h) The dipole source shall be connected directly to the cable at position “X”. If the power meter has a different connector type, use high-quality adapters.
- i) It is recommended to periodically check the insertion loss of the cables (especially the cable that connects the directional coupler to the dipole antenna) to ensure that they are of good quality. The insertion loss should be low (e.g., within 1 dB; this depends on cable length and frequency) and stable across frequency. Do not assume that a cable that works well at a lower frequency (e.g., 900 MHz) will work well at a higher frequency (e.g., 5 GHz). Higher quality cables may be needed for higher frequency operation. During the system check, movement of the cable should be avoided, as this may affect the cable loss.

### **B.2.5 System check procedure**

The system check is a complete 1 g and/or 10 g averaged SAR measurement. The measured 1 g and/or 10 g averaged SAR value is normalized to the target input power of the standard source and compared with the previously recorded target 1 g and/or 10 g value corresponding to the measurement frequency, the standard source and phantom type. If the validation dipoles are used for system check as the standard source then the difference from the target values should be within the uncertainty of the system repeatability, but not larger than  $\pm 10 \%$ . If another standard source is used, then the target value and its uncertainty shall be assessed and documented.

## **B.3 System validation**

### **B.3.1 Purpose**

The system validation procedure tests the system against reference SAR values, and the performance of probe, readout electronics and software. It is a validation of the system with respect to the reference SAR values in Table B.1. This set-up utilizes a flat phantom and a reference dipole source. Thus, this validation procedure does not include uncertainty due to device positioning variability.

System validation is performed annually, when a new system is put into operation, or whenever modifications have been made to the system, such as a new software version, different readout electronics, or different types of probes. System validation shall be done with a calibrated probe.

The objective of this clause is to provide a methodology for SAR measurement system validation. Since SAR measurement equipment, calibration techniques, phantoms, and tissue-equivalent liquids can vary widely between various laboratories, a validation methodology is needed to ascertain that uniform results are obtained within reasonable measurement uncertainties. Numerically calculated reference SAR values for use in system validation are listed in Table B.1.

NOTE The system validation procedure is neither an alternative to probe calibration nor to the uncertainty estimation of Clause 7. The probe and the readout electronics shall be calibrated regularly according to the procedures given in Annex B of IEC 62209-1:2005. Probe hemispherical isotropy is not considered in the protocol for system validation.

### B.3.2 Phantom set-up

The flat phantom set-up described for the system check (see Figure B.1) is also used for the system validation tests. The system validation shall be performed using tissue-equivalent liquids having dielectric properties as defined in Table 1.

### B.3.3 Reference sources

#### B.3.3.1 Reference dipole source

The phantom shall be irradiated using a reference dipole specified in Annex D for the required frequency. The reference dipole shall be positioned below the bottom of the phantom and centred with its axis parallel to the longest side of the phantom. A low loss and low relative permittivity spacer can be used to establish the correct distance between the top surface of the reference dipole and the bottom surface of the phantom. The distance between the liquid-filled phantom bottom surface and the reference dipole centre (designated  $s$ ) is specified within 0,2 mm for each test frequency. The reference dipole shall have a return loss better than - 20 dB (measured in the set-up) at the resonant frequency to reduce the uncertainty in the power measurement.

For the reference dipoles described in Annex D, the spacing distance  $s$  is given by:

- a)  $s = 15 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$  for  $300 \text{ MHz} \leq f \leq 1\,000 \text{ MHz}$ ;
- b)  $s = 10 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$  for  $1\,000 \text{ MHz} < f \leq 3\,000 \text{ MHz}$ ;
- c)  $s = 10 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$  for  $3\,000 \text{ MHz} < f \leq 6\,000 \text{ MHz}$ .

The reference dipole arms shall be parallel to the flat surface of the phantom within a tolerance of  $\pm 2^\circ$  or less (see Figure B.1).

Computation of the reference values for frequencies  $> 5\,000 \text{ MHz}$  requires specific consideration of the build structure of the small dipoles (both internal and external) and numerical values may therefore only be specific to dipoles from one manufacturing source. Also, the structure of the distance spacer used shall also be modelled as it can affect the numerical values obtained.

#### B.3.3.2 Reference waveguide sources

The reference SAR values for waveguide sources given in Table B.2 are, at present, only defined for frequencies  $> 5\,000 \text{ MHz}$ . This is due to the difficulties of handling the larger waveguides needed for lower frequencies. Above  $5\,000 \text{ MHz}$ , the reference SAR values calculated for waveguides are less dependent on constructional nuances than for dipoles. Two procedures have been advanced for using either open-ended or matched-window waveguides resulting in the two sets of reference values given in Table B.2.

#### B.3.3.3 Reference open-ended waveguide source

The purpose of this subclause is to provide a procedure for using a full-band rectangular waveguide as a source for system validation and system check. The procedure is applicable for frequencies above  $5 \text{ GHz}$ , where the use of dipole sources may require very detailed consideration of spacer and internal structure to enable accurate computation of reference values. Waveguide sources provide a more readily modelable source geometry for which reference values will be less dependent on manufacturing implementation details.

Reference waveguide sources have been studied for the two cases of open-ended waveguides spaced away from the flat-phantom [52] and waveguides with a matching window placed directly against the phantom [70]. Different waveguide dimensions were used for each study, so the reference values (given in Table B.2) are different for each case. Choice of method will depend on equipment availability. A waveguide with a matching window is needed for SAR probe calibration, and use of this procedure [70] offers easier source positioning and

requires less waveguide components. The open-ended procedure has the advantages of not requiring a matching window and the ability to tune the waveguide to minimise reflected power.

The procedure using a matching-window is described here but full details enabling the use of the open-ended waveguide have been published [52], where the reference values listed in Table B.2 are given.

The matched-waveguide source described in [70] uses a rectangular waveguide (WR 137 also known as WG13) with internal dimensions of 40 mm × 20 mm. A 4,3 mm thick matching window is implemented in the form of a detachable flange containing a low-loss ceramic material of relative permittivity,  $K = 6$ . The flange dimensions are those for an IEC-designated PDR58 flange i.e. 81 mm by 62 mm in overall extent.

Reference values for this source geometry have been computed at frequencies of 5 200 MHz and 5 800 MHz by different groups using different FDTD codes [51],[70] and the values are listed in Table B.2.

The proposed validation reference values include data for the centreline decay in a box phantom when following the procedures above. The equations given in Table B.2 have been fitted to the computationally-derived FDTD data [52] and can be used to represent reference value centreline profiles.

Centreline scans (above the centre of the waveguide matching window) should be made in steps of 0,2 mm starting with the probe in direct contact with the bottom of the phantom box. The SAR values should be normalised to 0,25 W feed input power and post-processed to apply boundary corrections for comparison with the reference profiles. Separate consideration should be given to the shape and magnitude of the measured data in relation to the reference values. It should be demonstrated that the shape of the profile matches the reference profiles to confirm the absence of interfering influences and the applicability of any boundary correction scheme applied.

With the feed-input to the waveguide set-up as in Figure B.1 (but with waveguide instead of dipole source), and with 3D scan data collected according to the criteria of Clause 5, SAR values normalised to a net input power of 0,25 W should be compared with the reference values in Table B.2.

Full-band rectangular waveguides can be used as well-characterized broadband irradiators for SAR system validations for frequencies in excess of 3 GHz. Commercially available waveguides are broadband with simultaneous bandwidths larger than 1 GHz to 2 GHz.

#### **B.3.4 Reference dipole input power measurement**

The input power measurement set-up described for the system check (see B.2.4) is also used for system validation tests.

#### **B.3.5 System validation procedure**

System validation is used for verifying the accuracy of the complete measurement system and accuracy of the software and control algorithms. Device positioning uncertainties are not considered. The system validation procedure consists of five steps. Step a) is the most important part of the system validation procedure and shall be done every time. Steps b) to e) (recommended) offer a means for quick and simple validations of the performance of probe, readout electronics, and software. These additional tests shall be done any time system components have been modified (e.g., new software release, new readout electronics, new probe type) but need only to be performed for the same system version by each laboratory (e.g., by the calibration laboratory or by the SAR measurement system end-user laboratory). The system validation procedure is as follows:

- a) SAR evaluation: A complete 1 g and/or 10 g averaged SAR measurement is performed using a standard source of Annex D. The input power of the standard source is adjusted to produce a 1 g and/or 10 g averaged SAR value falling in the range of 0,4 W/kg to 10 W/kg. The 1 g and/or 10 g averaged SAR is measured at frequencies in Table B.1 within the range to be used in compliance tests. The results are normalized to 1 W forward input power and compared with the reference SAR value shown in columns 3 and 4 of Table B.1. The difference between the measured values and the target values given in Table B.1 or Table B.2 should be less than the expanded uncertainty for the system validation using the procedures of Table 6.
- b) Extrapolation routine: Local SAR values are measured along a vertical axis directly above the centre of the standard source (i.e., dipole feed-point or centre line of waveguide) using the same test grid-point spacing as used for handset SAR evaluations. The measured values are extrapolated to the phantom surface and compared to the appropriate target value (column 5 of Table B.1 or column 4 of Table B.2, with  $d = 0$ ). If the dipole source is used, this measurement is repeated along another vertical axis with a 2 cm transverse offset ( $y$  direction of Figure B.1) from the standard dipole feed-point. SAR values are extrapolated to the phantom surface and compared with the numerical values given in column 6 of Table B.1. The difference between the extrapolated values and the target values should be less than the expanded uncertainty for system validation using the procedures of Table 6.
- c) Probe linearity: The measurements in step a) are repeated using different input power levels. The power levels selected for each frequency are selected to produce 1 g and/or 10 g averaged SAR values of approximately 10 W/kg, 2 W/kg, 0,4 W/kg, 0,08 W/kg and 0,01 W/kg. The measured SAR values are normalized to 1 W forward input power and compared with the 1 W normalized values from step a). The difference between these values should be less than the expanded uncertainty for the linearity component using the procedures of Table 6 and 7.2.2.3.
- d) Modulation response: The measurements in step a) are repeated with pulse-modulated signals having a duty factor of 0,1 and pulse repetition rate of 10 Hz. The power is adjusted to produce a 1 g and/or 10 g averaged SAR of approximately 8 W/kg with a CW signal or a peak power of approximately 80 W/kg. The measured SAR values are normalized to 1 W forward input power and duty factor of 1, and compared with the 1 W normalized values from step a). The difference between these values should be less than the expanded uncertainty for system validation using the procedures of Table 6.
- e) Probe axial isotropy: The center point of the probe's sensors is placed directly above the centre of the standard source at a measurement distance of 5 mm to 10 mm from the phantom inner surface. The probe (or standard source) is rotated around its axis at least 180° in steps no larger than 15°. The maximum and minimum SAR readings are recorded. The difference between these values should be less than the expanded uncertainty for the axial isotropy component using the procedures of Table 6 and 7.2.2.2.

### B.3.6 Reference SAR values

In the system validation test, the reference dipole constructed for the frequency  $f_i$  (described in Annex D) shall produce the numerical reference peak spatial-average SAR values shown in columns 3 and 4 of Table B.1, within the uncertainty for system validation (see Table 6 Note 10). Columns 5 and 6 of Table B.1 are used to validate the system extrapolation routines, as described in B.3.5. The reference SAR values have been calculated using the FDTD numerical-computation method with the parameters of the flat phantom of Table D.2. The values for frequencies between 300 MHz and 6 000 MHz have been experimentally verified. The values above 3 GHz depend on the dipole spacer and detailed construction of the dipoles and may vary by as much as  $\pm 10\%$ . The reasons are that the dipole dimensions are short with respect to arm diameter and spacer dimensions, i.e., the numerical reference values are not generic and need to be determined for a particular configuration. The dielectric properties used for the liquid are defined in Table 1, and the dimensions of the reference dipoles are shown in Table D.1. Different reference SAR value may apply for dipoles whose mechanical dimensions depart from those of the reference dipoles given in Annex D.

**Table B.1 – Numerical reference SAR values for reference dipoles and flat phantom –  
All values are normalized to a forward power of 1 W**

| 1                | 2                                | 3               | 4                | 5                                                    | 6                                                                         |
|------------------|----------------------------------|-----------------|------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Frequency<br>MHz | Phantom shell<br>thickness<br>mm | 1 g SAR<br>W/kg | 10 g SAR<br>W/kg | Local SAR<br>at surface (above<br>feedpoint)<br>W/kg | Local SAR<br>at surface ( $y = 2$ cm<br>offset from<br>feedpoint)<br>W/kg |
| 300              | 6,3                              | 3,02            | 2,04             | 4,40                                                 | 2,10                                                                      |
| 300              | 2,0                              | 2,85            | 1,94             | 4,14                                                 | 2,00                                                                      |
| 450              | 6,3                              | 4,92            | 3,28             | 7,20                                                 | 3,20                                                                      |
| 450              | 2,0                              | 4,58            | 3,06             | 6,75                                                 | 2,98                                                                      |
| 750              | 2,0                              | 8,49            | 5,55             | 12,6                                                 | 4,59                                                                      |
| 835              | 2,0                              | 9,56            | 6,22             | 14,1                                                 | 4,90                                                                      |
| 900              | 2,0                              | 10,9            | 6,99             | 16,4                                                 | 5,40                                                                      |
| 1 450            | 2,0                              | 29,0            | 16,0             | 50,2                                                 | 6,50                                                                      |
| 1 800            | 2,0                              | 38,4            | 20,1             | 69,5                                                 | 6,80                                                                      |
| 1 900            | 2,0                              | 39,7            | 20,5             | 72,1                                                 | 6,60                                                                      |
| 1 950            | 2,0                              | 40,5            | 20,9             | 72,7                                                 | 6,60                                                                      |
| 2 000            | 2,0                              | 41,1            | 21,1             | 74,6                                                 | 6,50                                                                      |
| 2 450            | 2,0                              | 52,4            | 24,0             | 104                                                  | 7,70                                                                      |
| 2 585            | 2,0                              | 55,9            | 24,4             | 119                                                  | 7,90                                                                      |
| 2 600            | 2,0                              | 55,3            | 24,6             | 113                                                  | 8,29                                                                      |
| 3 000            | 2,0                              | 63,8            | 25,7             | 140                                                  | 9,50                                                                      |
| 3 500            | 2,0                              | 67,1            | 25,0             | 169                                                  | 12,1                                                                      |
| 3 700            | 2,0                              | 67,4            | 24,2             | 178                                                  | 12,7                                                                      |
| 5 000            | 2,0                              | 77,9            | 22,1             | 305                                                  | 15,1                                                                      |
| 5 200            | 2,0                              | 76,5            | 21,6             | 310                                                  | 15,9                                                                      |
| 5 500            | 2,0                              | 83,3            | 23,4             | 349                                                  | 18,1                                                                      |
| 5 800            | 2,0                              | 78,0            | 21,9             | 341                                                  | 20,3                                                                      |

NOTE 1 The mechanical dimensions of the reference dipoles given in Annex D shall be used. The values above 3 GHz depend on the dipole spacer and detailed construction of the dipoles and may vary by as much as  $\pm 10$  %. The reasons are that the dipole dimensions are short with respect to arm diameter and spacer dimensions, i.e. the numerical reference values are not generic and need to be determined for a particular configuration.

NOTE 2 The phantom dimensions given in 5.2.2 shall be used. The values above 3 GHz depend on the dipole spacer and may vary by as much as  $\pm 10$  %

NOTE 3 Should the dipole forward power result in measured SAR values that are above the dynamic range of the probe, lower powers should be used so as not to introduce additional measurement uncertainty or damage the probe.

Table B.2 shows the reference SAR values for the system validation test using the standard waveguide sources described in Annex D. The reference SAR values of Table B.2 were calculated using the finite-difference time-domain method [53]. The waveguide used in the simulations was modeled as a perfect electric conductor with dimensions as specified in Annex D. The phantom used in the simulations has a height of 216 mm, a width of 152 mm, a depth of 80 mm, a shell thickness of 2 mm and a shell relative permittivity of 2,56. The dielectric parameters of the liquid are as defined in Table 1.

**Table B.2 – Numerical reference SAR values for reference matched waveguides in contact with flat phantom (from reference [53])**

| Frequency (MHz)                                                                                                                                                                                                         | 1g SAR (W/kg/W) | 10g SAR (W/kg/W) | Point SAR as a function of distance, $d$ (mm) into the phantom along its centre-line |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 5 200                                                                                                                                                                                                                   | 159,0           | 56,9             | $548,4 \exp(-2d/6,25)$                                                               |
| 5 800                                                                                                                                                                                                                   | 181,2           | 61,5             | $682,0 \exp(-2d/5,57)$                                                               |
| NOTE 1 All SAR values are normalized to 1 W forward power.                                                                                                                                                              |                 |                  |                                                                                      |
| NOTE 2 The 1 g and 10 g reference SAR values are only valid for the system validation procedure, using standard waveguides having dimensions as defined in Annex D.                                                     |                 |                  |                                                                                      |
| NOTE 3 Should the forward power result in measured SAR values that are above the dynamic range of the probe, lower powers should be used so as not to introduce additional measurement uncertainty or damage the probe. |                 |                  |                                                                                      |

## **Annex C** (informative)

### **Fast SAR testing**

#### **C.1 General**

This annex specifies a possible approach for fast SAR assessment techniques which all aim at reducing the measurement time, to identify the highest SAR test conditions. Fast SAR techniques can be classified into three classes which are subsequently considered in the following subclauses.

#### **C.2 Fast SAR methods based on specific measurement procedures and post-processing techniques**

A first class of fast SAR techniques is based on a modified measurement procedure and post-processing algorithms. In practice, these methods require a special software but use a measurement system satisfying the specifications of Clause 5. For this type of approach, the idea is generally to decrease the time used for mechanical probe movements by significantly reducing the number of measurement points, and applying appropriate interpolation and extrapolation schemes [4], [9], [42], [43], [54], [55], [58]. In particular, some of the methods, e.g., [9], [43], [54], only necessitate a coarse area-scan and use extrapolation of all the volumetric data.

By definition, contributions of mechanical constraints to the uncertainty budget (7.2.3) will remain unchanged when using such techniques. However, the post-processing uncertainty contribution (7.2.5) may be different. In particular, the uncertainties in peak SAR location and mass-averaged SAR calculation have to be determined. However, since the zoom-scan step is omitted in most of the available techniques, 7.2.5.3.1 and 7.2.5.3.2 have to be considered in a different way. For some of the methods, e.g. [9], physical parameters (7.2.4) can also have an impact on the uncertainty budget, if the extrapolated SAR values depend on the dielectric parameters of the tissue-equivalent liquids in a specific way.

#### **C.3 Fast SAR methods based on specific SAR assessment systems**

The second class of fast SAR techniques includes a broad range of techniques but using SAR assessment systems generally meeting the Clause 5 specifications.

Among the existing and known techniques, most of them also focus on reducing probe movements, especially by using several probes or a probe array [8], [11], [36], [45], [57]. Probes of various types may be used (e.g. probes measuring only two tangential field components, thermal probes...), as well as different types of phantoms (solid, filled with gel...). Some of the systems, e.g. in [8], also use specific probe technologies and electronics allowing the assessment of the phase of the electric field in a given plane. Different types of dedicated post-processing algorithms [8], [45] can then be used to reconstruct the volumetric data inside the phantom.

Concerning the uncertainty budget, the contributions due to measurement procedures and post-processing methods for such specific assessment systems can be treated as in C.2. However, Clause 7 may not be sufficient to determine the complete uncertainty budget for any fast SAR method. Indeed, since this class of techniques use specific hardware, certain uncertainty contributions are hardware-dependent. An appropriate uncertainty budget shall hence be assessed, following explicit scientific or engineering rationales.

## **C.4 Fast SAR methods based on theoretical search for the highest SAR test conditions**

### **C.4.1 General**

A device may be usable with several antenna options, battery options and other accessories, and the number of possible combinations can be very large. Three traditional methods of experimentation are given below. These methods have drawbacks compared to the design of experiments (DOE) approach described in 6.2.2.

### **C.4.2 One-Factor-At-A-Time (OFAT) search**

With this method, the experimenter starts with a baseline test condition and successively varies one factor at a time while holding all other factors constant. For example, this could be achieved by first varying antenna configurations, then battery types, then carry accessory types, then audio accessory types. At the end of each step, the factor giving the highest SAR is selected for the next steps. The main drawback of this approach is that it does not consider any interactions between the different accessory types (e.g., the interaction of the battery and the antenna on SAR that is not explained by the influences of each factor independently). If interactions exist, the OFAT approach may not find the optimum (i.e. highest SAR) solution.

### **C.4.3 Analysis of unstructured data**

A common source of unstructured data is historical data. This data typically was collected without any specific objective in mind, or it may have been collected for different purposes than the current experimental objective. This data may be useful in spotting trends, but it may be very difficult to have high confidence in the findings.

For this reason, any findings from the analysis of unstructured data should be verified (e.g., using a DOE).

### **C.4.4 Best Educated Guess (BEG)**

The BEG approach is the use of technical or theoretical knowledge of the DUT to determine how the experimentation should be proceeded. The drawback to this approach is that if the initial best guess does not produce the desired results, the experimenter has to take another guess. This can continue without any guarantee of success. For this reason, this approach is not appropriate for SAR compliance evaluation.

## Annex D (informative)

### Standard sources and phantoms for system validation

#### D.1 Dipoles

A flat phantom should be irradiated using a reference dipole for the required frequency. The reference dipoles are defined for the specific dielectric parameters and thickness of the phantom shell as indicated in Table D.1. The reference dipole should be positioned below the bottom of the phantom and centred with its axis parallel to the longest dimension of the phantom. A low loss and low relative permittivity spacer can be used to establish the correct distance between the top surface of the reference dipole and the bottom surface of the phantom. The spacer should not change the measured 1 g and 10 g averaged SAR values more than 1 %. The distance between the liquid-filled phantom bottom surface and the reference dipole centre (designated  $s$ ) is specified within 0,2 mm for each test frequency. The reference dipole should have a return loss of better than –20 dB (measured in the test system) at the test frequency to reduce the uncertainty in the power measurement. To meet this requirement, it is acceptable to fine-tune the reference dipoles using low-loss dielectric or metal tuning elements at the ends of the dipole. See Figure D.1 and Table D.1 for the mechanical dimensions of the dipole.

At frequencies above 3 GHz, the influence of the spacer on the dipole impedance can be significant, i.e., the spacer is not independent but shall be considered as an integral part of dipole. Hence, the same spacer, for which the dipole was optimized, shall always be used. The effect of the position change of the spacer with respect to the feedpoint need to be assessed and considered in the uncertainty budget of the dipole (7.2.6).

#### D.2 Target SAR values

##### D.2.1 Target SAR values below 3 GHz

The mechanical dimensions of the dipoles shall be met with a tolerance of better than  $\pm 2$  %. The target values are provided in Table B.1. It is important to demonstrate by numerical means that this spacer does not change the measured 1 g and 10 g averaged SAR values more than 1 %.

##### D.2.2 Target SAR values above 3 GHz

The target values above 3 GHz cannot be universally given as for below 3 GHz due to the greater effect from the spacer, phantom bottom and mechanical tolerances. Thus, the target values may be different from one dipole to another. It is important that for each dipole used for system validation a fully documented analysis is provided based on numerical simulations. This shall include a sensitivity analysis of the mechanical tolerances, feedpoint modelling and phantom properties.

**Table D.1 – Mechanical dimensions of the reference dipoles**

| Frequency<br>MHz | Phantom shell<br>thickness<br>mm | $L$<br>mm | $h$<br>mm | $d_1$<br>mm | $d_2$<br>mm |
|------------------|----------------------------------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| 300              | 6,3                              | 396,0     | 250,0     | 6,35        |             |
| 300              | 2,0                              | 420,0     | 250,0     | 6,35        |             |
| 450              | 6,3                              | 270,0     | 166,7     | 6,35        |             |
| 450              | 2,0                              | 290,0     | 166,7     | 6,35        |             |
| 750              | 2,0                              | 176,0     | 100,0     | 6,35        |             |
| 835              | 2,0                              | 161,0     | 89,8      | 3,6         |             |
| 900              | 2,0                              | 149,0     | 83,3      | 3,6         |             |
| 1 450            | 2,0                              | 89,1      | 51,7      | 3,6         |             |
| 1 800            | 2,0                              | 72,0      | 41,7      | 3,6         |             |
| 1 900            | 2,0                              | 68,0      | 39,5      | 3,6         |             |
| 1 950            | 2,0                              | 66,3      | 38,5      | 3,6         |             |
| 2 000            | 2,0                              | 64,5      | 37,5      | 3,6         |             |
| 2 450            | 2,0                              | 51,5      | 30,4      | 3,6         |             |
| 2 585            | 2,0                              | 49,1      | 29,0      | 3,6         |             |
| 2 600            | 2,0                              | 48,5      | 28,8      | 3,6         |             |
| 3 000            | 2,0                              | 41,5      | 25,0      | 3,6         |             |
| 3 500            | 2,0                              | 37,0      | 26,4      | 3,6         |             |
| 3 700            | 2,0                              | 34,7      | 26,4      | 3,6         |             |
| 5 000            | 2,0                              | 20,6      | 40,3      | 3,6         | 2,1         |
| 6 000            | 2,0                              | 20,6      | 40,3      | 3,6         | 2,1         |

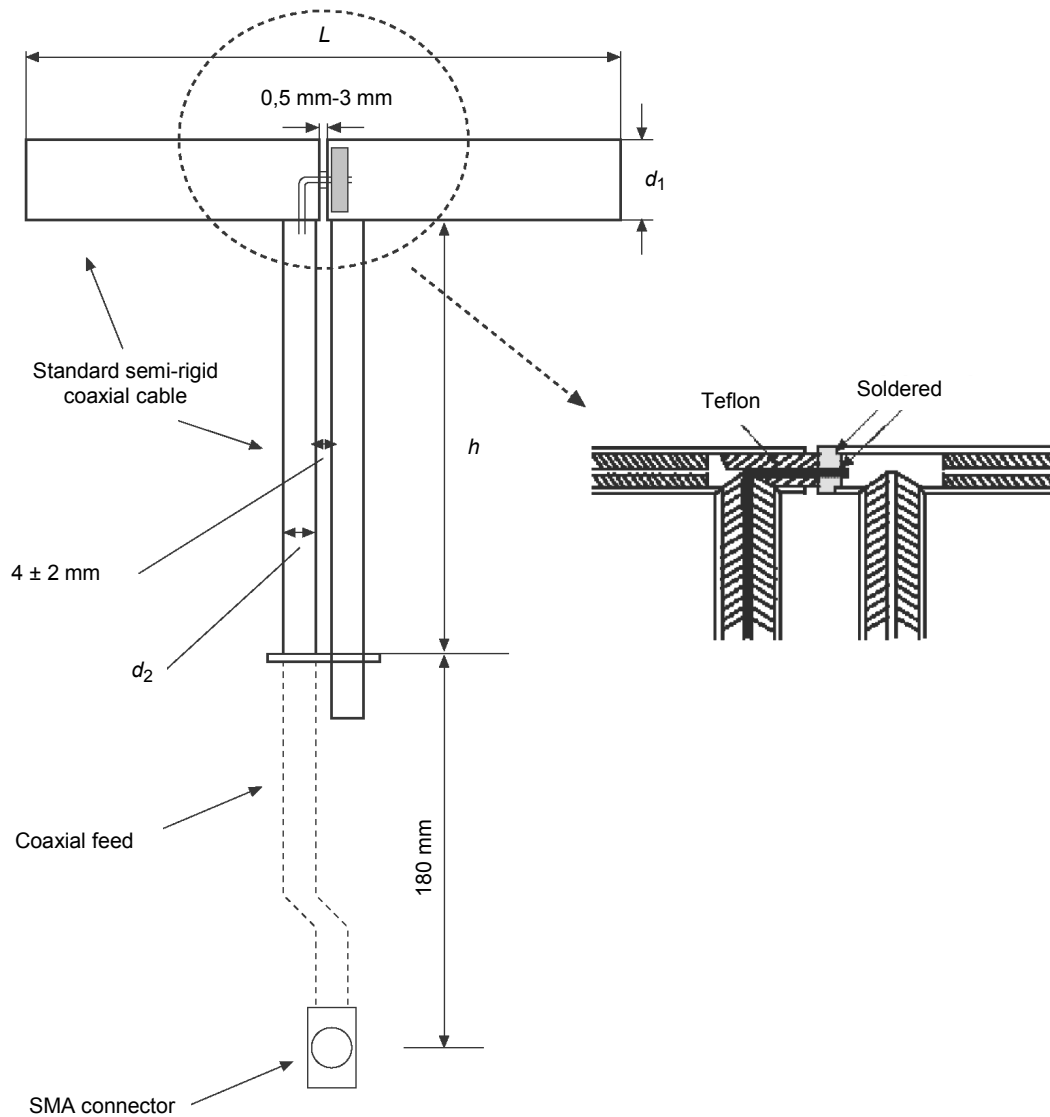
NOTE 1 The tolerance on  $L$ ,  $h$  and  $d$  should be within  $\pm 2\%$ .

NOTE 2 The values for 5 000 MHz to 6 000 MHz are valid for a phantom shell thickness of 2 mm. The return loss shall be more than 20 dB (better than -20 dB).

For the reference dipoles described in this annex, the spacing distance  $s$  is given by:

- a)  $s = 15 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$  for  $300 \text{ MHz} \leq f \leq 1\,000 \text{ MHz}$ ,
- b)  $s = 10 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$  for  $1\,000 \text{ MHz} < f \leq 6\,000 \text{ MHz}$ .

The reference dipole arms shall be parallel to the flat surface of the phantom within a tolerance of  $\pm 2^\circ$  or less (see Figure D.2). This can be assured by carefully positioning the empty phantom and the reference dipole to horizontal level using a spirit level.



#### Key

|       |                                   |
|-------|-----------------------------------|
| $L$   | length of the dipole              |
| $d_1$ | diameter of the dipole arms       |
| $d_2$ | diameter of the stub              |
| $h$   | length of the balun choke section |

**Figure D.1 – Mechanical details of the reference dipole**

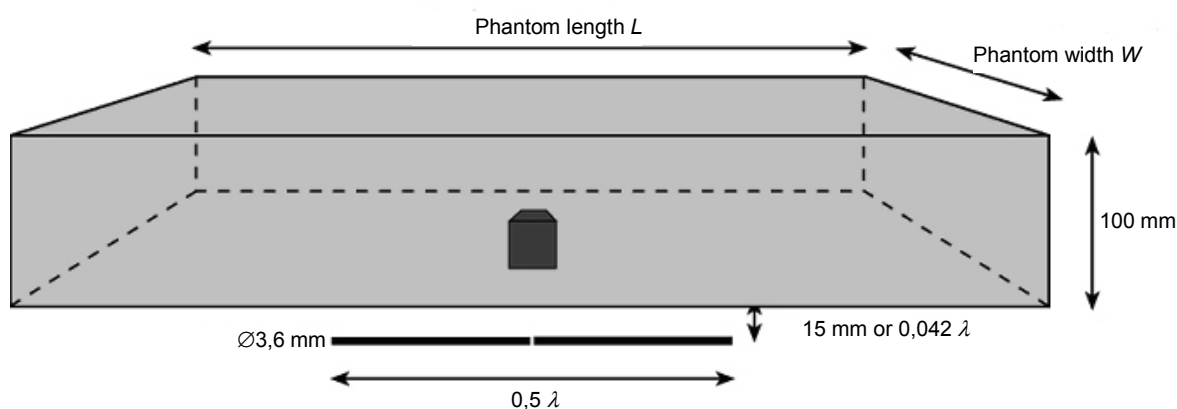
### D.3 Flat Phantom

The influence of the dimensions of the flat phantom (see Figure D.2) on the absorbed energy in a 10 g cube inside the liquid-only phantom (without box) was assessed numerically using a commercial FDTD code. The phantom was illuminated with a matched dipole antenna at a distance of 15 mm ( $0,042 \lambda$  at 840 MHz). The dimensions of the phantom ( $W$  and  $L$ ) were varied between  $0,4 \lambda$  and  $3 \lambda$ . The power absorbed in the cube was alternately normalized to a feedpoint current of 1 A or a feedpoint power of 1 W. Although deviations occur in the absorbed power in the cube when normalized either to the feedpoint power or the feedpoint current, the minimum dimensions necessary to keep the uncertainty below one percent were determined for both methods of normalization. The above conditions are met for dimensions of the flat phantom larger than  $0,6 \lambda$  in length and larger than  $0,4 \lambda$  in width, as shown by Figure D.3. The influence of the width of the phantom is not very large. However, the width

should not be less than  $0,4 \lambda$  to keep the deviation of the absorbed power within the limit of 1 %. The dimensions of the phantom set-up can be scaled in terms of the free-space wavelength. The dependence on the liquid properties is not very critical as long as it is relatively lossy.

The effects resulting in differences depend on perturbations of the dipole current magnitude and spatial distribution. Since the dipole dimensions are large compared with the SAR averaging volumes, the perturbations will increase with volume size. Although the depth used in this study was 100 mm, instead of the 150 mm required for the flat phantom in this annex, it is 2,57 times the penetration depth at 840 MHz, and therefore the power reflection at the liquid surface is negligible (less than 1 %).

NOTE Because of its larger size, a 10 g averaging cube will be more sensitive to dimension changes, i.e. the uncertainty associated with the 1 g average will be smaller than that of the 10 g average.



#### Key

$\lambda$  free-space wavelength

NOTE A 10 g cube is shown at the bottom centre of the flat phantom.

**Figure D.2 – Dimensions of the flat phantom set-up used for deriving the minimal dimensions for  $W$  and  $L$**

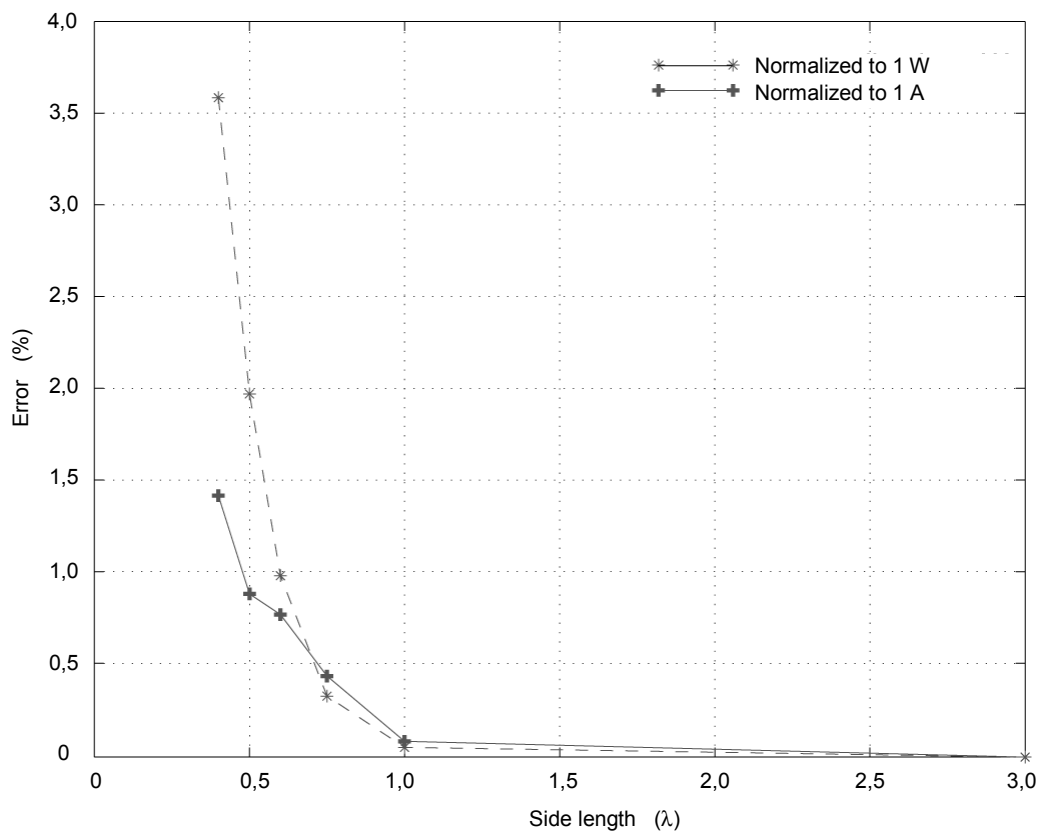


**Figure D.3 – FDTD predicted uncertainty in the 10 g peak spatial-average SAR as a function of the dimensions of the flat phantom compared with an infinite flat phantom**

**Table D.2 – Parameters used for calculation of reference SAR values in Table B.1**

| Frequency<br>MHz | Phantom shell<br>thickness<br>mm | Phantom shell<br>permittivity | Phantom<br>dimensions used<br>for FDTD models<br>mm<br><br>x, y, z | Reference dipole<br>distance s from the<br>liquid<br>mm |
|------------------|----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 300              | 6,3                              | 3,7                           | 1 000, 800, 170                                                    | 15                                                      |
| 450              | 6,3                              | 3,7                           | 700, 600, 170                                                      | 15                                                      |
| 750              | 2,0                              | 3,7                           | 700, 600, 170                                                      | 15                                                      |
| 835              | 2,0                              | 3,7                           | 360, 300, 150                                                      | 15                                                      |
| 900              | 2,0                              | 3,7                           | 360, 300, 150                                                      | 15                                                      |
| 1 450            | 2,0                              | 3,7                           | 240, 200, 150                                                      | 10                                                      |
| 1 800            | 2,0                              | 3,7                           | 220, 160, 150                                                      | 10                                                      |
| 1 900            | 2,0                              | 3,7                           | 220, 160, 150                                                      | 10                                                      |
| 1 950            | 2,0                              | 3,7                           | 220, 160, 150                                                      | 10                                                      |
| 2 000            | 2,0                              | 3,7                           | 160, 140, 150                                                      | 10                                                      |
| 2 450            | 2,0                              | 3,7                           | 180, 120, 150                                                      | 10                                                      |
| 2 585            | 2,0                              | 3,7                           | 180, 120, 150                                                      | 10                                                      |
| 2 600            | 2,0                              | 3,7                           | 180, 120, 150                                                      | 10                                                      |
| 3 000            | 2,0                              | 3,7                           | 220, 160, 150                                                      | 10                                                      |
| 3 500            | 2,0                              | 3,7                           | 174,110,150                                                        | 10                                                      |
| 3 700            | 2,0                              | 3,7                           | 174,110,150                                                        | 10                                                      |
| 5 000            | 2,0                              | 3,7                           | 90, 80, 35                                                         | 10                                                      |

| Frequency<br>MHz | Phantom shell<br>thickness<br>mm | Phantom shell<br>permittivity | Phantom<br>dimensions used<br>for FDTD models<br>mm<br><b>x, y, z</b> | Reference dipole<br>distance <i>s</i> from the<br>liquid<br>mm |
|------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 6 000            | 2,0                              | 3,7                           | 90, 80, 35                                                            | 10                                                             |

NOTE This table represents parameters used for the numerical FDTD modelling.

#### D.4 Mechanical dimensions of standard waveguide source

The standard waveguide source of Figure D.4 with mechanical dimensions given in Table D.3 (corresponding to WR159 or UK WG-13) will produce the SAR values given in Table B.2 when the system validation test of B.3 is followed. If waveguides are used that have different parameters than those given in Table D.3, or if waveguides are used at frequencies other than those listed in Table D.3, the reference SAR values for those sources should be documented and independently verified (e.g., by comparison of numerical simulations with measurements).

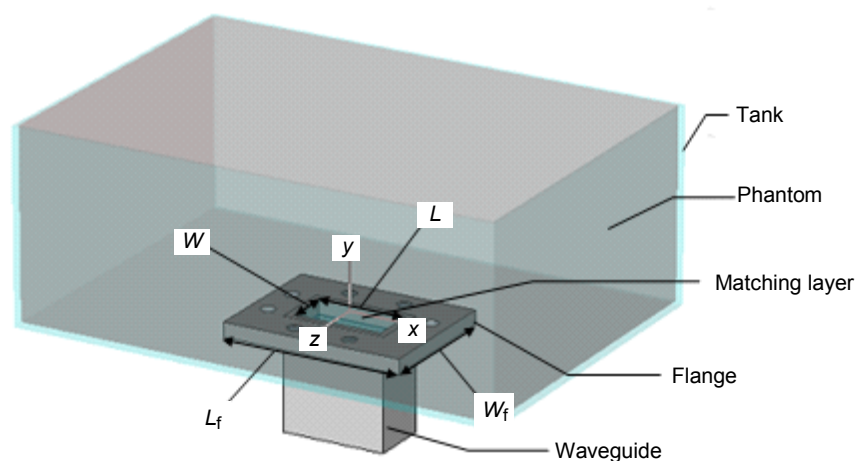


Figure D.4 – Standard waveguide source

Table D.3 – Mechanical dimensions of the standard waveguide

| Frequency<br>MHz | Phantom shell<br>thickness<br>mm | <i>L</i><br>mm | <i>W</i><br>mm | <i>L<sub>f</sub></i><br>mm | <i>W<sub>f</sub></i><br>mm | <i>t</i><br>mm | $\epsilon_r$ |
|------------------|----------------------------------|----------------|----------------|----------------------------|----------------------------|----------------|--------------|
| 5 200            | 2                                | 40,39          | 20,19          | 81,03                      | 61,98                      | 5,3            | 6            |
| 5 800            | 2                                | 40,39          | 20,19          | 81,03                      | 61,98                      | 4,3            | 6            |

NOTE *L* and *W* are the inner length and width of the waveguide, and *t* and  $\epsilon_r$  are the thickness and relative permittivity of the matching layer. *L<sub>f</sub>* and *W<sub>f</sub>* are the outer length and width of the flange. The matching layer is a lossless dielectric slab that fills the cross-sectional *L* × *W* area of the waveguide. The waveguide and matching layer are in direct contact with the phantom shell.

## Annex E (informative)

### Example recipes for phantom tissue-equivalent liquids

#### E.1 General

The dielectric properties of the liquid material used in the phantom shall be those listed in Table 1. For dielectric properties of tissue-equivalent liquid at other frequencies within the frequency range, a linear interpolation method shall be used. Table E.1 suggests examples of recipes for liquids having parameters as defined in Table 1.

More examples of recipes are given in Annex I of IEC 62209-1:2005.

#### WARNING

To ensure personnel safety, the users shall follow the instructions provided in the material safety data sheet (MSDS) for any material, and/or any local regulations.

#### E.2 Ingredients

The following ingredients are used for producing the tissue-equivalent liquids:

- a) Sucrose (Sugar) (> 98 % pure)
- b) Sodium Chloride (Salt) (> 99 % pure)
- c) De-ionised water (16 MΩ cm resistivity minimum)
- d) Hydroxyethyl Cellulose (HEC)
- e) Bactericide
- f) Diethylene Glycol Butyl Ether (DGBE) (> 99 % pure)
- g) Diethylene Glycol monohexylether
- h) Polyethylene glycol mono [4-(1,1,3,3-tetramethylbutyl) phenyl ether]. This is available as (Triton X-100). The quality of the Triton X-100 shall be ultra pure to match the composition of salt.
- i) Diacetin
- j) 1,2-Propanediol
- k) Polyoxyethylene (20) sorbitan monolaurate (Tween 20)
- l) Emulsifiers
- m) Mineral Oil

NOTE 1 Viscosity of HEC-based tissue-equivalent liquids should be low enough not to affect E-field probe movement.

NOTE 2 Add salt to water first to make a saline solution, then add the Triton X-100.

NOTE 3 Actual results and mixture percentages may vary from those shown depending on grade and type of components used.

NOTE 4 The formulas containing Triton X-100 are under review and verification.

### E.3 Tissue-equivalent liquid formulas (permittivity/conductivity)

Table E.1 – Suggested recipes for achieving target dielectric parameters

| Frequency (MHz)                                   | 30    |  |  | 50    |  |  | 144   |  |  | 450   |  |  | 835   |  |  | 900   |    |  |
|---------------------------------------------------|-------|--|--|-------|--|--|-------|--|--|-------|--|--|-------|--|--|-------|----|--|
| Recipe source number                              | 3     |  |  | 3     |  |  | 2     |  |  | 2     |  |  | 2     |  |  | 2     |    |  |
| <b>Ingredients (% by weight)</b>                  |       |  |  |       |  |  |       |  |  |       |  |  |       |  |  |       |    |  |
| Deionised water                                   | 48,30 |  |  | 48,30 |  |  | 53,53 |  |  | 55,12 |  |  | 48,30 |  |  | 48,53 |    |  |
| Tween                                             |       |  |  |       |  |  | 44,70 |  |  | 43,31 |  |  |       |  |  | 49,51 |    |  |
| Oxidised mineral oil                              |       |  |  |       |  |  |       |  |  |       |  |  |       |  |  |       | 44 |  |
| Diethyleneglycol monohexylether                   |       |  |  |       |  |  |       |  |  |       |  |  |       |  |  |       |    |  |
| Triton X-100                                      |       |  |  |       |  |  |       |  |  |       |  |  |       |  |  |       |    |  |
| Diacetin                                          | 50,00 |  |  | 50,00 |  |  |       |  |  |       |  |  | 50,00 |  |  |       |    |  |
| DGBE                                              |       |  |  |       |  |  |       |  |  |       |  |  |       |  |  |       |    |  |
| NaCl                                              | 1,60  |  |  | 1,60  |  |  | 1,77  |  |  | 1,57  |  |  | 1,60  |  |  | 1,96  |    |  |
| Additives and salt                                | 0,10  |  |  | 0,10  |  |  |       |  |  |       |  |  | 0,10  |  |  |       |    |  |
| <b>Measured dielectric parameters</b>             |       |  |  |       |  |  |       |  |  |       |  |  |       |  |  |       |    |  |
| $\epsilon_r'$                                     | 54,2  |  |  | 53,1  |  |  | 54,54 |  |  | 52,81 |  |  | 51,0  |  |  | 43,29 |    |  |
| $\sigma$ (S/m)                                    | 0,75  |  |  | 0,75  |  |  | 0,76  |  |  | 0,76  |  |  | 0,77  |  |  | 0,88  |    |  |
| Temp. (°C)                                        |       |  |  |       |  |  | 21    |  |  | 21    |  |  |       |  |  | 21    |    |  |
| $\epsilon_{\text{temp\_liquid\_uncertainty}}$ (%) | 0,8   |  |  | 0,1   |  |  |       |  |  |       |  |  | 0,1   |  |  | 0,1   |    |  |
| $\sigma_{\text{temp\_liquid\_uncertainty}}$ (%)   | 2,8   |  |  | 2,8   |  |  |       |  |  |       |  |  | 2,6   |  |  | 4,2   |    |  |
| <b>Target values (from Table 1)</b>               |       |  |  |       |  |  |       |  |  |       |  |  |       |  |  |       |    |  |
| $\epsilon_r'$                                     | 55,0  |  |  | 54,5  |  |  |       |  |  | 52,4  |  |  | 43,5  |  |  | 41,5  |    |  |
| $\sigma$ (S/m)                                    | 0,75  |  |  | 0,75  |  |  |       |  |  | 0,76  |  |  | 0,87  |  |  | 0,90  |    |  |

**Table E.1 (continued)**

| Frequency (MHz)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 1 800 |      | 2 450 | 4 000 | 5 000 | 5 200 | 5 800 | 6 000 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Recipe source number                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 2     | 4    | 4     | 4     | 4     | 1     | 1     | 4     |
| Ingredients (% by weight)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |       |      |       |       |       |       |       |       |
| Deionised water                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 54,23 | 56   | 56    | 56    | 56    | 65,53 | 65,53 | 56    |
| Tween                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 45,27 |      |       |       |       |       |       |       |
| Oxidised mineral oil                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |       | 44   | 44    | 44    | 44    |       |       | 44    |
| Diethylenglycol monohexylether                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |       |      |       |       |       | 17,24 | 17,24 |       |
| Triton X-100                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |       |      |       |       |       | 17,24 | 17,24 |       |
| Diacetin                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |       |      |       |       |       |       |       |       |
| DGBE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |       |      |       |       |       |       |       |       |
| NaCl                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0,50  |      |       |       |       |       |       |       |
| Additives and salt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |       |      |       |       |       |       |       |       |
| Measured dielectric parameters                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |       |      |       |       |       |       |       |       |
| $\epsilon_r'$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 40,2  | 38,9 | 37,9  | 35,8  | 34    | 36,8  | 35,2  | 32,2  |
| $\sigma$ (S/m)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 1,41  | 1,42 | 1,83  | 3,18  | 4,29  | 4,60  | 5,29  | 5,44  |
| Temp. (°C)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 21    | 20   | 20    | 20    | 20    | 22    | 22    | 20    |
| $\epsilon_{temp\_liquid\_uncertainty}$ (%)                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 0,4   |      |       |       |       | 1,7   | 1,8   |       |
| $\sigma_{temp\_liquid\_uncertainty}$ (%)                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 2,3   |      |       |       |       | 2,7   | 2,6   |       |
| Target values (from Table 1)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |       |      |       |       |       |       |       |       |
| $\epsilon_r'$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 40,0  |      | 39,2  | 37,4  | 36,2  | 36,0  | 35,3  | 35,3  |
| $\sigma$ (S/m)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 1,40  |      | 1,8   | 3,43  | 4,45  | 4,66  | 5,07  | 5,27  |
| NOTE 1 Multiple columns under a single frequency indicate optional recipes.                                                                                                                                                                                                                                                                   |       |      |       |       |       |       |       |       |
| NOTE 2 Recipe number, reference:, 1 [verified by different labs], 2 [20], 3 [64], 4 [65].                                                                                                                                                                                                                                                     |       |      |       |       |       |       |       |       |
| NOTE 3 The values of $\epsilon_{temp\_liquid\_uncertainty}$ and $\sigma_{temp\_liquid\_uncertainty}$ are liquid temperature uncertainties described in 7.2.4.4, based on measurements of the applicable liquid recipes given above. These are not part of the original publications but have been subsequently developed by the project team. |       |      |       |       |       |       |       |       |

## Annex F (normative)

### SAR correction for deviations of complex permittivity from targets

#### F.1 General

In this standard, dielectric parameters of the tissue-equivalent liquid used for SAR measurement are chosen so as to give an SAR value that is conservative with respect to the exposure in a person. Deviations of the dielectric parameters from the target values can lead to measurement uncertainty. One way to reduce measurement uncertainty is to keep the dielectric parameters of the tissue-equivalent liquids within a tight tolerance of the targets (e.g., within  $\pm 5\%$ ). However, it can be difficult to find suitable and stable liquid recipes whose dielectric parameters are close to the targets, particularly at frequencies above 2 GHz. There are three solutions to this problem:

- a) change the target dielectric parameters to match those of available liquid recipes;
- b) widen the tolerance (without correcting the SAR for the deviation in dielectric parameters);
- c) allow a wider tolerance, and correct the SAR for the deviation of the measured dielectric parameters from the target values.

The third solution is the best because changing the targets may restrict the standard to particular liquid recipes, and simply widening the tolerance increases the measurement uncertainty.

The methodology used to determine the SAR correction is described in [13] and [14]. The methodology was conducted over a frequency range of 30 MHz to 6 000 MHz. The methodology was also studied for permittivity and conductivity ranges of  $\pm 20\%$  from the target values in Table 1, but ranges of  $\pm 10\%$  have been chosen for this standard, as described in 6.1.1. Given that the change in dielectric parameters influences the conversion factor of the probe, this influence will be small if a  $\pm 10\%$  range is used (see [13]).

#### F.2 SAR correction formula

From [13] and [14], a linear relationship was found between the percent change in SAR (denoted  $\Delta\text{SAR}$ ) and the percent change in the permittivity and conductivity from the target values in Table 1 (denoted  $\Delta\epsilon_r$  and  $\Delta\sigma$ , respectively). This linear relationship agrees with the results of Kuster and Balzano [48] and Bit-Babik et al. [2]. The relationship is given by:

$$\Delta\text{SAR} = c_\epsilon \Delta\epsilon_r + c_\sigma \Delta\sigma \quad (\text{F.1})$$

where

- $c_\epsilon = \partial(\Delta\text{SAR})/\partial(\Delta\epsilon_r)$  is the coefficients representing the sensitivity of SAR to permittivity where SAR is normalized to output power;
- $c_\sigma = \partial(\Delta\text{SAR})/\partial(\Delta\sigma)$  is the coefficients representing the sensitivity of SAR to conductivity, where SAR is normalized to output power.

The values of  $c_\epsilon$  and  $c_\sigma$  have a simple relationship with frequency that can be described using polynomial equations. For the 1 g averaged SAR  $c_\epsilon$  and  $c_\sigma$  are given by

$$c_\epsilon = -7,854 \times 10^{-4} f^3 + 9,402 \times 10^{-3} f^2 - 2,742 \times 10^{-2} f - 0,2026 \quad (\text{F.2})$$

$$c_{\sigma} = 9,804 \times 10^{-3} f^3 - 8,661 \times 10^{-2} f^2 + 2,981 \times 10^{-2} f + 0,782 \text{ 9} \quad (\text{F.3})$$

where

$f$  is the frequency in GHz.

For the 10 g averaged SAR, the variables  $c_{\epsilon}$  and  $c_{\sigma}$  are given by:

$$c_{\epsilon} = 3,456 \times 10^{-3} f^3 - 3,531 \times 10^{-2} f^2 + 7,675 \times 10^{-2} f - 0,186 \text{ 0} \quad (\text{F.4})$$

$$c_{\sigma} = 4,479 \times 10^{-3} f^3 - 1,586 \times 10^{-2} f^2 - 0,197 \text{ 2} f + 0,771 \text{ 7} \quad (\text{F.5})$$

where

$f$  is the frequency in GHz.

### F.3 Uncertainty of the correction formula

The mean power uncertainty of equations in Clause F.2, defined in [13] as the RMS error between the SAR deviation predicted by the formulas and the simulated deviation over 440 analyzed cases, is shown in Table F.1 for the peak 1 g average SAR and the peak 10 g average SAR. Table F.1 shows how the mean power error increases as the maximum allowable value of  $\Delta\epsilon_r$  and  $\Delta\sigma$  increases. It has also been shown in [13] that these corrections are valid for realistic wireless handset models.

**Table F.1 – Root-mean-squared error of Equations (F.1) to (F.3) as a function of the maximum change in permittivity or conductivity [13]**

| Max.<br>change in<br>$\epsilon_r$ or $\sigma$ | RMS<br>uncertainty<br>for SAR <sub>1g</sub><br>% | RMS<br>uncertainty<br>for SAR <sub>10g</sub><br>% |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| ± 5 %                                         | 1,2                                              | 0,97                                              |
| ± 10 %                                        | 1,9                                              | 1,6                                               |

Using this approach, the measurement uncertainty is lower, due to the fact that this correction eliminates the need for uncertainty items that account for the deviation of the dielectric parameters from the targets. Instead, there is an uncertainty item which accounts for the error of the correction formula. The value of this uncertainty item is given in Table F.1. For ± 10 % deviation in permittivity and conductivity, enter 1,9 % and 1,6 % in the uncertainty budget for 1 g and 10 g average SAR, respectively. These uncertainty values should be entered into the appropriate rows of Tables 5, 6 and 7 where a normal probability distribution is assumed.

## **Annex G** (informative)

### **Hands-free kit testing**

#### **G.1 Concept**

This annex is based on [3], which should be referred to for further details.

The following annex describes a procedure suitable for assessing the SAR in the head from a wired personal hands-free headset. It is noted that other procedures following the same core principles will also be suitable.

An experimental setup designed in accordance with the principles set out in IEC 62209-1:2005 and in this standard should be used. An isotropic miniature E-field probe should be used to perform electric field measurements in the liquid head tissue following recognized standard procedures.

For correct comparison the configurations shown in Figures G.1 and G.2 should be used.

Although this standard adopts the flat phantom, hands-free kit testing using the flat phantom has not been established. In addition, no exact shape and size of the phantom with torso is provided. This annex only provides how to make an informed assessment of hands-free kits.



**Figure G.1 – Configuration of a wired personal hands-free headset**



**Figure G.2 – Configuration without a wired personal hands-free headset**

The simulant head tissue at the appropriate operating frequency should be used as defined in IEC 62209-1:2005.

The two conditions to be tested are:

- the head region of the fibreglass model is filled with the tissue simulant;
- the whole phantom is filled.

In both setups, the phone should be placed next to the ear, and then at the waist with the earpiece connected to the phone via leads and taped at the ear. Scanning shall be focused in a 32 mm × 32 mm area at the ear. This area was chosen to find SAR changes close to the ear. The maximum SAR in the head should also be measured.

The human phantoms used for measurements involving a hands-free accessory should include the torso, i.e. measurements shall not be performed on the head phantom alone.

This has significant impact on the results because the RF energy coupled into the leads of hands-free accessories is strongly attenuated by the body.

## G.2 Example results

For the phantom partially filled with tissue simulant and the phone speaker centred at the phantom ear. The peak 1 g avg. SAR of 1,2 W/kg was located below the ear. The maximum 1 g average SAR at the ear position was about 0,4 W/kg. There was no significant change in the results of this measurement when the torso was also filled with tissue simulant as the phone interacts mainly with the head. When, the earpiece accessory was measured. The earpiece was centred at the phantom ear canal and the phone at the belt (see Figure G.1). In this case (with the torso empty) the peak 1 g average SAR measured at the ear (32 mm × 32 mm) was 0,05 W/kg, showing an 87 % (9 dB) reduction compared to the level from the phone at the ear position. The same configuration as in the second case, but with the phantom torso completely filled with tissue simulant, gave a peak 1 g average SAR of 0,02 W/kg near the ear, or a 95 % (13 dB) reduction from the case of phone at the ear.

## G.3 Discussion

From these measurements it is clear that: 1) the SAR near the ear where the earpiece was located is low compared to the peak SAR produced by the phone; 2) the global peak SAR is not located near the ear with the earpiece accessory; 3) the presence of the torso attenuates

the field from the earpiece accessory, resulting in a lower SAR compared to that measured without the torso. It should be noted that in the situations mentioned above, coupling between the phone and earpiece accessory was very strong as shown by the additional measurement of global maximum SAR in the head from the earpiece without the presence of the torso (the same configuration as described above for the second set of measurements). These measurements gave a peak 1 g average SAR of 0,9 W/kg. Again, it should be noted that the location of this peak is not near the earpiece, but it is shifted down to the cheek where the corresponding current on the earpiece wire is stronger. This is close to the results of computations with best coupling between the wire and RF source, which indicated that the presence of the torso leads to a strong decrease of the global maximum SAR in the head even when the wire is strongly coupled to the RF source (handset).

The experimental measurements have also shown that SAR from the earpiece accessories near the ear is always lower than when the phone is near the head. It should be noted that if the primary RF source is removed from the ear, the secondary radiator (earpiece) produces a much lower exposure at that location.

Though attenuation effect of the body may vary depending on the position of the wire relative to the body, if a large part of the hands-free accessory wire is close to the user's body, SAR measured in the ear region may be more than 10 dB lower than SAR measured from the handset alone when placed near the head.

## Annex H (informative)

### Skin enhancement factor

NOTE The Project Team is conscious that the scope is to develop a measurement standard. It is beyond the scope of the IEC to decide on exposure limits. The current metric for basic restrictions between 100 kHz and 10 GHz is SAR. In order to get clarification on the question raised in this annex project team 62209 asked ICNIRP and IEEE ICES for technical comments and advice.

#### H.1 Background

In the course of the development of this measurement standard, several studies ([6], [7], [71]) indicated that the measurements in homogeneous phantom may result in localised SAR values lower than the maximum values in a heterogeneous and anatomically realistic body model at 1 900 MHz. Since then, a number of research projects and simulations were undertaken within the IEC Technical Committee 106 to verify these results. Simulations were undertaken with homogeneous phantoms and layered models simulating skin fat and muscle. Christ's findings were confirmed in simulations for the metric SAR.

The exposure standard of IEEE ICES C95.1 and the recommendations by ICNIRP are designed to protect against established adverse health effects. ICNIRP states in [10], page 17: *“Established biological and health effects in the frequency range 10 MHz to a few GHz are consistent with responses to a body temperature rise of more than 1 °C.”* Nevertheless, simulations for temperature result in different distributions compared to SAR distributions (see Figure H.1), with the temperature rise distribution being much smoother than the corresponding SAR distribution. This result indicates that local SAR enhancements do not typically produce equivalent temperature rise enhancement due to the different nature of the underlying physics: wave phenomena for SAR and diffusion phenomena for temperature.

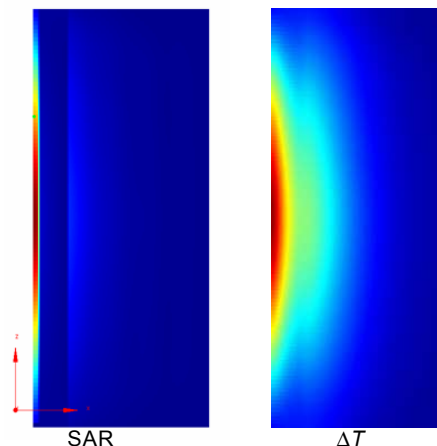


**Figure H.1 – SAR and temperature increase ( $\Delta T$ ) distributions simulated for a three-layer (skin, fat, muscle) planar torso model**

#### H.2 Rationale

The reasons for the higher localized SAR values in heterogeneous tissue are standing wave effects which can occur under far-field-like exposure conditions if a tissue layer with low water content, such as fat, bone or breast tissue, is enclosed between two tissues with high water content, e. g., muscle, skin, most inner organs, etc. The most typical structure consists of a fat layer between skin and muscle. Incident waves which pass the skin experience almost no

attenuation in the subsequent fat tissue layer. If the thickness of the fat layer corresponds to approximately  $\lambda/4$ , the phase of the wave reflected at the muscle layer will lead to a standing wave with its maximum in the skin layer. This will lead to a significant increase of the local SAR in the skin. Even if the SAR is averaged over a cubical volume, which in this case will obtain a comparatively large amount of fat tissue, the SAR measured in the same volume of homogeneous tissue-equivalent liquid will not yield a conservative exposure estimate. A detailed discussion and quantification of this effect can be found in [6], [7].

### H.3 Simulations

The project team investigated the existing literature in respect to age, sex and race on:

- statistical distribution of epidermis plus dermis thickness;
- statistical distribution of the fat layer thickness;
- thickness given by mean and standard deviation.

Skin anatomy and physiology undergo modifications throughout the whole lifespan. Diller [12] assumes that the skin thickness of children is 72 % of adult skin thickness.

Body-worn device positions according to a report of Carnegie Mellon University [26] were chosen. This report from Carnegie Mellon University identified regions of the human body where radios can be carried without negative impact on the person regarding his or her movement. Dynamic wearability is confined to body positions such as:

- arm – triceps;
- forearm;
- upper chest;
- back – subscapular;
- back – above pelvis;
- ankle;
- leg – calf;
- thigh – front;
- waist – lateral.

The thickness of the body tissue varies with individuals. The various thicknesses have a probability distribution. The SAR for a given skin and fat tissue ( $t_s$ ,  $t_f$ ) is weighted according to  $p(t_s)$   $p(t_f)$  by thickness probability.

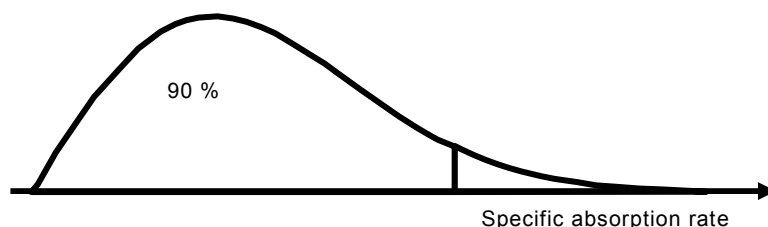


**Figure H.2 –Statistical approach to protect 90 % of the population**

Simulations were done for the different wearability areas with the data from the literature study on the skin and fat thicknesses of the human body [81]. Antennas with electric length of

$0,5 \lambda$ ,  $0,47 \lambda$ ,  $0,35 \lambda$ ,  $0,23 \lambda$ ,  $0,10 \lambda$  and  $0,05 \lambda$  were analysed at frequencies between 30 MHz and 6 GHz.

The increased SAR also varied with the distance of the antenna from the body. This distance depends on the frequency.

#### H.4 Recommendation

The results of all simulations for the different thicknesses of the skin, different thicknesses of the fat layers, different dielectric parameters, different antennas and different distances from the body were analysed. From all the simulations, adopting a statistical coverage factor protective of 90 % of the population (Figure H.2), skin enhancement factors can be derived as shown in Table H.1 and Figure H.3.

**Table H.1 – Spatial-average SAR correction factors**

| Frequency band         | Device to phantom distance | Skin enhancement factor <sup>a</sup>     |
|------------------------|----------------------------|------------------------------------------|
| 300 MHz to 800 MHz     | 0 mm to 200 mm             | 1,0                                      |
| 800 MHz to 1 000 MHz   | 0 mm to 40 mm              | 1,0                                      |
|                        | 40 mm to 45 mm             | linearly interpolate between 1,0 and 1,1 |
|                        | 45 mm to 200 mm            | 1,1                                      |
| 1 700 MHz to 3 000 MHz | 0 mm to 20 mm              | 1,0                                      |
|                        | 20 mm to 35 mm             | linearly interpolate between 1,0 and 1,5 |
|                        | 35 mm to 200 mm            | 1,5                                      |
| 5 000 MHz to 6 000 MHz | 0 mm to 200 mm             | 1,0                                      |

<sup>a</sup> For all other frequencies and distances, use linear interpolation.

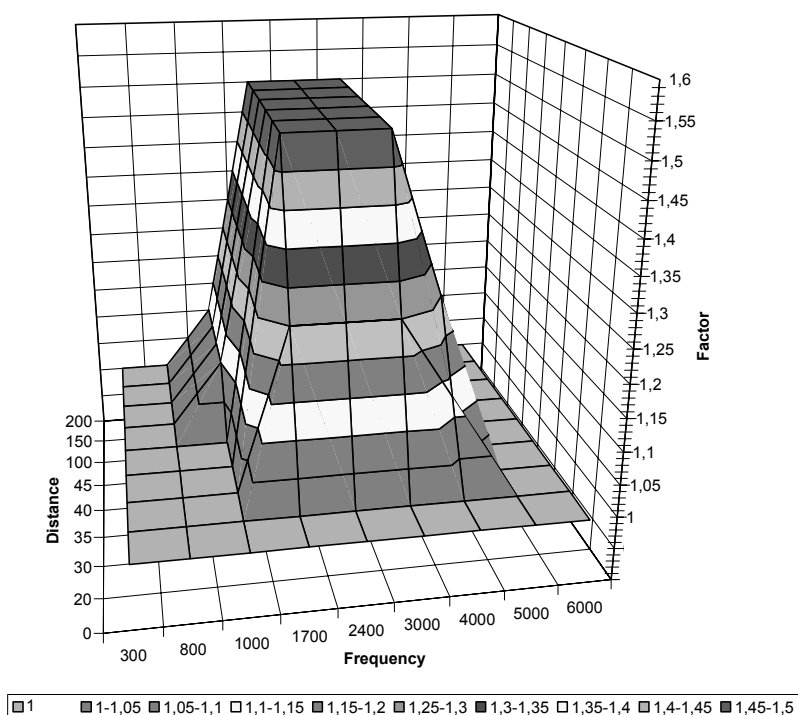


**Figure H.3 – Spatial-average SAR skin enhancement factors**

The project team asked the International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection and the International Committee for Electrical Safety for advice whether this factor is necessary for the evaluation of the exposure. The International Committee for Electrical Safety came to a very clear consensus:

- a) It is not necessary to apply a scaling factor to limit the skin SAR.
- b) The measurement of SAR in a homogenous phantom without a scaling factor is adequate to protect the public.

The International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection responded that this issue will be considered in the general revision of the RF guidelines.

In order to quantify the possible SAR underestimation and to specify the conditions under which this underestimation will occur, this annex is retained as an informative part to this standard.

## Annex I (informative)

### Tissue-equivalent liquid dielectric property measurements and measurement uncertainty estimation

Annex J of IEC 62209-1:2005 applies for the measurement of the dielectric properties of liquids and uncertainty estimation. For the frequency range 30 MHz to 6 GHz the Table I.1 and Table I.2 shall be used instead of Table J.1 and Table J.2 of IEC 62209-1:2005.

**Table I.1 – Parameters for calculating the dielectric properties  
of various reference liquids**

| Reference Liquid                                                                                                                                                 | Temperature<br>°C | Reference         | Model         | $\epsilon_s$ | $\epsilon_\infty$ | $\tau$ (ps) | $\beta$ |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|---------------|--------------|-------------------|-------------|---------|
| DI water                                                                                                                                                         | 20                | [29]              | Debye         | 80,21        | 5,6               | 9,36        | 1       |
| DI water                                                                                                                                                         | 25                | [29]              | Debye         | 78,36        | 5,2               | 8,27        | 1       |
| DMS                                                                                                                                                              | 20                | [28] <sup>a</sup> | Debye         | 47,13        | 7,13              | 21,27       | 1       |
| DMS                                                                                                                                                              | 25                | [28] <sup>a</sup> | Debye         | 46,48        | 6,63              | 19,18       | 1       |
| DMS                                                                                                                                                              | 25                | [29]              | Cole-Davidson | 47,0         | 3,9               | 21,1        | 0,878   |
| Ethanediol                                                                                                                                                       | 20                | [23] <sup>b</sup> | Cole-Davidson | 41,5         | 3,8               | 157,18      | 0,82    |
| Ethanediol                                                                                                                                                       | 20                | [23] <sup>c</sup> | Cole-Davidson | 41,9         | 5,02              | 161,4       | 0,88    |
| Methanol                                                                                                                                                         | 20                | [23]              | Debye         | 33,90        | 4,70              | 53,20       | 1       |
| Methanol                                                                                                                                                         | 20                | [20]              | Debye         | 33,7         | 4,8               | 53,8        | 1       |
| Methanol                                                                                                                                                         | 20                | [28] <sup>a</sup> | Debye         | 33,64        | 5,68              | 56,6        | 1       |
| Methanol                                                                                                                                                         | 25                | [28] <sup>a</sup> | Debye         | 32,67        | 5,58              | 50,8        | 1       |
| <sup>a</sup> Data derived from measurements to 5 GHz only.<br><sup>b</sup> Recipe valid from 130 MHz – 20 GHz.<br><sup>c</sup> Recipe valid from 30 MHz – 5 GHz. |                   |                   |               |              |                   |             |         |

**Table I.2 – Dielectric properties of reference liquids at 20 °C**

| Frequency                                                  | Methanol<br>[21] |          | DMS<br>[28]        |                   | DI water<br>[37] |          | Ethenediol<br>[51] |          |
|------------------------------------------------------------|------------------|----------|--------------------|-------------------|------------------|----------|--------------------|----------|
| MHz                                                        | $\epsilon_r'$    | $\sigma$ | $\epsilon_r'$      | $\sigma$          | $\epsilon_r'$    | $\sigma$ | $\epsilon_r'$      | $\sigma$ |
| 30                                                         | 33,64            | 0,000 50 | 47,13              | 0,000 27          | 80,2             | 0,000 22 | 41,87              | 0,001 6  |
| 150                                                        | 33,56            | 0,012    | 47,11              | 0,006 7           | 80,2             | 0,005 5  | 40,89              | 0,038    |
| 300                                                        | 33,33            | 0,049    | 47,07              | 0,027             | 80,19            | 0,02     | 39,21              | 0,14     |
| 450                                                        | 32,94            | 0,11     | 46,99              | 0,060             | 80,16            | 0,05     | 36,78              | 0,29     |
| 750                                                        | 31,95            | 0,29     | 46,73              | 0,17              | 80,07            | 0,14     | 30,73              | 0,66     |
| 835                                                        | 31,37            | 0,35     | 46,64              | 0,20              | 80,03            | 0,17     | 29,53              | 0,76     |
| 900                                                        | 31,04            | 0,41     | 46,56              | 0,24              | 80,00            | 0,20     | 28,38              | 0,83     |
| 1 450                                                      | 27,77            | 0,92     | 45,68              | 0,60              | 79,67            | 0,51     | 20,63              | 1,36     |
| 1 800                                                      | 25,51            | 1,27     | 44,94              | 0,91              | 79,38            | 0,78     | 17,38              | 1,61     |
| 1 900                                                      | 24,88            | 1,37     | 44,71              | 1,01              | 79,29            | 0,87     | 16,64              | 1,66     |
| 2 000                                                      | 24,25            | 1,47     | 44,46              | 1,11              | 79,19            | 0,96     | 15,96              | 1,72     |
| 2 450                                                      | 21,57            | 1,89     | 43,25              | 1,61              | 78,69            | 1,44     | 13,53              | 1,92     |
| 2 600                                                      | 21,11            | 2,07     | 42,82              | 1,79              | 78,51            | 1,61     | 12,88              | 1,94     |
| 3 000                                                      | 18,76            | 2,33     | 41,59              | 2,31              | 77,96            | 2,13     | 11,53              | 2,11     |
| 4 000                                                      | 15,17            | 3,12     | 38,24              | 3,70              | 76,30            | 3,70     | 9,36               | 2,34     |
| 5 000                                                      | 12,40            | 3,58     | 34,78              | 5,14              | 74,27            | 5,62     | 8,12               | 2,51     |
| 6 000                                                      | 10,51            | 3,89     | 31,48 <sup>a</sup> | 6,52 <sup>a</sup> | 71,95            | 7,81     | 7,33               | 2,64     |
| <sup>a</sup> Data derived from measurements to 5 GHz only. |                  |          |                    |                   |                  |          |                    |          |

## Annex J (informative)

### Testing compliance for the exposure of the hand

#### J.1 Purpose

This annex will inform the user of this standard of the status of development of SAR measurement protocols for hand-held devices as defined in 3.11.

With respect to modelling the hand, there are practical difficulties in specifying a unique hand holding position that is applicable to all devices. Moreover, dosimetric studies suggest that, excluding the hand in modelling constitutes a conservative case scenario for SAR in the head [26]. For these reasons, in this standard the device under test is not held in a hand model during SAR evaluations within 200 mm from the head and torso. For the exclusive exposure of the hand at larger distances than 200 mm from the head or torso, see Clause J.3.

#### J.2 General

The hand includes a large number of bones, ligaments, muscles, nerves and blood vessels.

It is assumed that SAR within the hand induced by a hand-held wireless device would be lower than the SAR induced in the homogeneous flat phantom approximating wet tissue, but the research data supporting this assumption is not yet available.

A typical example of a hand-held device is a wireless enabled PDA with integrated RF module that is intended to be held in the hand at a distance larger than 200 mm from the head and body during use. This procedure is not applicable for devices which are intended to being hand-held to enable use at the ear (see IEC 62209-1:2005) or worn on the body when transmitting.

#### J.3 Procedure

The device shall be placed directly against the flat phantom as shown in Figure J.1, for those sides of the device that are in contact with the hand during intended use.

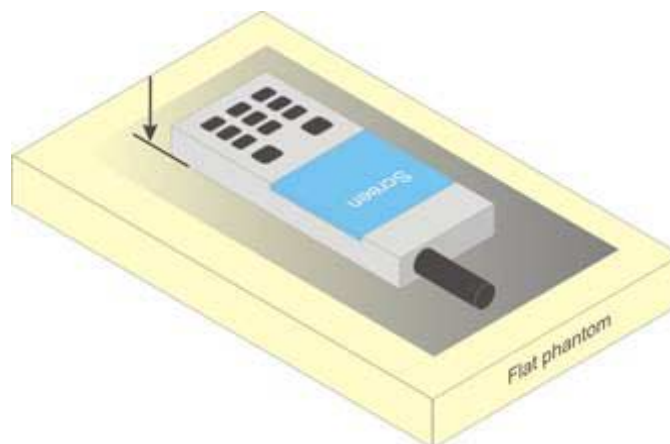


**Figure J.1 – Test position for hand-held devices, not used at the head or torso**

#### **J.4 Rationale for measurement evaluation of hand-held devices**

The measurement methods described in 6.1.4.9 use the same phantom and tissue simulant for SAR measurement that we assume to be conservative. Developing the SAR measurement methods for hands is a demanding task and will require more time and resources. For these reasons, it will be reviewed by future amendments of this standard.

## Annex K (informative)

### Test reduction

#### K.1 General

TC 106 has the mandate to prepare international standards on measurement and calculation methods to assess human exposure to electric, magnetic and electromagnetic fields. The task includes assessment methods for the exposure produced by specific sources. It applies to basic restrictions and reference levels. However, the establishment of exposure limits is not in the scope of TC 106.

It is noted that this differs from typical IEC radiated disturbance EMC standards which do establish limits.

This standard provides a reproducible and conservative measurement methodology to measure the SAR of hand-held and body-mounted wireless communication devices, which can be used to determine compliance of such equipment with the human exposure basic restrictions. Clearly, there is a point where the power generated by wireless devices is at such a level that it is incapable of exceeding the basic restriction. Measurements following the procedure of this standard might then not be necessary.

#### K.2 Test reduction procedure

##### K.2.1 General

There may be DUTs that generate power at such a level that it is incapable of exceeding the basic restriction of the respective exposure guideline. That level can be determined by a variety of techniques which do not require the actual exposure level measurements. Determining this level would speed up the process without compromising technical accuracy. IEC 62479 proposes techniques for such purposes and may be applied.

##### K.2.2 Example 1

The maximum power level,  $P_{\max,m}$ , that can be transmitted by a device before the SAR averaged over a mass,  $m$ , exceeds a given limit,  $SAR_{\lim}$ , can be defined. Any device transmitting at power levels below  $P_{\max,m}$  can then be excluded from SAR testing. The lowest possible value for  $P_{\max,m}$  is:

$$P_{\max,m} = SAR_{\lim} \times m$$

For example, an exposure limit of  $SAR_{\lim} = 2 \text{ W/kg}$  and an averaging mass of  $m = 10 \text{ g}$  give a total transmitting power of  $P_{\max,m} = 20 \text{ mW}$  that would conservatively meet this exposure limit. For an exposure limit of  $SAR_{\lim} = 1,6 \text{ W/kg}$  and an averaging mass of  $m = 1 \text{ g}$ , a total transmitting power of  $P_{\max,m} = 1,6 \text{ mW}$  would conservatively meet the exposure limit. This assessment is based on the unrealistic assumption that all of the conducted power is radiated by the antenna and then absorbed in the body (i.e. none of the power is transmitted for communication) and all of the absorbed power is concentrated in the averaging mass. IEC 62479 gives less restrictive power thresholds that may be applied in certain cases.

##### K.2.3 Example 2

Simultaneous multi-band transmission means that the device can transmit multiple transmission modes at the same time, e.g., a Wideband Code Division Multiple Access (W-

CDMA) transmission at 2 GHz and a Wireless Local Area Network (WLAN) transmission at 2,45 GHz. The time-averaged output power of a secondary transmitter (i.e. the lower power transmitter, e.g. Bluetooth, WLAN) may be much lower than that of the primary transmitter (i.e. the higher power transmitter, e.g., W-CDMA). In some cases, the secondary transmitter can be excluded from SAR testing when used alone (e.g., using Example 1). However, when the primary and secondary transmitters are used together, the SAR limit may still be exceeded. A means of determining the threshold power for the secondary transmitter that allows it to be excluded from SAR testing is needed.

One way of determining the threshold power level available to the secondary transmitter ( $P_{\text{available}}$ ) is to calculate it from the measured peak spatial-average SAR of the primary transmitter ( $\text{SAR}_1$ ) according to the equation:

$$P_{\text{available}} = P_{\text{th},m} \times (\text{SAR}_{\text{lim}} - \text{SAR}_1) / \text{SAR}_{\text{lim}}$$

where  $P_{\text{th},m}$  is the threshold exclusion power level taken from Annex B of IEC 62479<sup>7</sup> for the frequency of the secondary transmitter at the separation distance used in the testing.

If the output power of the secondary transmitter is less than  $P_{\text{available}}$ , SAR measurement for the secondary transmitter is not necessary.

The above formula can be easily generalized to the case where more than two transmitters are communicating simultaneously. If there are  $N$  simultaneous transmitters and the peak spatial-average SAR of the first  $N - 1$  transmitters are known ( $\text{SAR}_i$ ), then the threshold power level available to the  $N$ th transmitter can be found from

$$P_{\text{available}} = P_{\text{max},m} \times (\text{SAR}_{\text{lim}} - \sum_{i=1}^{N-1} \text{SAR}_i) / \text{SAR}_{\text{lim}}$$

Alternatively,  $P_{\text{th},m}$  can be replaced by  $P_{\text{max},m}$ , which is an easier approach but leads to more restrictive power threshold.

<sup>7</sup> To be published.

## Annex L (normative)

### Power scaling procedure

#### L.1 Procedure

Power scaling is the extrapolation of the SAR of a DUT determined with a test signal (modX) to a SAR of the same device with a modulation (modY). Power scaling based on numerical or experimental methods for different modulation signals is possible if:

- the same RF amplifier stage is used for modX and modY;
- the same antenna is used for modX and modY and no MIMO techniques are applied;
- the SAR probe has been calibrated for the modulation signal modX and the SAR has been determined for modX;
- the time-averaged RF output power ratio  $R_p$  of modX and modY after the RF amplifier stage modulations is known:

$$R_p = \left( \frac{P_{max_{modY}}}{P_{max_{modX}}} \right)$$

- the RF carrier frequency of modX is the same as for modY;
- the IF signal bandwidth ratio ( $R_m$ ) of modX and modY :

$$\left| \frac{BW_{modX}}{BW_{modY}} - 1 \right| \leq 30 \%$$

- the bandwidth of modX and modY  $< 5 \% \times f_c$ .

If the above mentioned requirements are fulfilled a scaling of the SAR from modX to modY can be performed according to the following formula:

$$SAR_{modY} = R_p \times SAR_{modX}$$

The factor  $R_p$  may be determined by numerical (calculation of  $P_{avg}$  including amplifier characteristic and modulation signal) or experimental means (e.g. measurement of the average power). In both cases the effect of the antenna impedance on the amplifier stage adds uncertainty.

If the approach of Annex L is used, a justification shall be given in the measurement report.

#### L.2 Usage pattern

For push-to-talk devices, the maximum duty factor shall be deemed to be 0,5 operated in front of the face or body-worn.

### L.3 Power Scaling Uncertainty

Uncertainties of the power scaling are associated with non-linearities of the signal and RF amplifier stages, the modulation signal bandwidth and antenna impedance.

The power scaling uncertainty is evaluated by determination of the SAR of modY at the peak SAR location ( $x_p, y_p, z_p$ ) using the following procedure:

- perform a 2-D SAR scan with modX according to Clause 6.
- move the probe the maximum location of the 2-D scan.
- take the SAR reading with modX.
- switch the device to modY (without moving the device).
- take the SAR reading with modY.
- calculate the ratio of the measured and scaled SAR<sub>modY</sub>

$$SAR_{\text{scaling uncertainty}} = \left| \left( \frac{SAR(x_p, y_p, z_p)_{\text{modY}}}{SAR(x_p, y_p, z_p)_{\text{modX}} \times R_p} - 1 \right) \times 100 \right\%$$

- SAR<sub>scaling uncertainty</sub> > 5 %: do not use the scaling and perform the full SAR assessment for modY.

## Annex M (informative)

### Rationale for probe parameters

#### M.1 Probe outer tip dimensions

In general, dosimetric probes are constructed and protected using materials (low loss and low dielectric parameters) that substantially differ from the tissue-simulating liquid (high loss and high dielectric material). This results in local distortion of the field and scattered fields. In order to keep these effects small, i.e., below resonance and independent of the field characteristics, the probe tip diameter should be small with respect to a wavelength. In general, the smaller the probe tip diameter, the fewer disturbances occur. It is recommended to keep the probe tip diameter within one-third of a wavelength in the medium, as shown in Table M.1. At frequencies at or below 2 GHz, the maximum probe tip diameter is 8 mm.

**Table M.1 – Minimum probe requirements as a function of frequency  
and parameters of the tissue equivalent liquid**

| 1                | 2                        | 3                        | 4                                                  | 5                                                 | 6                         | 7                                                                         | 8                                                |
|------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Frequency<br>MHz | Relative<br>permittivity | Conduc-<br>tivity<br>S/m | Wavelength in<br>the medium<br>( $\lambda$ )<br>mm | Plane<br>wave<br>Skin<br>Depth ( $\delta$ )<br>mm | Maximum<br>Diameter<br>mm | 50 %<br>Distance<br>for M1<br>( $z_{50\%} =$<br>$\delta \ln(2)/2$ )<br>mm | Min.<br>distance<br>for M1<br>( $z_{M1}$ )<br>mm |
| 300              | 45,3                     | 0,87                     | 148,6                                              | 46,1                                              | 8,0                       | 16,0                                                                      | 5,0                                              |
| 450              | 43,5                     | 0,87                     | 101,1                                              | 42,9                                              | 8,0                       | 14,9                                                                      | 5,0                                              |
| 750              | 41,9                     | 0,89                     | 61,8                                               | 39,8                                              | 8,0                       | 13,8                                                                      | 5,0                                              |
| 835              | 41,5                     | 0,9                      | 55,8                                               | 38,9                                              | 8,0                       | 13,5                                                                      | 5,0                                              |
| 900              | 41,5                     | 0,97                     | 51,7                                               | 36,1                                              | 8,0                       | 12,5                                                                      | 5,0                                              |
| 1 450            | 40,5                     | 1,20                     | 32,5                                               | 28,6                                              | 8,0                       | 9,9                                                                       | 5,0                                              |
| 1 800            | 40,0                     | 1,40                     | 26,4                                               | 24,3                                              | 8,0                       | 8,4                                                                       | 5,0                                              |
| 2 000            | 40,0                     | 1,40                     | 23,7                                               | 24,2                                              | 8,0                       | 8,4                                                                       | 5,0                                              |
| 2 450            | 39,2                     | 1,80                     | 19,6                                               | 18,7                                              | 6,5                       | 6,5                                                                       | 5,0                                              |
| 2 600            | 39,0                     | 1,96                     | 18,5                                               | 17,2                                              | 6,2                       | 5,9                                                                       | 5,0                                              |
| 3 000            | 38,5                     | 2,40                     | 16,1                                               | 13,9                                              | 5,4                       | 4,8                                                                       | 5,0                                              |
| 4 000            | 37,4                     | 3,43                     | 12,3                                               | 9,6                                               | 4,1                       | 3,3                                                                       | 3,3                                              |
| 5 000            | 36,2                     | 4,45                     | 10,0                                               | 7,3                                               | 3,3                       | 2,5                                                                       | 2,5                                              |
| 5 200            | 36,0                     | 4,66                     | 9,6                                                | 7,0                                               | 3,2                       | 2,4                                                                       | 2,4                                              |
| 5 400            | 35,8                     | 4,86                     | 9,3                                                | 6,7                                               | 3,1                       | 2,3                                                                       | 2,3                                              |
| 5 600            | 35,5                     | 5,07                     | 9,0                                                | 6,4                                               | 3,0                       | 2,2                                                                       | 2,2                                              |
| 5 800            | 35,3                     | 5,27                     | 8,7                                                | 6,1                                               | 2,9                       | 2,1                                                                       | 2,1                                              |
| 6 000            | 35,1                     | 5,48                     | 8,4                                                | 5,9                                               | 2,8                       | 2,0                                                                       | 2,0                                              |

#### M.2 Probe sensor displacement

The induced field distribution is a function of skin depth  $\delta$  and incident  $H$ -field distribution, i.e., the field can attenuate even faster than the skin depth with respect to the normal distance

from the phantom boundary. Due to this strong attenuation, extrapolation becomes very sensitive to uncertainties of the measured points, i.e., local field distortions, boundary effects, noise, etc. In order to keep the uncertainties within reasonable boundaries, the closest measurement point M1 must be measured at a distance  $z_{50\%} = \delta \ln(2)/2$  within which the SAR is more than 50 % of the SAR at the surface. These distances are provided in column 7 of Table M.1, assuming plane wave attenuation. The attenuation is typically stronger for antennas close to the phantom surface than it is for plane waves [43], especially at lower frequencies such that the minimal distance up to 3 GHz was defined as  $z_{M1} = 5$  mm. However, at frequencies above 3 GHz,  $z_{M1}$  can be set to  $z_{50\%}$ , as the skin depth is similar to that of a plane wave at higher frequencies [15]. As accurate results cannot be measured when the probe has direct contact with the phantom, the distance corresponds to the sensor displacement plus the minimal probe tip distance to the phantom surface.

### M.3 Probe inclination with respect to surface

At higher frequencies, probes tend to be larger with respect to the wavelengths and measurements very close to the surface become more imperative. To achieve results with acceptable uncertainty, the probe must be positioned normal to the surface, i.e., for deviations larger than 20°, special precautions and considerations are required to ensure acceptable uncertainty. Deviations less than 5° are technically preferable.

### M.4 Extrapolation and integration uncertainty

The gradient normal to the surface grows sharply at higher frequencies. The number of measurements inside the zoom scan volume, which is above the noise floor of the probe, decreases and may significantly affect the extrapolation and integration. A strategy to overcome this problem is to use graded meshes. Nevertheless, the uncertainty can sharply increase when the probe is not sensitive enough. In Table M.2, the error is determined by adding white noise to the functions  $f_1$ ,  $f_2$  and  $f_3$ , the amplitude of which is defined in dB of the values at the surface. Table M.2 enables the determination of the assessment error with respect to the noise floor of the system. The values are the standard deviation after 4 000 iterations.

For example, the evaluation with a noise ( $N_{rms}$ ) of 25 mW/kg will result in an uncertainty of 5 % for graded meshes (closest measurement point 1,5 mm, grading 1,5,  $7 \times 7 \times 5$ ) and 30 % for homogenous grid (closest measurement point 4 mm, grid  $11 \times 11 \times 7$ ).

**Table M.2 – Extrapolation and integration uncertainty of the 10 g peak spatial average SAR ( $k=2$ ) for homogeneous and graded meshes**

| S/N   | Homogeneous grid |                |               |       |      | Graded grid  |                |               |       |       |
|-------|------------------|----------------|---------------|-------|------|--------------|----------------|---------------|-------|-------|
|       | $f1_{1peak}$     | $f1_{2p,prim}$ | $f1_{2p,sec}$ | $f2$  | $f3$ | $f1_{1peak}$ | $f1_{2p,prim}$ | $f1_{2p,sec}$ | $f2$  | $f3$  |
| 30 dB | 0,1 %            | 0,0 %          | 0,1 %         | 0,1 % | 17 % | 0,0 %        | 0,1 %          | 0,0 %         | 0,0 % | 1,3 % |
| 20 dB | 0,1 %            | 0,1 %          | 0,1 %         | 0,2 % | 18 % | 0,1 %        | 0,1 %          | 0,1 %         | 0,0 % | 1,9 % |
| 13 dB | 0,6 %            | 0,6 %          | 0,6 %         | 0,4 % | 27 % | 0,5 %        | 0,5 %          | 0,5 %         | 0,3 % | 8,7 % |
| 10 dB | 2,8 %            | 2,7 %          | 2,7 %         | 1,8 % | 69 % | 2,3 %        | 2,4 %          | 2,2 %         | 1,4 % | 39 %  |

## Bibliography

- [1] Beard B. B., Kainz W., Onishi T., Iyama T., Watanabe S., Fujiwara O., Wang J., Bit-Babik G., Faraone A., Wiart J., Christ A., Kuster N., Lee A.-K., Kroeze H., Siegbahn M., Keshvari J., Abrishamkar H., Simon W., Manteuffel D., Nikoloski N. "Comparisons of Computed Mobile Phone Induced SAR in the SAM Phantom to That in Anatomically Correct Models of the Human Head", *IEEE TRANSACTIONS ON ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY*, May 2006, vol. 48, no. 2, pp:397-407.
- [2] Bit-Babik G., Faraone A., Ballen M., Chou C-K., "Sensitivity of the Spatial-Average Peak SAR to the Dielectric Parameters of Media Used for Compliance Testing in the Frequency Range 0,3 – 3 GHz," *Antennas and Propagation Society International Symposium Digest*, Vol. 3, pp. 722-725, June 2002.
- [3] Bit-Babik G., Chou C. K., Faraone A., Gessner A., Kanda M. and Balzano Q., Estimation of the SAR in the Human Head and Body due to Radio Frequency Radiation Exposure from Handheld Mobile Phones with Hands-Free Accessories *Radiation Research* 159, 550-557 (2003).
- [4] Bolomey J. C., "Efficient near-field techniques for human exposure evaluation: Applications to mobile and fixed antennas," presented at the Electromagnetic Environment and Human Exposure Evaluation Workshop of EMC, Sorrento, Italy, 2002.
- [5] Christ A, Klingenböck A, Samaras T, Zankl M, and Kuster N, "A Flat Phantom Setup for the Compliance Testing of Wireless Transmitters Operating in the Close Environment of the Human Body for a Frequency Range from 30MHz to 5800MHz", in *Proceedings of the 27th Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society*, p. 444, June 2005, Dublin, Ireland.
- [6] Christ A, Klingenböck A, Samaras T, Goiceanu C, and Kuster N, "The dependence of electromagnetic far-field absorption on body tissue composition in the frequency range from 300 MHz to 6 GHz", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 54, no. 5, pp. 2188–2195, May 2006.
- [7] Christ A, Samaras T, Klingenböck A, and Kuster N, "Characterization of the electromagnetic near-field absorption in layered biological tissue in the frequency range from 30MHz to 6GHz", *Physics in Medicine and Biology*, vol. 51, no. 19, pp. 4951–4965, October 2006.
- [8] Cozza A., Merckel O., Bolomey J.-Ch., "A New Probe-Array Approach for Fast SAR Measurements", *Proc. Int. Workshop Antenna Tech. (IWAT)*, Cambridge, U.K, pp. 157 – 161, March 2007.
- [9] Cozza A., Derat B., Bolomey J.-C., "Theoretical analysis of the exponential approximation for SAR assessment in a flat phantom," *Proc. IEEE Int. Symp. Antennas Propagat.*, Honolulu, Hawaiï, pp. 4328 – 4331, June 10 – 15, 2007.
- [10] ICNIRP. Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). *Health Physics* 74 (4): 494-522; 1998.
- [11] Derat B., Cozza A., Merckel O., Bolomey J.-C., "Numerical analysis of a printed E-field probe array used for rapid SAR assessment," *Proc. Appl. Comp. Electrom. Soc. (ACES)*, Verona, Italy, pp. 616 -623, March 2007.
- [12] Diller KR, Adapting adult scald safety standards to children (2006) *J Burn Care Res* 27: 314-22.
- [13] Douglas M.G., Luengas W., Kanda M.Y., Ballen M., and Chou C-K., "An Algorithm for Predicting the Change in Specific Absorption Rate in a Human Phantom due to Deviations in its Complex Permittivity," Submitted to *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, May 2009.
- [14] Douglas M.G., Chou C-K., "Enabling the Use of Broadband Tissue Equivalent Liquids for Specific Absorption Rate Measurements," *IEEE Electromagnetic Compatibility Symposium*, July 2007.
- [15] Douglas M.G., Chou C-K., "Accurate and Fast Estimation of Volumetric SAR from Planar

- Scans from 30 MHz to 6 GHz," *Bioelectromagnetics Society 29<sup>th</sup> Annual Meeting*, June 2007.
- [16] Drossos, A., Santomaa, V. and Kuster, N., The dependence of electromagnetic energy absorption upon human head tissue composition in the frequency range of 300-3000 MHz. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Nov. 2000, vol. 48, no. 11, pp. 1988-1995.
  - [17] FCC OET Bulletin 65, Supplement C, Additional Information for Evaluating Compliance of Mobile and Portable Devices with FCC Limits for Human Exposure to Radiofrequency Emissions, 2001.
  - [18] Francavilla M., Schiavoni A.: "New Reference Function for Post – Processing Uncertainty Evaluation in SAR Compliance Tests" submitted to *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*.
  - [19] Fukunaga, K., Watanabe, S., Wake, K., and Yamanaka, Y., Time dependence of tissue-equivalent dielectric liquid materials and its effect on SAR. *EMC Europe Symp.*, Sorrento, Italy, Sep. 2002.
  - [20] Fukunaga K., Watanabe S, Hiroyuki A, Sato K; Dielectric Properties of Non-Toxic Tissue-Equivalent Liquids for Radiowaves Safety Tests; *Proceedings 2005 IEEE International Conference on Dielectric Liquids*, P 425 – 428, 2005.
  - [21] Gabriel, C., Chan, T. Y. A., and Grant, E. H., "Admittance models for open ended coaxial probes and their place in dielectric spectroscopy," *Physics in Medicine and Biology*, vol. 39, no.12, pp. 2183-2200, 1994.
  - [22] Gabriel, C., "Compilation of the dielectric properties of body tissues at RF and microwave frequencies", *Brooks Airforce Base Technical Report AL/OE-TR-1996-0037*, 1996.
  - [23] Gabriel, C. and Peyman, A., "Dielectric measurement: error analysis and assessment of uncertainty," *Physics in Medicine and Biology*, vol. 51, pp. 6033-6046, October 2006.
  - [24] Gabriel, S., Lau, R.W. and Gabriel, C., The dielectric properties of biological tissues: 3. Parametric models for the dielectric spectrum of tissues. *Phys. Med. Bio.*, 1996, vol. 41, no. 11, pp. 2271-2293.
  - [25] Gimm, Y. M., GENEAL METHOD OF FORMULATING THE HUMAN TISSUE SIMULANT LIQUID FOR SAR MEASUREMENT, 2004 International Symposium on EMC, Sendai, Japan, June 2004, pp. 561-564.
  - [26] Gemperle F, Kasabach C, Stivorc J, Bauer M, and Martin R, Design for Wearability, Carnegie Mellon University, PA (USA), Techn. Rep. [online], <http://www.ices.cmu.edu/design/wearability>.
  - [27] Gordon, C.C., Churchill, T., Clauser, C.E., Bradtmiller, B., McConville, J.T., Tebbetts I. and Walker, R.A., 1988 Anthropometric Survey of U.S. Army Personnel: Methods and Summary Statistics. Technical Report NATICK/TR-89/044, U.S. Army Natick Research, Development and Engineering Center, Massachusetts: Natick, Sep. 1989.
  - [28] Gregory, A. P. and Clarke, R. N., Tables of the Complex Permittivity of Dielectric Reference Liquids at Frequencies up to 5 GHz, NPL Report CETM 33, Centre for Electromagnetic and Time Metrology, National Physical Laboratory, Teddington, England, 2001.
  - [29] Gregory A P, Johnson Y; Fukunaga K, Clarke R N, Preece A W; Traceable Dielectric Measurements of New Liquids for Specific Absorption Rate (SAR) Measurement in the Frequency Range 300 MHz to 6 GHz, *Proceedings Conference on Precision Electromagnetic Measurements*, W2da, pp. 471 – 472, UK, June 2004.
  - [30] IEC 62311:2007, *Assessment of electronic and electrical equipment related to human exposure restrictions for electromagnetic fields (0 Hz – 300 GHz)*
  - [31] IEC 62479, *Assessment of the compliance of low-power electronic and electrical equipment with the basic restrictions related to human exposure to electromagnetic*

fields (10 MHz – 300 GHz)<sup>8</sup>

- [32] IEEE Std 1528:2003, *IEEE Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate (SAR) in the Human Head from Wireless Communications Devices: Measurement Techniques*
- [33] ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*
- [34] ISO 10012:2003, *Measurement management systems – Requirements for measurement processes and measuring equipment*
- [35] ISO/IEC Guide 51:1999, *Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards*
- [36] Iyama T., Onishi T., Tarusawa Y., Uebayashi S., Nojima T., "Novel Specific Absorption Rate (SAR) Measurement Method Using Flat Solid Phantom," *IEEE Trans. EMC.* vol. 50, no. 1, pp 43-51, February 2008.
- [37] Kaatze, U., Complex permittivity of water as function of frequency and temperature. *J. Chem. Engin. Data*, vol. 34, no. 4, pp. 371–374, 1989.
- [38] Kaatze, U., Pottel R., and Schafer M, "Dielectric spectrum of dimethyl sulfoxide/water mixtures as a function of composition," *J. Physical Chemistry*, vol. 93, pp. 5623-5627, 1989.
- [39] Kainz W, Christ A, Kellom T, Seidman S, Nikoloski N, and Kuster N, "Dosimetric comparison of the specific anthropomorphic mannequin (SAM) to 14 anatomical head models using a novel definition for the mobile phone positioning", *Physics in Medicine and Biology*, vol. 50, no. 14, pp. 3423–3445, July 2005.
- [40] Kanda, M, Analytical and numerical techniques for analyzing an electrically short dipole with a nonlinear load, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Jan 1980, vol. 28, Issue: 1, pp. 71- 78.
- [41] Kanda, M.Y., Ballen, M., Chou, C.K., Formulation and characterization of tissue simulating liquids used for SAR measurement (500-2000 MHz). *Asia-Pacific Radio Science Conference*, Tokyo, Japan, Aug. 1-4, 2001, pp. 274.
- [42] Kanda M. Y., Ballen M., Douglas M. G., Gessner A., Chou C. K., "Fast SAR determination of gram-averaged SAR from 2-D coarse scans", *Proc. 25th Ann. Meeting of the Bioelectromagnetics Soc (BEMS)*, pp. 45-46, Wailea, Maui, USA, June 2003.
- [43] Kanda M.Y., Douglas M.G., Mendivil E.D., Ballen M., Gessner A.V. Chou C-K., "Faster Determination of Mass-Averaged SAR From 2-D Area Scans," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 52, no. 8, pp. 2013-2020, August, 2004.
- [44] Keshvari J. , Ahlskog K. , and Toropainen A. . Feasibility Study of Tissue Equivalent Liquids for Body Worn SAR Measurements at 30, 150 and 450 MHz., *25th BEMS TWENTY-FIFTH ANNUAL MEETING*.
- [45] Kiminami K., Iyama T., Onishi T., Uebayashi S., "Novel specific absorption rate (SAR) estimation method based on 2-D scanned electric fields," *IEEE Tran. Electromag. Comp.* vol. 50, no. 4, pp. 828 – 836, Nov. 2008.
- [46] Kuehn S., Kuster N., "Experimental EMF Exposure Assessment" in *Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields*, Third Edition, Taylor & Francis Group LLC, 0849329523, Frank S. Barnes, Ben Greenebaum, Boca Raton, USA, vol. 2, pp. 381-405, 2006.
- [47] Kuehn S., Kuster N., "Experimental EMF exposure assessment", in *Handbook of Biological Effects of Electromagnetics*, Eds. Barnes F. S., Greenebaum B., CRC Press, pp. 381 – 409, 2007.
- [48] Kuster N., Balzano Q., "Energy Absorption Mechanism by Biological Bodies in the Near Field of Dipole Antennas Above 300 MHz," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 41, No. 1, pp. 17–23, Feb. 1992.

<sup>8</sup> To be published.

- [49] Kuster, N., Balzano, Q. and Lin, J.C., Eds., *Mobile Communications Safety*. London: Chapman & Hall, 1997.
- [50] Ladbury, J.M., Camell, D.G., Electrically short dipoles with a nonlinear load, a revisited analysis", *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, Feb 2002, vol. 44, Issue: 1, pp 38-44.
- [51] Levin, V. V. and Podlovchenko, T. L., "Dispersion of the dielectric permittivity of ethylene glycol," *Zhurnal Strukturnoi Khimii*, vol. 11, pp. 766-767, 1970.
- [52] Li Q., Gandhi O.P. and Kang G., "An open-ended waveguide system of SAR system validation and/or probe calibration for frequencies above 3 GHz," *Physics in Medicine and Biology*, vol. 49, pp-4173-4186, 2004.
- [53] Loader B., "Computer Simulation of WR159 Waveguide Against a Flat Dielectric Phantom at 5.2 GHz and 5.8 GHz," NPL Report DEM EM 008, 2007.
- [54] Manning M. Massey P., "Rapid SAR testing of mobile phone prototype using a spherical test geometry," in IEE Tech. on Antenna Measurements and SAR Seminar, Loughborough, U.K., May 28–29, 2002.
- [55] Merckel O., Fleury G., Bolomey J.-C., "Rapid SAR measurement via parametric modeling," *Proc. 5th International Congress of the European BioElectromagnetics Association (EBEA)*, p. 75-77, Helsinki, Finland, Sep. 2001.
- [56] Merckel O., Rapid SAR measurements of mobile terminals based on generalized near-field techniques, Ph. D. Thesis, in French, Université de Versailles Saint-Quentin en Yvelines, France, Nov. 2002.
- [57] Merckel O., Bolomey J.-Ch., Joisel A., "Near-field approach to Rapid SAR Measurement of Mobile Phones", *Symp. of the Association for Measurement and Testing of Antennas (AMTA 2003)*, Irvine, Denver, USA, Oct. 2003.
- [58] Merckel O., Manning M., Derat B., Bolomey J.-C., Fleury G., "Comparison of fast SAR measurement techniques for mobile phones," *Proc. 2nd Int. Conf. On Electromagnetic Near-field Characterization (ICONIC)*, Barcelona, Spain, p. 439-443, June 8-10, 2005.
- [59] Montgomery D.C., *Design and Analysis of Experiments* (4th edition), New York: John Wiley and Sons. (1997).
- [60] NIS 81, "The Treatment of Uncertainty in EMC Measurements," Ed.1, NAMAS Executive, National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex, TW11 0LW, England, 1994.
- [61] NIST TN1297, *Guidelines for Evaluating and Expressing the Incertitude of NIST Measurement Results*, Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 1994.
- [62] Onishi T. and Uebayashi S., "Influence of phantom shell on SAR measurement in 3-6 GHz frequency range," *IEICE Trans. Commun.*, vol., E88-B, no. 8, pp. 3257 – 3262, 2005.
- [63] Peyman, A. and Gabriel, C., Tissue equivalent liquids for SAR measurement at microwave frequencies. *Bioelectromagnetics Society 24th Annual Meeting*, Quebec, Canada, June 2002, poster P-53.
- [64] Peyman, A. and Gabriel, C., Development and characterisation of tissue equivalent materials for the frequency range of 30-300MHz, *Electroncis Letters* 43(5), 2007, 268-270.
- [65] Peyman, A. and Gabriel, C., Development and characterisation of a broadband tissue equivalent materials for the frequency range of 0.3 - 6 GHz, Submitted to *Electronics Letters*, 2007.
- [66] Pokovic, K., "Advanced Electromagnetic Probes for Near-Field Evaluations," PhD Thesis, Diss. ETH Nr. 13334, Zurich, 1999.
- [67] Porter S J, Capstick M H, Faraci F, Flintoft I D and Marvin A C, Final Report on "SAR Testing of Hands-Free Mobile Telephones", DTI funded project under UK MTHR programme.

- [68] Porter S J Capstick M H Faraci F Flintoft I D Marvin A C. SAR associated with the use of hands-free mobile telephones. EMC Europe 2004, Eindhoven, PprNo. B10, 6-10 Sept, 2004.
- [69] Porter S J, Capstick M H, Faraci F, Flintoft I D and Marvin A C. SAR and induced current measurements on wired hands-free mobile telephones. IEE Technical Seminar on Antenna Measurements and SAR, University of Loughborough, UK, pp 9-13, 25-26 May, 2004. ISBN: 086341415X.
- [70] Porter S.J. and Manning M.I., "Method validates SAR measurement systems," *Microwaves and RF*, vol. 44, no. 4, pp. 70-78, 2005.
- [71] Pradier A., Colas O., Celin P., Sarrebourg T., Laudru D., Wong M.-F., Fouad Hanna V., Wiart J. "Evaluation of the Specific Absorption Rate Induced by the Handset Close to the Body," in BEMS 28th Annual Meeting, 2006.
- [72] Ramo, S., Whinnery, J.R., and Van Duzer, T., "Fields and Waves in Communication Electronics," 1st edition, John Wiley & Sons, 1965.
- [73] Rowley, J. T.; Waterhouse, R. B., Performance of Shorted Microstrip Patch Antennas for Mobile Communications Handsets at 1800 MHz IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, VOL. 47, NO. 5, MAY 1999 815.
- [74] Schmid, T.; Egger, O., and Kuster, N., Automated E-field scanning system for dosimetric assessments, IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Jan 1996, vol 44, no. 1, pp. 105-113.
- [75] Toropainen, A., Vainikainen, P., and Drossos, A., Method for accurate measurement of complex permittivity of tissue equivalent liquids. *Electron. Lett.*, 2000, vol. 36, no. 1, pp. 32-34.
- [76] VIGNERAS, V., Elaboration and characterization of biological tissues equivalent liquids in the frequency range 0,9-3 GHz, final report. France: PIOM Laboratory, University of Bordeaux, Nov. 2001.
- [77] Von Hippel, A., Dielectric Materials and Applications, Cambridge, MA: MIT Press, 1954.
- [78] Hombach V, Meier, K., Burkhardt, M., Kühn, E., and Kuster, N., "The dependence of EM energy absorption on human head modeling at 900 MHz," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 44, No. 10, pp. 1865–1873, Oct. 1996.
- [79] Meier, K., Hombach, V., Kästle, R., Tay, R. Y. S., and Kuster, N., "The dependence of electromagnetic energy absorption upon human-head modeling at 1800 MHz," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 45, No. 11, pp. 2058–2062, Nov. 1997.
- [80] Schiavoni, A., and Francavilla, M., "Effect of the hand in SAR compliance tests of body worn devices", ACES 2007, Verona, March 19-23 2007.
- [81] Douglas, M., Bit-Babik, G., Nadakuduti, J., Faraone, A., and Chou, C-K., "Modeling of SAR in the User for Body-Worn Wireless Devices," Proc. 29th Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society (BEMS 2007), Kanazawa, Japan, June 11-15, 2007.
- [82] Francavilla, M., and Schiavoni, A., "New Reference Function for Post-Processing Uncertainty Evaluation in SAR Compliance Tests", IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 18, No. 5, May 2008.
- [83] Evans, S., and Michelson, S. C., "Intercomparison of dielectric reference materials available for the calibration of an open-ended probe at different temperatures," *Measurement Science and Technology*, Vol. 6, No. 12, pp. 1721–1732, Dec. 1995.
- [84] Jenkins, S., Hodgetts, T. E., Clarke, R. N., and Preece, A. W., "Dielectric measurements on reference liquids using automatic network analysers and calculable geometries," *Measurement Science and Technology*, Vol. 1, No. 7, pp. 691–702, July 1990.
- [85] Migliore, M. D., "Partial self-calibration method for permittivity measurement using truncated coaxial cable," *Electronics Letters*, Vol. 36, No. 15, pp. 1275–1277, July 20, 2000.

- [86] Nyshadham, A., Sibbald, C. L., and Stuchly, S. S., “Permittivity measurements using open-ended sensors and reference liquid calibration—an uncertainty analysis,” *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 40, No. 2, pp. 305–314, Feb. 1992.
  - [87] Luc, J., Butet, R., Lebrusq, E., Toutain, Y., and Gallee, F., “SAR Measurement time reduction via optimization algorithms and interpolation scheme”, Proc. 28th Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society (BEMS 2006), June 11-15, 2006, Cancun, Mexico
  - [88] ISO/IEC Guide 99:2007, *International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)*
-

## SOMMAIRE

|                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| AVANT-PROPOS.....                                                                                          | 118 |
| INTRODUCTION.....                                                                                          | 120 |
| 1 Domaine d'application .....                                                                              | 121 |
| 2 Références normatives.....                                                                               | 121 |
| 3 Termes et définitions .....                                                                              | 122 |
| 4 Symboles et abréviations.....                                                                            | 125 |
| 4.1 Grandeurs physiques .....                                                                              | 125 |
| 4.2 Constantes .....                                                                                       | 125 |
| 4.3 Abréviations .....                                                                                     | 125 |
| 5 Spécifications du système de mesure .....                                                                | 126 |
| 5.1 Exigences générales .....                                                                              | 126 |
| 5.2 Spécifications du fantôme – enveloppe et liquide .....                                                 | 127 |
| 5.2.1 Exigences générales .....                                                                            | 127 |
| 5.2.2 Matériau, forme et taille du fantôme .....                                                           | 127 |
| 5.2.3 Propriétés du liquide équivalent aux tissus .....                                                    | 129 |
| 5.3 Spécifications du système d'instrumentation de mesure .....                                            | 130 |
| 5.3.1 Exigences générales .....                                                                            | 130 |
| 5.3.2 Système de balayage .....                                                                            | 130 |
| 5.3.3 Sondes .....                                                                                         | 130 |
| 5.3.4 Étalonnage de la sonde .....                                                                         | 131 |
| 5.3.5 Spécifications de la ou des fixations destinées à maintenir le DUT<br>dans la position d'essai ..... | 131 |
| 6 Protocole pour l'évaluation du DAS .....                                                                 | 131 |
| 6.1 Préparation des mesures.....                                                                           | 131 |
| 6.1.1 Préparation générale .....                                                                           | 131 |
| 6.1.2 Contrôle du système.....                                                                             | 131 |
| 6.1.3 Préparation de l'appareil en essai.....                                                              | 131 |
| 6.1.4 Position de l'appareil en essai par rapport au fantôme.....                                          | 134 |
| 6.1.5 Fréquences d'essai.....                                                                              | 144 |
| 6.2 Essais à effectuer.....                                                                                | 144 |
| 6.2.1 Exigences générales .....                                                                            | 144 |
| 6.2.2 Réductions d'essai .....                                                                             | 145 |
| 6.2.3 Procédure générale d'essai .....                                                                     | 146 |
| 6.2.4 Évaluations rapides du DAS .....                                                                     | 146 |
| 6.3 Procédure de mesure .....                                                                              | 148 |
| 6.3.1 Procédure générale .....                                                                             | 148 |
| 6.3.2 Procédures d'essai des DUT avec transmission multibande<br>simultanée.....                           | 149 |
| 6.4 Traitement de données.....                                                                             | 152 |
| 6.4.1 Interpolation .....                                                                                  | 152 |
| 6.4.2 Extrapolation de l'écart de la sonde .....                                                           | 152 |
| 6.4.3 Définition du volume d'intégration.....                                                              | 152 |
| 6.4.4 Recherche du maximum .....                                                                           | 152 |
| 7 Estimation de l'incertitude.....                                                                         | 152 |
| 7.1 Considérations générales .....                                                                         | 152 |
| 7.1.1 Concept de l'estimation des incertitudes .....                                                       | 152 |

|       |                                                                                                                                                |     |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.1.2 | Évaluations de type A et de type B .....                                                                                                       | 153 |
| 7.1.3 | Degrés de liberté et facteur d'élargissement .....                                                                                             | 153 |
| 7.2   | Composantes contribuant à l'incertitude .....                                                                                                  | 154 |
| 7.2.1 | Généralités.....                                                                                                                               | 154 |
| 7.2.2 | Contribution du système de mesure (sonde et électronique associée) .....                                                                       | 154 |
| 7.2.3 | Contribution des contraintes mécaniques .....                                                                                                  | 161 |
| 7.2.4 | Contribution des paramètres physiques .....                                                                                                    | 164 |
| 7.2.5 | Contribution du post-traitement des données.....                                                                                               | 168 |
| 7.2.6 | Tolérance et décalage par rapport à la source normalisée .....                                                                                 | 173 |
| 7.3   | Estimation de l'incertitude .....                                                                                                              | 173 |
| 7.3.1 | Incertitudes composées et élargies.....                                                                                                        | 173 |
| 7.3.2 | Incertitude élargie maximale .....                                                                                                             | 174 |
| 8     | Rapport de mesure .....                                                                                                                        | 180 |
| 8.1   | Généralités.....                                                                                                                               | 180 |
| 8.2   | Éléments à enregistrer dans le rapport de mesure.....                                                                                          | 181 |
|       | Annexe A (informative) Justification du fantôme.....                                                                                           | 182 |
|       | Annexe B (normative) Vérification du système de mesure du DAS .....                                                                            | 185 |
|       | Annexe C (informative) Essais de DAS rapides.....                                                                                              | 195 |
|       | Annexe D (informative) Sources et fantômes normalisés pour la validation du système .....                                                      | 197 |
|       | Annexe E (informative) Exemple de formulations pour les liquides équivalant aux<br>tissus.....                                                 | 204 |
|       | Annexe F (normative) Correction de DAS pour les écarts de permittivité complexe par<br>rapport aux cibles .....                                | 207 |
|       | Annexe G (informative) Essais des kits mains libres .....                                                                                      | 209 |
|       | Annexe H (informative) Facteur d'amplification de la peau .....                                                                                | 212 |
|       | Annexe I (informative) Mesures des propriétés diélectriques du liquide équivalant aux<br>tissus et estimation de l'incertitude de mesure ..... | 216 |
|       | Annexe J (informative) Essais de conformité pour l'exposition de la main .....                                                                 | 218 |
|       | Annexe K (informative) Réduction d'essai .....                                                                                                 | 220 |
|       | Annexe L (normative) Procédure de mise à l'échelle de la puissance.....                                                                        | 222 |
|       | Annexe M (informative) Justification relative aux paramètres de la sonde .....                                                                 | 224 |
|       | Bibliographie.....                                                                                                                             | 226 |
|       | Figure 1 – Dimensions du fantôme elliptique.....                                                                                               | 128 |
|       | Figure 2 – Définition des points de référence .....                                                                                            | 135 |
|       | Figure 3 – Mesures par déplacement de l'appareil par rapport au fantôme.....                                                                   | 136 |
|       | Figure 4 – Positions d'essai pour un appareil générique .....                                                                                  | 137 |
|       | Figure 5 – Positions d'essai pour les appareils portés près du corps.....                                                                      | 138 |
|       | Figure 6 – Dispositif muni d'une antenne à rotule (exemple d'appareil de bureau).....                                                          | 139 |
|       | Figure 7 – Positions d'essai pour les appareils posés sur le corps .....                                                                       | 140 |
|       | Figure 8 – Positions d'essai pour les appareils de bureau .....                                                                                | 141 |
|       | Figure 9 – Positions d'essai pour les appareils placés devant le visage .....                                                                  | 142 |
|       | Figure 10 – Position d'essai pour les appareils fixés à un membre.....                                                                         | 143 |
|       | Figure 11 – Position d'essai pour les appareils sans fils intégrés aux vêtements.....                                                          | 144 |
|       | Figure 12 – Diagramme des essais à effectuer .....                                                                                             | 147 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 13 – Orientation de la sonde par rapport à la perpendiculaire de la surface du fantôme .....                                                                                                                                                             | 149 |
| Figure B.1 – Montage pour le contrôle du système.....                                                                                                                                                                                                           | 187 |
| Figure D.1 – Détails mécaniques du dipôle de référence.....                                                                                                                                                                                                     | 199 |
| Figure D.2 – Dimensions du montage du fantôme plan utilisé pour déduire les dimensions minimales pour $W$ et $L$ .....                                                                                                                                          | 200 |
| Figure D.3 – Incertitude prédite par l'utilisation d'un code FDTD pour un DAS crête spatial moyen sur 10 g, en fonction des dimensions du fantôme plan comparativement à un fantôme plan infini.....                                                            | 201 |
| Figure D.4 – Source à guide d'ondes normalisé .....                                                                                                                                                                                                             | 202 |
| Figure G.1 – Configuration avec kit mains libres à oreillettes avec fil .....                                                                                                                                                                                   | 209 |
| Figure G.2 – Configuration sans kit mains libres à oreillettes avec fil .....                                                                                                                                                                                   | 210 |
| Figure H.1 – Distributions du DAS et de l'augmentation de température ( $\Delta T$ ) simulées pour un modèle de torse plan à trois couches (peau, graisse, muscle).....                                                                                         | 212 |
| Figure H.2 – Approche statistique pour protéger 90 % de la population.....                                                                                                                                                                                      | 214 |
| Figure H.3 – Facteurs d'amélioration pour la peau du DAS moyen .....                                                                                                                                                                                            | 215 |
| Figure J.1 – Position d'essai des appareils tenus à la main, pas utilisés sur la tête ou le torse .....                                                                                                                                                         | 219 |
| Tableau 1 – Propriétés diélectriques du liquide équivalent aux tissus .....                                                                                                                                                                                     | 129 |
| Tableau 2 – Exemple de modèle d'incertitude et de valeurs numériques pour la mesure de la permittivité relative ( $\epsilon'_r$ ) et de la conductivité ( $\sigma$ ); des tableaux séparés peuvent être nécessaires pour chaque $\epsilon'_r$ et $\sigma$ ..... | 165 |
| Tableau 3 – Paramètres pour la fonction de référence $f_1$ .....                                                                                                                                                                                                | 170 |
| Tableau 4 – Valeurs de référence de DAS en watts par kilogramme utilisées pour estimer les incertitudes de post-traitement.....                                                                                                                                 | 170 |
| Tableau 5 – Modèle d'évaluation de l'incertitude de mesure pour l'essai du DAS du DUT .....                                                                                                                                                                     | 175 |
| Tableau 6 – Modèle d'évaluation de l'incertitude de mesure pour la validation du système .....                                                                                                                                                                  | 177 |
| Tableau 7 – Modèle d'évaluation de l'incertitude de mesure pour la reproductibilité du système .....                                                                                                                                                            | 179 |
| Tableau B.1 – Valeurs numériques du DAS de référence pour les dipôles de référence et le fantôme plan – Toutes les valeurs sont normalisées à une puissance directe de 1 W .....                                                                                | 193 |
| Tableau B.2 – Valeurs numériques du DAS de référence pour les guides d'ondes adaptés de référence en contact avec le fantôme plan (de la référence [53]) .....                                                                                                  | 194 |
| Tableau D.1 – Dimensions mécaniques des dipôles de référence .....                                                                                                                                                                                              | 198 |
| Tableau D.2 – Paramètres utilisés pour calculer les valeurs de DAS de référence du Tableau B.1 .....                                                                                                                                                            | 201 |
| Tableau D.3 – Dimensions mécaniques du guide d'ondes normalisé .....                                                                                                                                                                                            | 203 |
| Tableau E.1 – Formulations suggérées pour obtenir les paramètres diélectriques cibles.....                                                                                                                                                                      | 205 |
| Tableau F.1 – Erreur quadratique moyenne (EQM) des Equations (F.1) à (F.3) en fonction de la variation maximale de permittivité ou de conductivité [13].....                                                                                                    | 208 |
| Tableau H.1 – Facteurs de correction du DAS moyen .....                                                                                                                                                                                                         | 214 |
| Tableau I.1 – Paramètres pour le calcul des propriétés diélectriques de différents liquides de référence .....                                                                                                                                                  | 216 |
| Tableau I.2 – Propriétés diélectriques de liquides de référence à 20 °C.....                                                                                                                                                                                    | 217 |
| Tableau M.1 – Exigences minimales relatives à la sonde en fonction de la fréquence et des paramètres du liquide équivalent aux tissus .....                                                                                                                     | 224 |

|                                                                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau M.2 – Incertitude d'extrapolation et d'intégration du DAS crête spatial moyen<br>sur 10 g ( $k=2$ ) pour les mailles homogènes et nivelées ..... | 225 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

### **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 communications sans fil utilisés très près du corps humain (gamme de fréquences de 30 MHz à 6 GHz)**

#### 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 propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 62209-2 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.

Le texte anglais de cette norme est issu des documents 106/195/FDIS et 106/200/RVD.

Le rapport de vote 106/200/RVD donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

La version française de cette norme n'a pas été soumise au vote.

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

La liste de toutes les parties de la CEI 62209, présentées sous le titre général *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*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

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

Le projet de la CEI «Évaluation de l'exposition humaine aux champs radiofréquence produits par les appareils de communications sans fils tenus à la main ou portés près du corps dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 6 GHz (modèles du corps humain, instrumentation, procédures)» a pour objet la mesure de l'exposition humaine à des appareils destinés à être utilisés près du corps. La présente Norme a été établie afin de fournir des procédures d'évaluation des expositions dues aux appareils de communication émettant des champs électromagnétiques (EMF) lorsqu'ils sont tenus à la main ou devant le visage, portés près du corps, combinés à d'autres émetteurs dans un produit, ou intégrés à des vêtements. Les types d'appareils traités ici comprennent notamment les téléphones mobiles, les téléphones sans fil, les microphones sans fil, les appareils de diffusion auxiliaires et les émetteurs radio intégrés dans les ordinateurs. Pour les émetteurs utilisés très près de l'oreille, des mesures du débit d'absorption spécifique (DAS) doivent être effectuées en utilisant les modes opératoires de la CEI 62209-1:2005.

Le CE 106 est chargé d'établir des normes internationales relatives aux méthodes de mesure et de calcul utilisées pour l'évaluation de l'exposition humaine aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques. Cette tâche consiste également à établir des méthodes d'évaluation de l'exposition produite par des sources spécifiques. Elle s'applique aux restrictions de base et aux niveaux de référence. Bien que l'établissement des limites d'exposition n'entre pas dans le domaine d'application du CE 106, les résultats des évaluations effectuées conformément aux normes du CE 106 peuvent être comparés aux restrictions de base des normes et recommandations pertinentes. L'évaluation de la conformité dépend de la politique des organismes de réglementation nationaux.

Une liaison de type «Catégorie D» de la CEI implique des organismes pouvant contribuer efficacement à un groupe de travail ou à un projet spécifique des comités d'études ou des sous-comités de la CEI. L'objectif évident est l'harmonisation des normes et la réduction de la duplication des travaux. Les travaux du comité d'études CEI 106 (TC 106) et du comité international sur la sécurité électromagnétique (ICES SCC39) de l'IEEE, comité d'études 34 (TC 34), témoignent de la collaboration informelle entre deux comités techniques internationaux ne serait-ce que du fait de leurs membres communs. Cette collaboration a pour but l'harmonisation, spécifiquement entre l'Équipe de projet CEI 62209 (PT 62209) sur la «Procédure de mesure du débit d'absorption spécifique (DAS) pour les téléphones portables» et le comité d'études IEEE/SCC39-ICES/TC34 sur la norme IEEE 1528-2003 «Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate (SAR) in the Human Head from Wireless Communications Devices: Measurement Techniques»[32].<sup>1</sup>

Le comité IEEE/SCC39-ICES/TC34 avait un projet similaire. Le projet de la CEI étant plus avancé, une liaison de Catégorie D a été créée afin d'éviter des normes différentes et la multiplication des travaux. Par conséquent, au lieu d'établir deux normes distinctes (CEI et IEEE), le comité IEEE a considéré qu'il serait plus efficace d'établir une norme CEI unique avec la contribution directe des membres du comité d'études IEEE/SCC39-ICES/TC34, dont la plupart sont également membres du projet PT 62209 ou sont issus des mêmes entreprises qui désignent des délégués pour participer aux travaux du projet PT 62209. La liaison Catégorie D se limite uniquement à ce projet (Partie 2 de la CEI 62209).

<sup>1</sup> Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

# **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 communications sans fil utilisés très près du corps humain (gamme de fréquences de 30 MHz à 6 GHz)**

### **1 Domaine d'application**

La présente partie de la CEI 62209 s'applique à tout appareil de communication sans fils pouvant émettre des champs électromagnétiques (EMF) et destiné à une utilisation près du corps humain, de la manière décrite par le fabricant, la ou les parties rayonnantes de l'appareil étant situées à des distances inférieures ou égales à 200 mm du corps humain, c'est-à-dire lorsque l'appareil est tenu à la main ou devant le visage, porté près du corps, combiné à d'autres appareils ou accessoires émetteurs ou non (comme un clip de ceinture, une caméra ou un périphérique Bluetooth), ou intégré à des vêtements. Pour les émetteurs utilisés très près de l'oreille, les procédures de la CEI 62209-1:2005 sont applicables.

La présente Norme s'applique à l'exposition aux radiofréquences dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 6 GHz, et elle peut être utilisée pour mesurer les expositions simultanées aux multiples sources radio utilisées très près du corps humain. Des définitions et des procédures d'évaluation sont fournies pour les catégories générales suivantes de types de dispositifs: portés près du corps, appareil posé sur le corps, appareil de bureau, appareil devant le visage, appareil tenu à la main, appareil portable, appareil fixé à un membre, appareil multibande, appareil poussoir de conversation, appareil intégré aux vêtements. Les types d'appareils pris en compte comprennent notamment les téléphones mobiles, les microphones sans fils, les appareils de diffusion auxiliaires et les émetteurs radio intégrés dans les ordinateurs.

La présente norme internationale fournit des recommandations pour une méthode de mesure reproductible et conservatrice afin de déterminer la conformité des appareils sans fils aux limites du DAS.

Comme les études montrent que l'exclusion de caractéristiques pour représenter la main constitue un scénario de cas le plus défavorable pour le DAS dans le tronc et la tête, le cas de la main n'est pas inclus si l'appareil est destiné à une utilisation près de la tête ou soutenu sur le torse ou à proximité de celui-ci [73], [80]. La présente Norme ne s'applique pas aux expositions aux dispositifs médicaux implantés, qu'ils soient émetteurs ou non. La présente Norme ne s'applique pas aux expositions par des dispositifs situés à des distances supérieures à 200 mm du corps humain.

La CEI 62209-2 renvoie par référence croisée à la CEI 62209-1:2005 lorsque des articles ou paragraphes complets s'appliquent, avec les éventuelles modifications spécifiées.

### **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 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: 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)*

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 donnés dans la CEI 62209-1:2005, ainsi que les suivants s'appliquent.

#### 3.1

##### **accessoire**

composant facultatif pouvant être utilisé en combinaison avec un appareil émetteur

##### EXEMPLES

Les accessoires des téléphones mobiles, des appareils émetteurs sans fil, des appareils récepteurs sans fil ou des appareils émetteurs-récepteurs sans fil, ou des radios bidirectionnelles comprennent notamment:

- a) les accessoires permettant de tenir, de relier ou de transporter autrement, de porter ou de fixer l'appareil tout en laissant une distance par rapport au corps (comme un clip de ceinture, une dragonne pour le poignet ou toute autre dragonne, ou un cordon permettant de porter l'appareil en collier);
- b) les accessoires électroniques pour exécuter des tâches ou ayant des fonctions supplémentaires (comme des modules GPS, des imprimantes externes, les lecteurs MP3, les appareils photographiques ou autres appareils de visualisation);
- c) les accessoires électroniques fournissant une entrée ou une sortie audio ou vidéo (comme les casques, les microphones, les appareils photographiques);
- d) les accessoires améliorant les capacités RF de l'appareil (comme les antennes de remplacement ou les antennes auxiliaires);
- e) les batteries et les composants associés à courant continu;
- f) les combinaisons d'accessoires, dans lesquelles au moins deux des éléments ci-dessus sont combinés en un seul composant (comme un clip de ceinture avec un câble Bluetooth intégré et un câble d'interface audio enroulé sur lui-même).

#### 3.2

##### **dispositif porté près du corps <sup>2</sup>**

appareil porté près du corps

appareil portable contenant un émetteur ou un émetteur-récepteur sans fil situé à étroite proximité du torse ou des membres d'une personne (autres que la tête) à l'aide d'un accessoire portable lors de son utilisation prévue ou de l'activité de ses fonctions radioélectriques

#### 3.3

##### **appareil posé sur le corps**

appareil dont l'utilisation prévue comprend d'émettre avec n'importe quelle partie du dispositif tenue directement contre le corps de l'utilisateur

NOTE Il se distingue d'un appareil porté près du corps par le fait qu'il n'est pas fixé au corps de l'utilisateur par le biais d'un accessoire portable.

<sup>2</sup> Les deux termes sont utilisés. Dans le langage familier, le terme «porté près du corps» est préféré à «fixé au corps».

### 3.4

#### **câble**

fil nécessaire au fonctionnement de la configuration d'exploitation prévue

### 3.5

#### **exposition conservatrice**

estimation du DAS crête spatial moyen, prenant en compte les incertitudes définies dans la présente norme, qui est représentative et légèrement supérieure à celles attendues dans le corps d'une majorité significative de personnes lors de l'utilisation prévue des appareils tenus à la main

NOTE Une estimation conservatrice n'est pas la valeur maximale absolue du DAS pouvant éventuellement se produire dans chaque combinaison concevable de la taille et de la forme du corps, de l'orientation de l'appareil sans fil et de la distance par rapport au corps. Afin de garantir que les résultats ne sont pas abusivement restrictifs et, de ce fait, n'entravent pas inutilement le progrès des nouvelles technologies de communications mobiles, il convient de réduire le plus possible les surestimations du DAS. Par exemple, des surestimations de l'ordre de 20 % ont été rapportées [78], [79] pour les expositions de la tête et ont été jugées raisonnables. L'atteinte d'un compromis optimal entre des conditions surestimées ou sous-estimées est une tâche complexe et c'est la raison pour laquelle, par exemple, la conductivité du liquide équivalent aux tissus n'est pas choisie arbitrairement élevée.

### 3.6

#### **appareil de bureau**

appareil posé ou monté sur un bureau, une table, ou une structure d'appui similaire, et dont l'antenne est prévue pour fonctionner à moins de 200 mm du corps humain

### 3.7

#### **appareil en essai (DUT)**

appareil contenant un ou plusieurs émetteurs ou émetteurs-récepteurs sans fils entrant dans le champ de la présente Norme

NOTE Un appareil en essai peut être classé en appareil porté près du corps, appareil posé sur le corps, appareil de bureau, appareil placé devant le visage, tenu à la main, fixé à un membre, intégré aux vêtements ou appareil générique.

### 3.8

#### **facteur d'utilisation de l'impulsion**

facteur d'intégration du temps d'exploitation

proportion de temps pendant laquelle un émetteur émet sur une période spécifiée

### 3.9

#### **appareil placé devant le visage**

appareil tenu à la main mis en marche très près du visage

EXEMPLE Les types de dispositifs placés devant le visage comprennent les appareils munis d'un poussoir de conversation, les radios bidirectionnelles, les dispositifs équipés d'un appareil photographique.

### 3.10

#### **appareil générique**

dispositif qui ne peut être classé comme étant l'un des types de dispositifs spécifiques

### 3.11

#### **appareil tenu à la main**

appareil portable dont l'utilisation prévue implique que l'utilisateur le tienne à la main

### 3.12

#### **hôte**

tout équipement disposant de fonctions-utilisateur complètes lorsqu'il n'est pas connecté à la partie de l'équipement radioélectrique et auquel cette dernière apporte des fonctionnalités supplémentaires qu'il ne possède pas si la connexion entre les deux dispositifs n'est pas effective

### 3.13

#### **utilisation prévue**

utilisation prévue

utilisation pour laquelle un produit, processus ou service est prévu conformément aux spécifications, instructions et informations fournies par le fabricant; également, utilisation d'un dispositif pour la gamme complète des fonctions disponibles, conformément aux spécifications, instructions et informations fournies par le fabricant

NOTE 1 Les instructions du guide d'utilisation peuvent comprendre la position et l'orientation de fonctionnement dans l'utilisation prévue

NOTE 2 L'utilisation prévue, c'est-à-dire la manière spécifiée par un fabricant dont il convient d'utiliser un dispositif peut ne pas englober toutes les conditions d'utilisation possibles.

### 3.14

#### **appareil portable**

ordinateur portable

appareil portable contenant au moins un émetteur-récepteur sans fils pouvant être posé sur les genoux de l'utilisateur et qui n'est pas destiné à être tenu à la main

NOTE Les appareils portables comprennent les ordinateurs portables généralement constitués d'un clavier et d'une unité d'affichage reliés par une charnière, et les tablettes électroniques constituées typiquement d'un seul bloc dans lequel l'unité d'affichage sert également d'interface d'entrée à l'aide d'un stylet ou d'un clavier virtuel.

### 3.15

#### **appareil fixé à un membre**

appareil dont l'utilisation prévue suppose d'être attaché au bras ou à la jambe de l'utilisateur pendant l'émission (excepté en mode veille)

EXEMPLE Les types d'appareils fixés à un membre sont notamment les appareils fixés au poignet, les appareils fixés à la cheville et les appareils fixés à l'avant-bras.

### 3.16

#### **dérive de mesure**

variation continue ou incrémentielle au fil du temps de l'indication, en raison de variations des propriétés métrologiques d'un instrument de mesure

### 3.17

#### **transmission multibande**

mode de fonctionnement pour l'émission simultanée sur plusieurs bandes radiofréquence

### 3.18

#### **puissance de sortie**

puissance à la sortie de l'émetteur RF lorsqu'il est connecté à l'antenne ou à une charge de la même impédance à la fréquence d'essai et dans la position d'essai prise en compte

### 3.19

#### **valeur du DAS crête, primaire**

plus forte valeur du DAS déterminée dans une mesure de balayages de zone

### 3.20

#### **valeur du DAS crête, secondaire**

autres maxima locaux du DAS déterminés dans une mesure de balayages de zone qui sont inférieurs à la valeur primaire du DAS crête

### 3.21

#### **distance de séparation**

distance entre le DUT et la surface extérieure du fantôme représentant la distance lors de l'utilisation prévue

**3.22****radio bidirectionnelle**

appareil muni d'un poussoir de conversation (PTT)<sup>3</sup>

émetteur-récepteur radio tenu à la main sur lequel un commutateur est utilisé pour basculer entre l'émission et la réception radio

**4 Symboles et abréviations****4.1 Grandeurs physiques**

Le Système International d'unités SI est utilisé dans cette norme.

| Symbole                | Grandeur                                | Unité                     | Symbole           |
|------------------------|-----------------------------------------|---------------------------|-------------------|
| $E$                    | Intensité du champ électrique           | volt par mètre            | V/m               |
| $f$                    | Fréquence                               | Hertz                     | Hz                |
| $H$                    | Intensité du champ magnétique           | ampère par mètre          | A/m               |
| $J$                    | Densité de courant                      | ampère par mètre carré    | A/m <sup>2</sup>  |
| $\bar{P}_{\text{avg}}$ | Puissance absorbée moyenne (temporelle) | watt                      | W                 |
| DAS                    | Débit d'absorption spécifique           | watt par kilogramme       | W/kg              |
| $T$                    | Température                             | kelvin                    | K                 |
| $\varepsilon$          | Permittivité                            | farad par mètre           | F/m               |
| $\lambda$              | Longueur d'onde                         | mètre                     | m                 |
| $\mu$                  | Perméabilité                            | henry par mètre           | H/m               |
| $\rho$                 | Masse volumique                         | kilogramme par mètre cube | kg/m <sup>3</sup> |
| $\sigma$               | Conductivité électrique                 | siemens par mètre         | S/m               |

NOTE Dans la présente Norme, la température est exprimée en degrés Celsius, tels que défini par:  $T (^{\circ}\text{C}) = T (\text{K}) - 273,16$ .

**4.2 Constantes**

| Symbole         | Constante physique                 | Valeur                      |
|-----------------|------------------------------------|-----------------------------|
| $c$             | Vitesse de la lumière dans le vide | $2,998 \times 10^8$ m/s     |
| $\eta$          | Impédance de l'espace libre        | $120\pi$ ou 377 $\Omega$    |
| $\varepsilon_0$ | Permittivité de l'espace libre     | $8,854 \times 10^{-12}$ F/m |
| $\mu_0$         | Perméabilité de l'espace libre     | $4\pi \times 10^{-7}$ H/m   |

**4.3 Abréviations**

|                             |                                        |
|-----------------------------|----------------------------------------|
| AMRC (ou CDMA) <sup>4</sup> | accès multiple par répartition en code |
| CW <sup>5</sup>             | onde entretenue                        |
| DOE <sup>6</sup>            | plan d'expériences                     |
| DUT <sup>7</sup>            | appareil en essai                      |
| Champ E                     | champ électrique                       |

<sup>3</sup> PTT = *push-to-talk*.

<sup>4</sup> CDMA = *code division multiple access*.

<sup>5</sup> CW = *continuous wave*.

<sup>6</sup> DOE = *design of experiments*.

<sup>7</sup> DUT = *device under test*.

|                              |                                                         |
|------------------------------|---------------------------------------------------------|
| CEM                          | compatibilité électromagnétique                         |
| FDTD <sup>8</sup>            | méthode des différences finies dans le domaine temporel |
| AMRF (ou FDMA) <sup>9</sup>  | accès multiple par répartition en fréquence             |
| GPRS <sup>10</sup>           | service général de radiocommunication en mode paquet    |
| GSM <sup>11</sup>            | système global de communications mobiles                |
| MIMO <sup>12</sup>           | entrée multiple sortie multiple                         |
| MOD                          | modulation                                              |
| OFAT <sup>13</sup>           | un facteur à la fois                                    |
| PTT <sup>14</sup>            | poussoir de conversation                                |
| RF                           | radiofréquence                                          |
| RMS <sup>15</sup>            | valeur moyenne quadratique, valeur efficace             |
| RSS <sup>16</sup>            | valeur quadratique de la somme                          |
| DAS                          | débit d'absorption spécifique                           |
| AMRT (ou TDMA) <sup>17</sup> | accès multiple par répartition dans le temps            |

## 5 Spécifications du système de mesure

### 5.1 Exigences générales

Un système de mesure du DAS est constitué d'un modèle de corps humain (fantôme), d'une instrumentation électronique de mesure, d'un système de balayage et d'un support d'appareil.

L'essai doit être effectué en utilisant une sonde miniature qui est positionnée automatiquement pour mesurer la distribution du champ électrique  $E$  dans un fantôme représentant le corps humain exposé aux champs électromagnétiques produits par un appareil sans fils. La distribution du DAS et la valeur de DAS crête spatial moyen doivent être calculées à partir des valeurs mesurées du champ  $E$ .

L'essai doit être effectué dans un laboratoire, conformément aux conditions environnementales suivantes:

- la température ambiante et celle du liquide doivent être toutes deux comprises entre 18 °C et 25 °C; voir 7.2.4.4 pour déterminer l'incertitude de la température du liquide;
- le DUT, l'équipement d'essai, le liquide et le fantôme doivent avoir été maintenus dans le laboratoire suffisamment longtemps pour permettre la stabilisation de leur température (c'est-à-dire qu'il convient qu'ils n'aient pas été retirés récemment d'une autre zone ayant une température ambiante différente comme un réfrigérateur ou une zone située en extérieur);

<sup>8</sup> FDTD = *finite-difference time-domain*.

<sup>9</sup> FDMA = *frequency division multiple access*.

<sup>10</sup> GPRS = *general packet radio service*.

<sup>11</sup> GSM = *global system for mobile communication*.

<sup>12</sup> MIMO = *multiple input multiple output*.

<sup>13</sup> OFAT = *one-factor-at-a-time*.

<sup>14</sup> PTT = *push-to-talk*.

<sup>15</sup> RMS = *root mean square*.

<sup>16</sup> RSS = *root sum square*.

<sup>17</sup> TDMA = *time division multiple access*.

- la variation de la température du liquide pendant l'essai ne doit pas différer de la température du liquide pendant les mesures des propriétés diélectriques de plus de  $\pm 2$  °C ou de celle qui correspondrait à un écart du DAS de  $\pm 5$  % la valeur la plus faible étant retenue; voir en 7.2.4.4, pour déterminer l'incertitude de la température du liquide;
- le bruit électromagnétique ambiant (par exemple le bruit du système de mesure, le bruit dû aux moteurs des robots, à d'autres émetteurs RF, etc.) ne doit pas provoquer un DAS sur 1 g supérieur à 0,012 W/kg (3 % de la valeur de mesure la plus basse de 0,4 W/kg pouvant être déterminée avec les incertitudes indiquées au Tableau 5) mesuré conformément au 7.2.4.5, lorsque l'émetteur RF du DUT est éteint;
- au cours des essais, le DUT ne doit se connecter à aucun réseau sans fil; la connexion à un simulateur de station de base est acceptable;
- l'effet des diffuseurs (par exemple, le sol, le robot, d'autres appareils, etc.) autres que l'émetteur et le fantôme doit être inférieur à 3 % du DAS mesuré, mesuré conformément au 7.2.4.5 lorsque l'émetteur RF du DUT est allumé. Si l'effet des diffuseurs est supérieur à 3 %, une incertitude supplémentaire doit être ajoutée (7.2.4.5).

Conformément au protocole défini dans l'Annexe B, la validation du système doit avoir lieu au moins une fois par an, ainsi que lorsqu'un nouveau système est mis en place et lorsque des modifications ont été apportées au système, comme une nouvelle version de logiciel, une version ou un type différent de lectures électroniques différentes ou des types de sondes différents. Les sources normalisées utilisées pour la validation du système (par exemple un dipôle demi-onde, une antenne dalle, guide d'onde ouvert) doivent être conçues et validées conformément au protocole défini dans l'Annexe B. Des sources supplémentaires (par exemple des dipôles à des fréquences spécifiques non encore inclus dans les Tableaux B.1, D.1, et D.2) peuvent être utilisées comme sources normalisées sous réserve qu'elles satisfassent aux exigences spécifiées dans l'Annexe B.

Lorsque la présente norme spécifie expressément des caractéristiques de performance pour le système de mesure ou d'un appareil faisant partie de ce système, le fabricant du système ou de l'appareil ou bien l'intégrateur du système doivent documenter la conformité aux dispositions de la présente norme.

## 5.2 Spécifications du fantôme – enveloppe et liquide

### 5.2.1 Exigences générales

Les caractéristiques physiques du fantôme plan normalisé ont pour objet de simuler un corps humain. Le fantôme plan est un conteneur dont la partie supérieure est ouverte, muni d'une fine enveloppe diélectrique et rempli d'un liquide équivalent aux tissus. Les propriétés diélectriques (permittivité et conductivité) du liquide sont spécifiées en 5.2.3 et ont été combinées afin d'obtenir une évaluation conservatrice du DAS provoqué chez l'utilisateur [6] (voir l'Annexe A pour la justification utilisée pour déduire les paramètres normalisés du liquide).

### 5.2.2 Matériau, forme et taille du fantôme

L'enveloppe du fantôme doit avoir la forme d'un conteneur dont la partie supérieure est ouverte et qui est muni d'un fond plat. Dans la présente norme, des fantômes plans doivent être utilisés aux fins de validation et de contrôle du système et afin de mesurer le DAS des DUT en utilisant les positions spécifiées en 6.1.4.

Tout fantôme plan utilisé doit être assez grand pour permettre de mesurer le DAS dans des volumes de 1 g et 10 g (une masse volumique du liquide de 1 000 kg/m<sup>3</sup> est utilisée), l'influence de la forme étant inférieure à 1 % (voir Annexe A).

NOTE L'utilisation d'un fantôme plan en tant que fantôme normalisé pour évaluer le DAS des appareils portés près du corps et posés sur le corps a pour but de représenter le couplage maximal entre le DUT et le fantôme en comparaison à une majorité significative de situations d'exposition impliquant des personnes. Ce couplage effectué sur la frontière tout en conservant les distances recommandées donnera vraisemblablement une estimation conservatrice du DAS. L'Annexe H fournit des détails supplémentaires sur ce sujet.

Le fantôme plan doit avoir la forme et les dimensions suivantes:

- a) Sauf comme spécifié au point b), la forme du fantôme doit être une ellipse de  $600 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$  de long et  $400 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$  de large (voir Figure 1).
- b) Excepté pour les fréquences supérieures à 300 MHz et pour les distances de séparation inférieures ou égales à 25 mm de la surface extérieure du fond de l'enveloppe du fantôme, les fantômes de formes différentes et de dimensions inférieures sont autorisés [5] comme suit:
  - entre 300 MHz et 800 MHz, le fond plat du fantôme peut avoir une forme quelconque englobant une ellipse d'une longueur de  $0,6 \lambda_0$  et d'une largeur de  $0,4 \lambda_0$ , où  $\lambda_0$  est la longueur d'onde dans l'air.
  - entre 800 MHz et 6 GHz, le fantôme peut avoir une forme quelconque de fond plat englobant une ellipse de 225 mm de long et 150 mm de large.

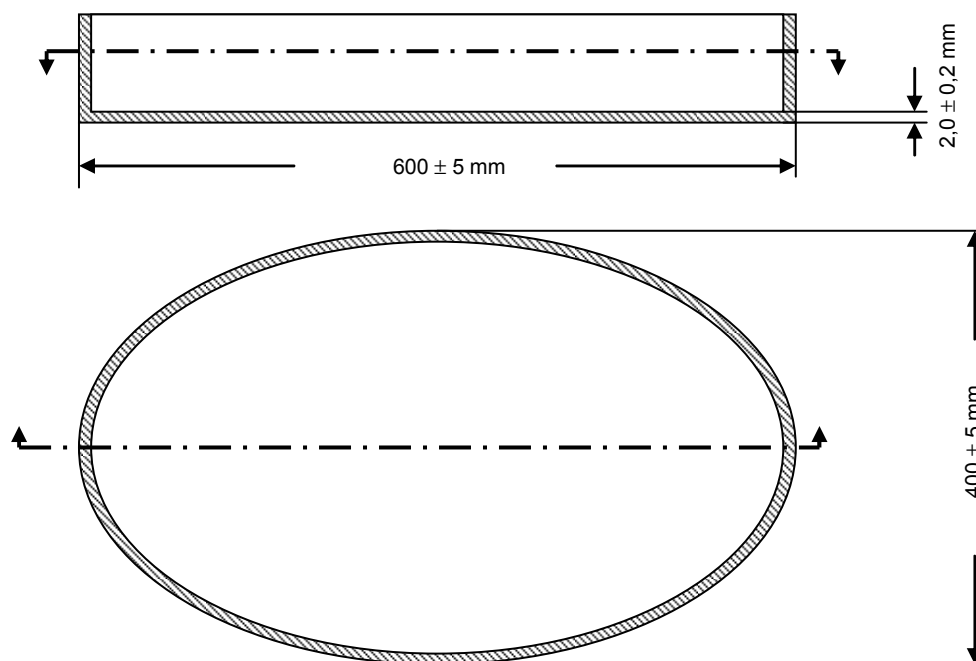


**Figure 1 – Dimensions du fantôme elliptique**

Le fantôme doit être rempli d'un liquide équivalent aux tissus jusqu'à une profondeur d'au moins 150 mm. Pour la gamme de fréquences comprises entre 3 GHz et 6 GHz, une profondeur de liquide de 150 mm est également recommandée mais elle peut être réduite à condition que les réflexions à la surface du liquide ne modifient pas la valeur de DAS crête spatial de plus de 1 %. Une fois le fantôme rempli de liquide, la flèche de la surface extérieure au centre de la paroi du fond doit être inférieure à 2 mm.

L'enveloppe du fantôme doit être construite dans un matériau à faible permittivité et à faible perte avec une tangente de perte  $\tan \delta \leq 0,05$  et une permittivité relative:

$$\epsilon_r' \leq 5 \text{ pour } f \leq 3 \text{ GHz}$$

$$3 \leq \epsilon_r' \leq 5 \text{ pour } f > 3 \text{ GHz [62]}$$

L'épaisseur de la paroi du fond du fantôme plan doit être égale à 2,0 mm avec une tolérance de  $\pm 0,2$  mm.

Si les exigences ci-dessus sont satisfaites, l'effet de la forme et de l'épaisseur sur la répétabilité des résultats de mesure du DAS est inférieur à 1 %. Les effets sur le DAS dus à l'influence de l'écart par rapport aux paramètres et à l'épaisseur de l'enveloppe doivent être inclus dans l'estimation d'incertitude.

Le matériau de l'enveloppe du fantôme doit être résistant aux dégradations ou réactions chimiques avec le liquide chimique équivalent aux tissus.

### 5.2.3 Propriétés du liquide équivalent aux tissus

Les valeurs nominales diélectriques du liquide équivalent aux tissus dans le fantôme sont spécifiées dans le Tableau 1, pour les fréquences discrètes comprises entre 30 MHz et 6 GHz. Pour les autres fréquences comprises dans cette gamme, les valeurs nominales diélectriques doivent être obtenues par interpolation linéaire entre les chiffres supérieur et inférieur du tableau. Des exemples de formulations pour la préparation des liquides équivalant aux tissus conçus pour produire les propriétés diélectriques à certaines des fréquences de la gamme de 30 MHz à 6 GHz sont donnés à l'Annexe E. Les propriétés des matériaux du liquide équivalant aux tissus sont justifiées à l'Annexe A.

Les spécifications relatives à la température du liquide sont indiquées en 5.1.

**Tableau 1 – Propriétés diélectriques du liquide équivalent aux tissus**

| Fréquence<br>MHz | Partie réelle de la<br>permittivité complexe<br>relative $\epsilon'_r$ | Conductivité, $\sigma$<br>S/m |
|------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 30               | 55,0                                                                   | 0,75                          |
| 150              | 52,3                                                                   | 0,76                          |
| 300              | 45,3                                                                   | 0,87                          |
| 450              | 43,5                                                                   | 0,87                          |
| 750              | 41,9                                                                   | 0,89                          |
| 835              | 41,5                                                                   | 0,90                          |
| 900              | 41,5                                                                   | 0,97                          |
| 1 450            | 40,5                                                                   | 1,20                          |
| 1 800            | 40,0                                                                   | 1,40                          |
| 1 900            | 40,0                                                                   | 1,40                          |
| 1 950            | 40,0                                                                   | 1,40                          |
| 2 000            | 40,0                                                                   | 1,40                          |
| 2 100            | 39,8                                                                   | 1,49                          |
| 2 450            | 39,2                                                                   | 1,80                          |
| 2 600            | 39,0                                                                   | 1,96                          |
| 3 000            | 38,5                                                                   | 2,40                          |
| 3 500            | 37,9                                                                   | 2,91                          |
| 4 000            | 37,4                                                                   | 3,43                          |
| 4 500            | 36,8                                                                   | 3,94                          |
| 5 000            | 36,2                                                                   | 4,45                          |
| 5 200            | 36,0                                                                   | 4,66                          |

| Fréquence<br>MHz | Partie réelle de la<br>permittivité complexe<br>relative $\varepsilon'_r$ | Conductivité, $\sigma$<br>S/m |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| <i>5 400</i>     | 35,8                                                                      | 4,86                          |
| <i>5 600</i>     | 35,5                                                                      | 5,07                          |
| <i>5 800</i>     | 35,3                                                                      | 5,27                          |
| <i>6 000</i>     | 35,1                                                                      | 5,48                          |

NOTE Pour la commodité, des valeurs de permittivité et de conductivité à un certain nombre de fréquences qui ne font pas partie des données d'origine fournies par Drossos et al. [16] ou issues de l'extension des données FCC [17] sont fournies (ces valeurs sont indiquées en italique dans le Tableau 1). Les valeurs en italique ont été obtenues par interpolation linéaire entre les valeurs non italiques qui sont situées immédiatement au-dessus et en dessous de ces valeurs, sauf les valeurs à 6 000 MHz qui ont été obtenues par extrapolation linéaire à partir des valeurs à 3 000 MHz et 5 800 MHz.

Pour les besoins de l'évaluation du DAS, les liquides équivalant aux tissus doivent être supposés avoir une masse volumique de 1 000 kg/m<sup>3</sup>.

### 5.3 Spécifications du système d'instrumentation de mesure

#### 5.3.1 Exigences générales

Les exigences relatives au système de balayage et aux sondes sont indiquées respectivement en 5.3.2 et en 5.3.3. Les exigences relatives à l'étalonnage des sondes et au support du DUT sont définies respectivement en 5.3.4 et en 5.3.5.

#### 5.3.2 Système de balayage

Les exigences minimales relatives au système de balayage sont les suivantes:

- précision de la position:  $\leq \pm 0,2$  mm;
- résolution minimale (incrément):  $\leq 1$  mm;
- étendue de balayage:  $\geq 90$  % des dimensions du fantôme dans toutes les directions.

#### 5.3.3 Sondes

Des mesures précises nécessitent que l'extrémité de la sonde soit suffisamment petite pour pouvoir établir avec une résolution suffisante la distribution des champs provoqués dans le fantôme. Il convient que la sonde ne déforme que très peu la distribution du champ, ce qui peut être obtenu si la sonde a un diamètre inférieur à un tiers de la longueur d'onde dans le liquide. En outre, des mesures précises sont nécessaires au plus proche possible de la surface du fantôme afin de limiter le plus possible l'erreur d'extrapolation. L'Article M.1 apporte une justification pour les exigences relatives à la sonde.

Les exigences minimales du précédent alinéa sont satisfaites si la sonde satisfait aux spécifications suivantes:

- diamètre de l'extrémité de la sonde:
  - $\leq 8$  mm, pour les fréquences jusqu'à 2 GHz inclus;
  - $\leq \lambda/3$  pour les fréquences supérieures à 2 GHz
 où  $\lambda$  est la longueur d'onde dans le milieu liquide en mm;
- sensibilité:  $\leq 0,01$  W/kg.

### 5.3.4 Étalonnage de la sonde

La sonde doit être étalonnée avec les lectures électroniques associées et les étalonnages ainsi obtenus doivent être valides pour tout autre type identique ou techniquement équivalent de lectures électroniques. La sonde doit être étalonnée pour chaque liquide équivalent aux tissus, aux fréquences et température de fonctionnement appropriées, en accord avec la méthode décrite en Annexe B de la CEI 62209-1:2005.

### 5.3.5 Spécifications de la ou des fixations destinées à maintenir le DUT dans la position d'essai

Le support de l'appareil doit être fabriqué dans des matériaux à faible perte et à faible permittivité:

- tangente de perte  $\tan \delta \leq 0,05$ ,
- permittivité relative  $\epsilon_r' \leq 5$ .

Le support de l'appareil doit garantir un positionnement précis et reproductible du DUT. L'incertitude de positionnement doit être évaluée conformément aux méthodes de 7.2.3.4.3.

## 6 Protocole pour l'évaluation du DAS

### 6.1 Préparation des mesures

#### 6.1.1 Préparation générale

Les propriétés diélectriques des liquides équivalent aux tissus doivent être mesurées dans les 24 h précédant les mesures du DAS, ou moins fréquemment si le laboratoire peut justifier la conformité aux recommandations de 5.2.3 sur de plus grands intervalles mais sans toutefois dépasser une semaine. La conductivité mesurée et la permittivité relative doivent être à 10 % près des valeurs cibles. Les résultats des mesures du DAS doivent être corrigés en utilisant les procédures de l'Annexe F. Si la correction  $\Delta \text{DAS}$  a un signe négatif, les résultats des mesures du DAS ne doivent pas être corrigés.

Il convient d'utiliser les procédures de mesure des paramètres diélectriques de l'Annexe I. Les méthodes de détermination de l'effet des écarts de permittivité et de conductivité sur le DAS sont décrites dans l'Annexe F.

#### 6.1.2 Contrôle du système

Un contrôle du système en accord avec les procédures de l'Annexe B doit être accompli avant d'exécuter les mesures du DAS pour un DUT.

#### 6.1.3 Préparation de l'appareil en essai

##### 6.1.3.1 Généralités

Le DUT doit utiliser son émetteur interne, intégré ou connecté. L'antenne ou les antennes et accessoires utilisés doivent être spécifiés dans le rapport de mesure.

La puissance de sortie RF et la fréquence (canal) doivent être contrôlées en utilisant un programme interne d'essai ou en utilisant une liaison sans fils à une station de base ou un simulateur de réseau.

Le DUT doit être réglé pour émettre à son niveau de puissance de sortie RF moyenne (dans le temps) le plus élevé qui est défini par le mode de transmission et/ou les exigences de fonctionnement du DUT. Si ce n'est pas possible ou réalisable, l'essai peut être effectué à un niveau de puissance plus bas, puis extrapolé numériquement au niveau de puissance le plus

élevé si le facteur d'échelle est connu et documenté dans le rapport de mesure. L'Annexe L décrit un exemple de procédure de mise à l'échelle.

Si le mode normal de fonctionnement inclut la transmission par rafales sans facteur d'utilisation de l'impulsion fixe, les essais doivent être menés pour un facteur d'utilisation de l'impulsion à commande fixe et les résultats du DAS doivent ensuite être mis à l'échelle du facteur d'utilisation de l'impulsion maximal prévu pour ce mode et doivent être documentés dans le rapport de mesure. Si le facteur d'utilisation de l'impulsion maximal prévu n'est pas bien identifié ou si un facteur d'utilisation de l'impulsion à commande fixe est difficile à générer, un mode de fonctionnement disponible doit être utilisé et une mise à l'échelle appropriée doit être choisie et documentée dans le rapport de mesure.

Les essais d'exposition doivent être basés sur les caractéristiques du DUT, c'est-à-dire sur les modes de fonctionnement, les bandes de fonctionnement, les configurations des antennes, etc. Lorsque de multiples modes de fonctionnement sont possibles, ils doivent tous être soumis à essai à moins qu'il soit clairement démontré que certains modes utilisent une puissance de sortie moyenne dans le temps inférieure aux autres à la même fréquence. Par exemple, si un DUT a de multiples intervalles d'émission, le mode utilisant le nombre le plus élevé d'intervalles de temps doit être utilisé et les modes utilisant moins d'intervalles de temps à la même fréquence ne nécessitent pas d'être soumis à essai (en supposant que la puissance de sortie moyenne dans le temps pendant l'intervalle de temps soit identique pour tous les modes). Si certains modes doivent être exclus des essais, une explication claire doit être donnée concernant la relation des modes de fonctionnement par rapport à leur niveau de puissance, facteur d'utilisation de l'impulsion, fréquence de fonctionnement et antenne utilisée, voir en 6.2 et l'Annexe C pour plus de détails. Des essais en mode veille ne sont pas nécessaires lorsque la puissance de sortie moyenne dans le temps est inférieure à celle enregistrée pendant la transmission active.

En général, le DUT doit être soumis à essai dans ses configurations de fonctionnement possibles comme détaillé dans les instructions d'utilisation. Aucun câble ne doit être relié au DUT, à moins que les câbles ne soient nécessaires au fonctionnement dans la configuration d'exploitation prévue (par exemple, un câble de casque pour une utilisation mains libres ou un câble de données pour la transmission de données). La connexion de câbles au DUT peut altérer la distribution actuelle RF à la surface du DUT. Les câbles qui ne sont pas indispensables au fonctionnement dans la configuration d'exploitation prévue doivent être placés perpendiculairement à la surface du fantôme afin de limiter le plus possible l'impact sur le DAS mesuré. Les câbles qui sont nécessaires au fonctionnement dans la configuration d'exploitation prévue doivent être placés pour produire des résultats conservateurs du DAS. Le positionnement du câble doit être documenté dans le rapport de mesure.

Si un mode de fonctionnement permet une transmission multiple simultanée (par exemple, GSM et transmission Bluetooth simultanés), ce mode de fonctionnement doit également être soumis à essai (voir en 6.3.2 pour les procédures).

Si un DUT est uniquement destiné à une utilisation avec une source de puissance externe, il convient d'utiliser le câblage fourni par le fabricant pour le raccordement à une source de puissance appropriée. Lorsque la source de puissance prévue est une batterie, celle-ci doit être complètement chargée avant de procéder aux mesures et il ne doit y avoir aucune alimentation de puissance externe. Une seule charge de la batterie peut être utilisée pour une série de mesures tant que la dérive est évaluée comme décrit en 6.1.3.2 et que les valeurs de DAS sont corrigées conformément aux recommandations incluses dans le présent document.

### **6.1.3.2 Plusieurs mesures du DAS à l'aide d'une seule charge de la batterie**

#### **6.1.3.2.1 Exigences générales**

Trois conditions doivent être remplies lorsque plusieurs mesures du DAS sont effectuées à l'aide d'une seule charge de la batterie:

- a) les valeurs mesurées du DAS doivent être corrigées par un facteur supérieur ou égal à l'amplitude de la dérive;

NOTE Aucune correction de la valeur mesurée du DAS ne doit être effectuée lorsque la dérive est ascendante, c'est-à-dire une augmentation apparente du champ électrique (ou de la puissance); seule une dérive descendante doit être corrigée.

- b) la dérive cumulée (c'est-à-dire l'amplitude de la dérive après la deuxième, la troisième, la quatrième, etc. mesure de la série) doit être inférieure ou égale à  $\pm 1,0$  dB;
- c) les résultats des mesures pour lesquelles la dérive cumulée est supérieure à 1,0 dB doivent être rejetés (c'est-à-dire répétés le cas échéant).

L'amplitude de la dérive peut être évaluée de trois façons différentes comme détaillé ci-dessous.

#### 6.1.3.2.2 Méthode 1 – Évaluation de la dérive par mesure des caractéristiques de décharge de la batterie<sup>18</sup>

Cette méthode d'évaluation de la dérive utilise la caractéristique de décharge de la batterie mesurée pour les mêmes fréquences et mode de fonctionnement que ceux utilisés pour l'essai du DAS.<sup>19</sup> La mesure de la caractéristique de décharge peut être une mesure de puissance conduite utilisant le connecteur RF externe du DUT (si disponible) ou une mesure du DAS en utilisant un fantôme plan rempli de liquide. Pour les deux types de mesure, la puissance de sortie du DUT (définie pour émettre la fréquence et le mode requis) doit être surveillée en continu jusqu'à ce que la dérive dépasse 1,0 dB (26 %).

Pour une mesure de puissance conduite, une lecture de la puissance directe est effectuée. Les mesures de puissance conduite sont effectuées sur le DUT au niveau de la prise d'antenne en utilisant un équipement capable de mesurer la puissance RF avant le placement du DUT pour l'essai du DAS. Si une mesure de puissance conduite est effectuée, la puissance doit être mesurée immédiatement avant et immédiatement après la mesure du DAS.

Pour une mesure du champ électrique rayonné, la valeur en un point unique du DAS en un point de référence fixe du fantôme plan rempli de liquide est mesurée en continu et le résultat est converti en DAS une fois la mesure effectuée. Le point de référence doit être choisi de sorte que la valeur en un point unique du DAS dépasse la limite inférieure de détection du système de DAS. Une deuxième mesure doit être effectuée par le système au point défini par l'utilisateur immédiatement après la mesure du DAS.

La courbe de puissance générée ou la réduction du DAS par rapport au temps doivent être utilisées pour corriger la dérive dans les mesures multiples. Une correction doit être effectuée en notant la durée à partir du début de la série d'essais multiples jusqu'à la fin de chaque essai successif et en lisant la chute de puissance correspondante ou le DAS pour cette période à partir de la courbe.

#### 6.1.3.2.3 Méthode 2 – Évaluation de la dérive par calcul de la dérive cumulée

Dans cette méthode, la dérive enregistrée pour chaque mesure du DAS est ajoutée à la dérive cumulée enregistrée pour toutes les mesures précédentes de la série, par exemple, si dans une série de trois essais, l'essai initial a une dérive de 0,4 dB, le deuxième essai a 0,25 dB et le troisième essai 0,31 dB, les dérives à compenser sont donc:

- pour l'essai initial: 0,4 dB

<sup>18</sup> La méthode utilisée pour mesurer la caractéristique de décharge de la batterie implique inévitablement des variations dans les composantes du système de mesure du DAS.

<sup>19</sup> Pour éviter de nombreuses répétitions de la mesure de la caractéristique de décharge de la batterie pour chaque fréquence et mode possibles, une seule mesure peut être effectuée en utilisant la fréquence et le mode avec la valeur la plus élevée de la puissance de sortie moyenne dans le temps. Cela garantit une approche conservatrice de la correction de la dérive.

- pour le deuxième essai: 0,65 dB (c'est-à-dire 0,4 dB + 0,25 dB)
- pour le troisième essai: 0,96 dB (c'est-à-dire 0,4 dB + 0,25 dB + 0,31 dB).

L'amplitude de la dérive pour chaque mesure du DAS doit être évaluée en mesurant l'intensité du rayonnement du champ *E* (ou DAS en un point unique) en un point de référence fixe à l'intérieur du fantôme rempli de liquide comme décrit en 6.1.3.2.2, avant et après chaque mesure du DAS. Si la méthode de l'intensité du rayonnement du champ *E* n'est pas suffisamment sensible, une autre solution consiste à mesurer la puissance conduite du connecteur coaxial externe sur le DUT, avant et après chaque mesure du DAS. Si le DUT continue d'émettre entre les mesures du DAS successives, il convient de réduire le plus possible le délai entre ces mesures séparées du DAS et il convient également que ce délai ne dépasse pas 5 min.

Lorsque la dérive cumulée après la deuxième, troisième, quatrième, etc. mesure dépasse 1,0 dB, la dernière mesure du DAS doit être rejetée et les valeurs du DAS des mesures précédentes de la série doivent être corrigées pour tenir compte de l'amplitude de la dérive.

#### 6.1.3.2.4 Méthode 3 – Évaluation de la dérive par calcul de la dérive cumulée

Cette méthode est applicable uniquement si le DUT n'est pas déplacé pendant la série d'essais multiples.

Cette méthode de l'évaluation de la dérive est similaire à celle du 6.1.3.2.3 mais, dans le cas présent, la dérive cumulée est calculée en réinitialisant le DUT, après chaque essai successif, à la fréquence et au mode de transmission utilisés dans l'essai initial et en enregistrant le niveau de puissance conduite ou le rayonnement du champ *E* (ou valeur du DAS) par rapport au niveau enregistré avant le début de l'essai initial.

Lorsque la dérive cumulée est égale ou supérieure à 1,0 dB, la dernière mesure du DAS doit être rejetée et les valeurs de DAS des mesures précédentes de la série doivent être corrigées pour tenir compte de l'amplitude de la dérive.

### 6.1.4 Position de l'appareil en essai par rapport au fantôme

#### 6.1.4.1 Considérations et exigences générales

Le présent paragraphe décrit les procédures de positionnement pour les types d'appareils suivants:

- appareil générique (6.1.4.3);
- appareil porté près du corps (6.1.4.4);
- appareils munis d'une ou plusieurs antennes à charnière ou à rotule (6.1.4.5);
- appareil posé sur le corps (6.1.4.6);
- appareil de bureau (6.1.4.7);
- appareil placé devant le visage (6.1.4.8);
- appareil uniquement tenu à la main (6.1.4.9);
- appareil fixé à un membre (6.1.4.10);
- appareil intégré aux vêtements (6.1.4.11).

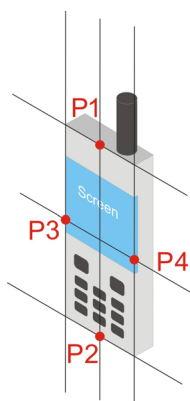
Le présent paragraphe décrit comment le DUT, avec ou sans accessoires, doit être positionné, orienté et configuré par rapport au fantôme. La ou les positions d'essai spécifiées s'appliquent à des distances entre la surface du fantôme et l'appareil allant jusqu'à 200 mm inclus.

NOTE Les chiffres donnés dans le présent paragraphe le sont uniquement à des fins d'illustration, ils ne sont ni à l'échelle ni représentatifs de la zone de balayage requise.

Si le fabricant a spécifié plusieurs positions et orientations prévues de l'appareil, chacune d'entre elles doit être soumise à essai et les essais doivent être limités à ces positions. Si aucune position d'utilisation prévue n'est spécifiée ou en l'absence d'instructions, les procédures d'essais de l'appareil générique doivent être suivies.

Dans tous les cas, le DUT doit être soumis à essai contre un fantôme plan. Le DUT doit être placé sous le fantôme de façon à pouvoir mesurer le DAS crête spatial moyen. Pour les appareils de plus grandes dimensions ou lorsque le maximum est enregistré au bord de la zone de balayage, un fantôme dont les dimensions dépassent d'au moins 20 % celles de la projection du DUT (y compris les câbles, le cas échéant) peut être nécessaire ou bien le déplacement du DUT et une nouvelle mesure peuvent être nécessaires afin de saisir complètement le maximum dans la zone de balayage (voir 6.1.4.2).

Le DUT doit être orienté conformément à l'utilisation prévue par le fabricant, si elle est spécifiée. Des indications générales relatives à l'orientation d'un DUT ou d'un accessoire portable parallèlement au fantôme plan sont comme suit. Ces indications doivent être suivies dans la mesure où elles sont cohérentes avec l'utilisation prévue par le fabricant. P1, P2, P3 et P4 sont définis comme le point milieu de chaque bord de la surface comme indiqué à la Figure 2. Les droites P1-P2 et P3-P4 doivent être parallèles à la surface du fantôme de sorte que la distance entre P1 et la surface du fantôme soit égale à la distance entre P2 et la surface du fantôme. De même, la distance entre P3 et la surface du fantôme doit être égale à la distance entre P4 et la surface du fantôme. La distance de séparation est définie comme la distance entre l'enveloppe du fantôme et le point le plus proche du DUT lorsqu'il est positionné comme décrit ci-dessus. En pratique le point le plus proche peut être P1 et P2, P3 et P4, ou le point défini par la distance de séparation entre l'enveloppe du fantôme et le point le plus proche du DUT lorsqu'il est positionné comme décrit ci-dessus.



Légende

Screen

Écran

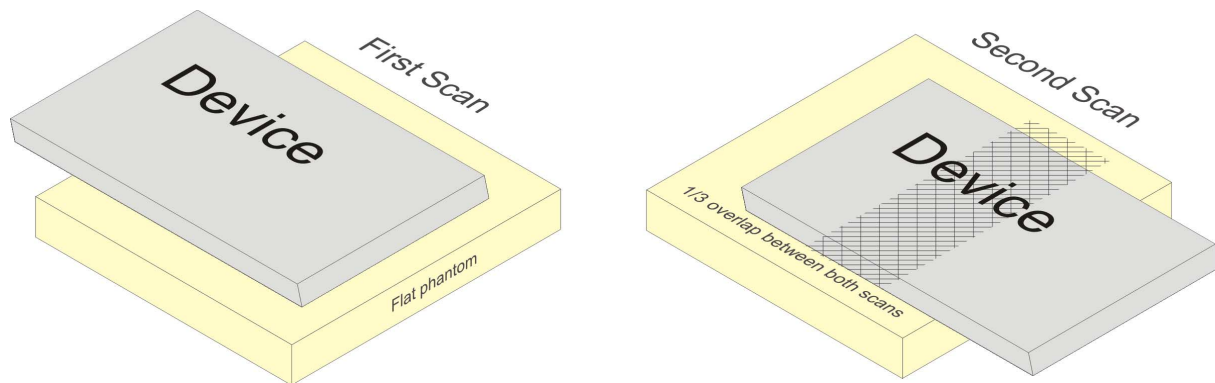
**Figure 2 – Définition des points de référence**

#### **6.1.4.2 Positionnement pour les dispositifs qui sont grands par rapport à la surface du fantôme**

Si le DUT est plus grand que le fantôme elliptique minimal défini à la Figure 1 et texte associé, le DUT doit être déplacé de façon à pouvoir effectuer plusieurs balayages de zone couvrant l'ensemble du DUT. Lorsque le fantôme est déplacé sur la surface du DUT prise en compte, le couplage entre le DUT et le fantôme est susceptible de changer et il sera alors différent de celui vu à l'aide d'un fantôme plus grand couvrant l'ensemble du DUT.

Afin de limiter les écarts de DAS mesuré dus aux variations du couplage, il convient que les zones de balayage du DUT de deux essais successifs se chevauchent d'au moins un tiers dans la direction du déplacement comme indiqué à la Figure 3.

L'écart maximal du DAS en un point unique entre les deux zones de balayage se chevauchant doit être inférieur à l'incertitude élargie de répétabilité indiquée au Tableau 7 et il convient de s'en assurer. Sinon, l'incertitude générée doit être évaluée et documentée conformément aux procédures et techniques présentées à l'Article 7. Il n'est pas nécessaire de procéder à un déplacement si les structures rayonnantes sont petites comparées au DUT et au fantôme et/ou si le premier balayage de zone indique que la distribution du DAS est entièrement saisie dans la zone de balayage. Les raisons d'une omission du déplacement doivent être clairement indiquées dans le rapport de mesure.



#### Légende

|                                |                                               |
|--------------------------------|-----------------------------------------------|
| First scan                     | Premier balayage                              |
| Second scan                    | Second balayage                               |
| Flat phantom                   | Fantôme plan                                  |
| 1/3 overlap between both scans | Chevauchement de 1/3 entre les deux balayages |
| Device                         | Appareil                                      |

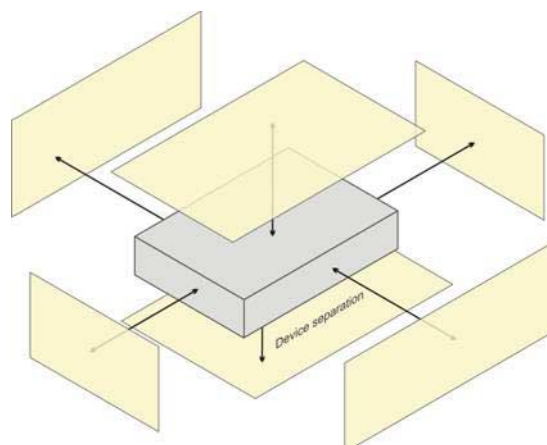
**Figure 3 – Mesures par déplacement de l'appareil par rapport au fantôme**

#### 6.1.4.3 Appareil générique

Un appareil ne pouvant pas être classé dans l'un des autres types spécifiques d'appareils de 6.1.4.1 doit être considéré comme générique, c'est-à-dire représenté par une boîte fermée comprenant au moins un émetteur RF interne et une antenne.

L'évaluation du DAS doit être effectuée pour toutes les surfaces du DUT qui sont accessibles pendant l'utilisation prévue comme indiqué à la Figure 4. La distance de séparation dans les essais doit correspondre à la distance d'utilisation prévue spécifiée dans les instructions d'utilisation fournies par le fabricant. Si l'utilisation prévue n'est pas spécifiée, toutes les surfaces du DUT doivent être soumises à essai directement contre le fantôme plan.

La surface de l'appareil générique (ou la surface de l'accessoire portable portant le DUT) dirigée vers le fantôme plan doit être parallèle à la surface du fantôme.



#### Légende

Device separation

Distance de séparation de l'appareil

**Figure 4 – Positions d'essai pour un appareil générique**

Le principe appliqué à l'appareil générique peut être appliqué à tous les appareils. Lorsqu'un émetteur est ajouté à l'appareil hôte afin que l'hôte et l'émetteur fonctionnent comme un dispositif unique, il convient de le traiter conformément aux paragraphes 6.1.4.4 à 6.1.4.11, selon le cas. Lorsque l'antenne ou l'émetteur RF ajouté est externe à l'hôte et le positionnement de l'antenne ou de l'émetteur RF ajouté est indépendant du positionnement de l'hôte - par exemple l'émetteur est relié par un câble - il(elle) doit être évalué(e) conformément aux procédures de l'appareil générique.

Pour les DUT munis d'antennes multiples, les mêmes principes s'appliquent et toutes les combinaisons pertinentes de positions d'antenne doivent être soumises à essai. L'Annexe C donne plus d'indications sur la manière de réduire le nombre de combinaisons soumises à essai.

#### 6.1.4.4 Appareil porté près du corps

Les exemples types d'appareils portés près du corps sont les téléphones mobiles, les assistants numériques personnels sans fil ou tout autre appareil sans fil fonctionnant sur batterie ayant la possibilité d'émettre lorsque l'appareil est porté près du corps d'une personne à l'aide d'un accessoire portable approuvé par le fabricant de l'appareil sans fil.

Si les instructions d'utilisation fournies par le fabricant spécifient l'utilisation prévue avec un accessoire portable (clip de ceinture, une poche de ceinture, un attaché case ou accessoire similaire), l'appareil doit être placé comme prévu dans cet accessoire portable et l'accessoire doit être placé dans l'orientation prévue contre le fantôme plan.

Pour les accessoires portables fabriqués dans des matériaux non conducteurs (métal, par exemple) capables de maintenir le DUT à différentes distances minimales du fantôme, l'accessoire portable assurant la plus courte distance de séparation générera le DAS le plus élevé. Par conséquent, il n'est pas nécessaire de soumettre à essai les accessoires portables assurant des distances de séparation plus longues. Pour les accessoires portables ne contenant aucun matériau conducteur (le métal, par exemple), il est acceptable de remplacer l'accessoire portable par un entrefer ou une entretoise qui maintient le DUT à une distance de la surface du fantôme inférieure ou égale à la distance fournie par l'accessoire portable. L'entretoise doit être fabriquée dans des matériaux à faible perte et à faible permittivité avec une tangente de perte  $\leq 0,005$  et une permittivité relative  $\leq 1,1$ . Les accessoires ne contenant aucun émetteur RF et pour lesquels il a été démontré qu'ils augmentent le DAS maximal de moins de 5 %, comme les kits mains libres, ne nécessitent pas des essais de DAS séparés

des essais de DAS liés à une configuration principale du DUT. L'Annexe G fournit d'autres informations et justifications relatives aux essais sur les kits mains libres.

NOTE Dans ce contexte, «mains libres» signifie seulement accessoire à oreillette(s) et/ou casque non émetteur relié à un appareil mobile par un câble ou un fil et non les appareils tels qu'une oreillette et/ou un casque Bluetooth, c'est-à-dire un «kit mains libres sans fil».

Si les instructions d'utilisation fournies par le fabricant spécifient une utilisation prévue avec un accessoire approprié placé à une certaine distance de séparation du corps, l'appareil doit être placé comme prévu à la distance de la surface extérieure du fantôme qui correspond à la distance spécifiée (Figure 5). Lors de l'évaluation du DAS de l'appareil sans accessoire portable spécifique, la distance de séparation ne doit pas dépasser 25 mm. Il convient que la surface de l'appareil dirigée vers le fantôme plan soit parallèle à la surface du fantôme. Toutefois, tous les appareils n'ont pas une surface plane. Par conséquent, les détails de la position de l'appareil - par exemple la définition de la distance et la relation physique entre l'appareil et le fantôme (voir 6.1.4.1) - doivent être documentés dans le rapport de mesure conformément aux instructions du fabricant.

EXEMPLE Une distance de séparation de 15 mm est couramment utilisée pour les téléphones mobiles portés près du corps pour représenter un espacement fourni par les accessoires prévus.

Si l'utilisation prévue n'est pas spécifiée dans les instructions d'utilisation, l'appareil doit être soumis à essai, chacune de ses surfaces étant directement contre le fantôme plan. Les détails relatifs à la position de l'appareil, notamment les points de contact avec la surface du fantôme doivent être documentés dans le rapport de mesure. Si une ou plusieurs surfaces sont exclues des essais, cela doit être indiqué et justifié dans le rapport de mesure.

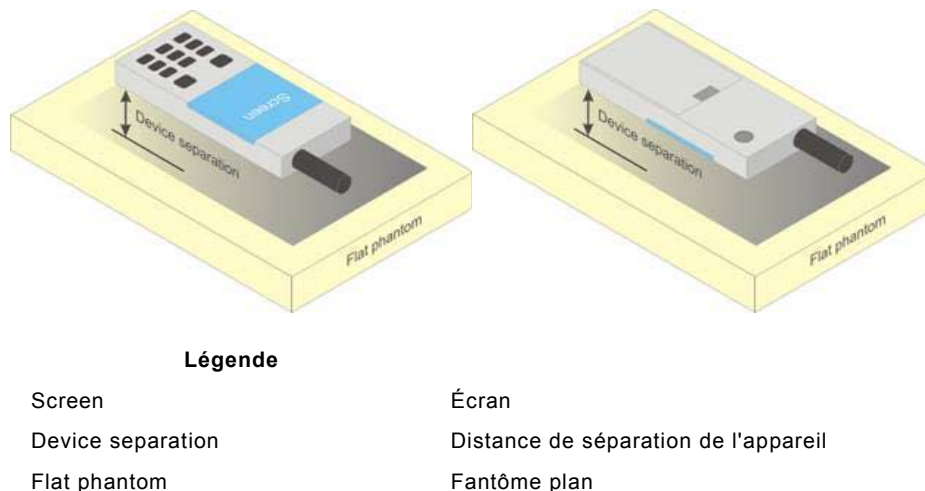
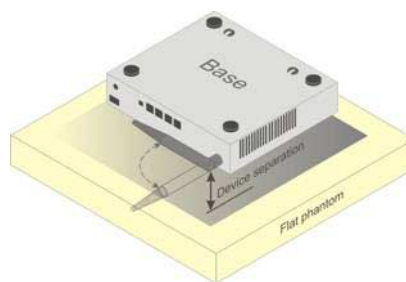


**Figure 5 – Positions d'essai pour les appareils portés près du corps**

#### **6.1.4.5 Appareils munis d'une ou plusieurs antennes à charnière ou à rotule**

Pour les appareils utilisant une ou plusieurs antennes externes avec des positions variables (par exemple, une antenne dépliée, repliée, pivotée), ces dernières doivent être positionnées conformément aux instructions d'utilisation fournies par le fabricant. Pour un appareil ne comportant qu'une seule antenne, si aucune position d'antenne prévue n'est spécifiée, les essais doivent être réalisés, s'ils sont applicables, dans les positions horizontale et verticale par rapport au fantôme, et avec l'antenne orientée dans la direction opposée au corps du DUT (Figure 6) et/ou avec l'antenne dépliée et repliée afin d'obtenir la condition d'exposition la plus élevée. Pour les antennes pouvant pivoter sur un ou deux plans, il convient d'effectuer une évaluation et de la documenter dans le rapport de mesure par rapport au scénario d'exposition la plus élevée; seule(s) la/les position(s) correspondant à ce scénario nécessite(nt) d'être soumise(s) à essai. Pour les appareils munis de plusieurs antennes amovibles, voir les dispositions de 6.2.2.



#### Légende

|                   |                                      |
|-------------------|--------------------------------------|
| Base              | Base                                 |
| Device separation | Distance de séparation de l'appareil |
| Flat phantom      | Fantôme plan                         |

**Figure 6 – Dispositif muni d'une antenne à rotule (exemple d'appareil de bureau)**

#### 6.1.4.6 Appareil posé sur le corps

Un exemple type d'appareil posé sur le corps est un appareil portable sans fil qui peut notamment être placé sur les genoux d'un utilisateur assis. Pour représenter cette orientation, l'appareil doit être placé avec sa base contre le fantôme plan. D'autres orientations peuvent être spécifiées par le fabricant dans les instructions d'utilisation. Si l'utilisation prévue n'est pas spécifiée, l'appareil doit être soumis à essai directement contre le fantôme plan dans toutes les orientations utilisables.

L'écran de l'appareil doit être en position ouverte à 90° comme représenté en Figure 7a (à gauche), ou incliné selon un angle spécifié pour l'utilisation prévue par le fabricant dans le guide d'utilisation. Lorsqu'un appareil posé sur le corps est équipé d'un écran intégré requis pour son fonctionnement normal, il n'est pas nécessaire de soumettre à essai le côté de l'écran s'il reste généralement à 200 mm du corps. En présence d'une antenne intégrée à l'écran, cette position doit être répétée en plaçant l'écran contre le fantôme plan comme représenté à la Figure 7a) (à droite), si cela est cohérent avec l'utilisation prévue.

D'autres appareils entrant dans cette catégorie sont par exemple les ordinateurs portables de type tablette et les terminaux d'autorisation de transaction des cartes de crédit, les terminaux de point de vente et/ou d'inventaire. Si ces appareils peuvent être fixés au torse ou à un membre, les mêmes principes pour les appareils posés sur le corps s'appliquent.

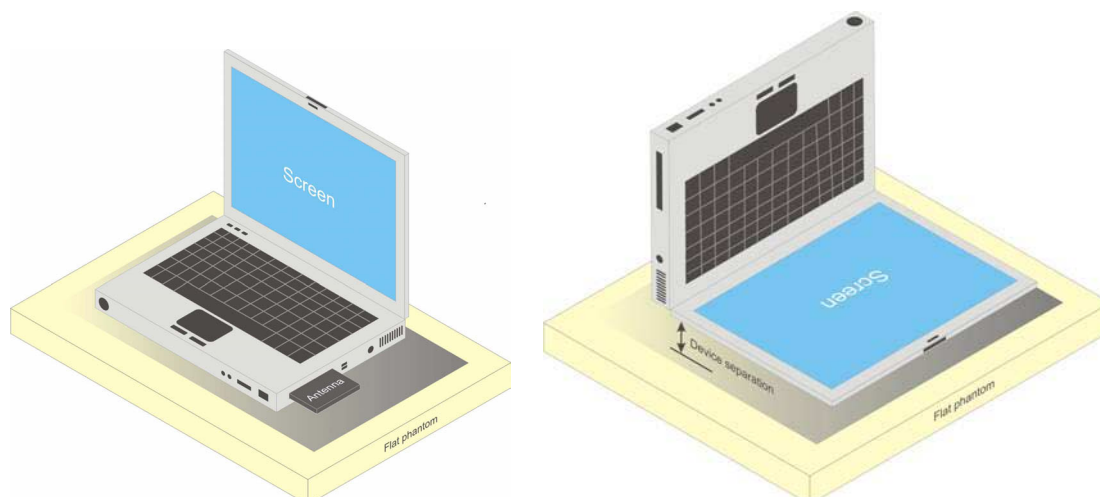
L'exemple de la Figure 7b) représente un ordinateur portable en forme de tablette pour lequel il convient d'évaluer séparément le DAS avec

- d) chaque surface et
- e) les distances de séparation

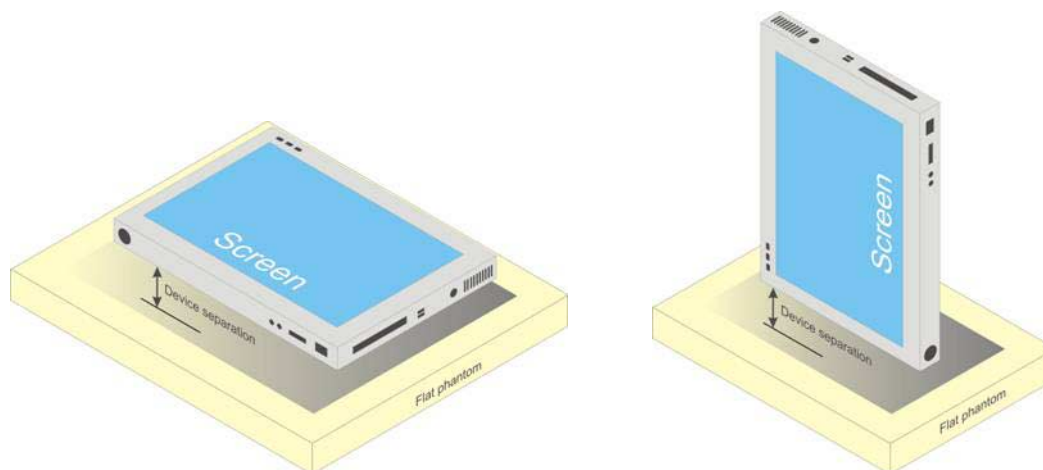
en position contre le fantôme plan, qui correspond à l'utilisation prévue spécifiée par le fabricant. Si l'utilisation prévue n'est pas spécifiée dans les instructions d'utilisation, l'appareil doit être soumis à essai directement contre le fantôme plan dans toutes les orientations utilisables.

Certains appareils posés sur le corps peuvent permettre des essais avec une alimentation électrique externe (par exemple, un adaptateur à courant alternatif) complémentaire de la batterie, mais il doit être vérifié et documenté dans le rapport de mesure que le DAS est toujours conservateur.

Pour les appareils utilisant une antenne externe avec des positions variables (par exemple une antenne à rotule), voir 6.1.4.5 et Figure 6.



a) Ordinateur portable avec antenne externe sous forme de carte enfichable (à gauche) ou avec antenne interne située dans l'écran (à droite)



**Légende**

Screen

Device separation

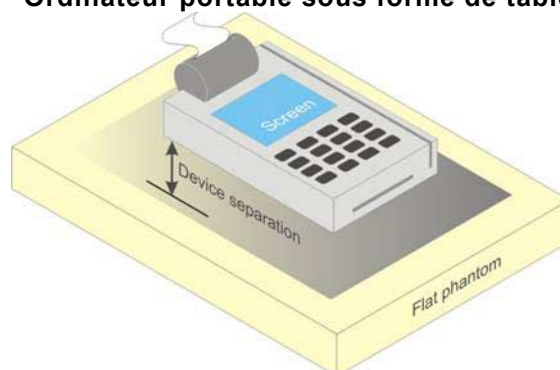
Flat phantom

Écran

Distance de séparation de l'appareil

Fantôme plan

b) Ordinateur portable sous forme de tablette



**Légende**

Screen

Device separation

Flat phantom

Écran

Distance de séparation de l'appareil

Fantôme plan

c) Terminal d'autorisation de transaction des cartes de crédit sans fils

**Figure 7 – Positions d'essai pour les appareils posés sur le corps**

#### 6.1.4.7 Appareil de bureau

Un exemple type d'appareil de bureau est un ordinateur de bureau sans fils posé sur une table ou un bureau lorsqu'il est utilisé.

Le DUT en essai doit être placé à la distance et dans l'orientation par rapport au fantôme correspondant à l'utilisation prévue spécifiée par le fabricant dans les instructions d'utilisation. Pour les appareils utilisant une antenne externe avec des positions variables, les essais doivent être effectués pour toutes les positions d'antenne spécifiées. Les Figures 6 et 8 représentent les positions d'essai du DAS pour les appareils de bureau. Si l'utilisation prévue n'est pas spécifiée, l'appareil doit être soumis à essai directement contre le fantôme plan.

En raison de la conception physique, certaines surfaces d'appareil peuvent ne pas nécessiter d'essai, par exemple, la base d'un appareil posé sur le bureau.

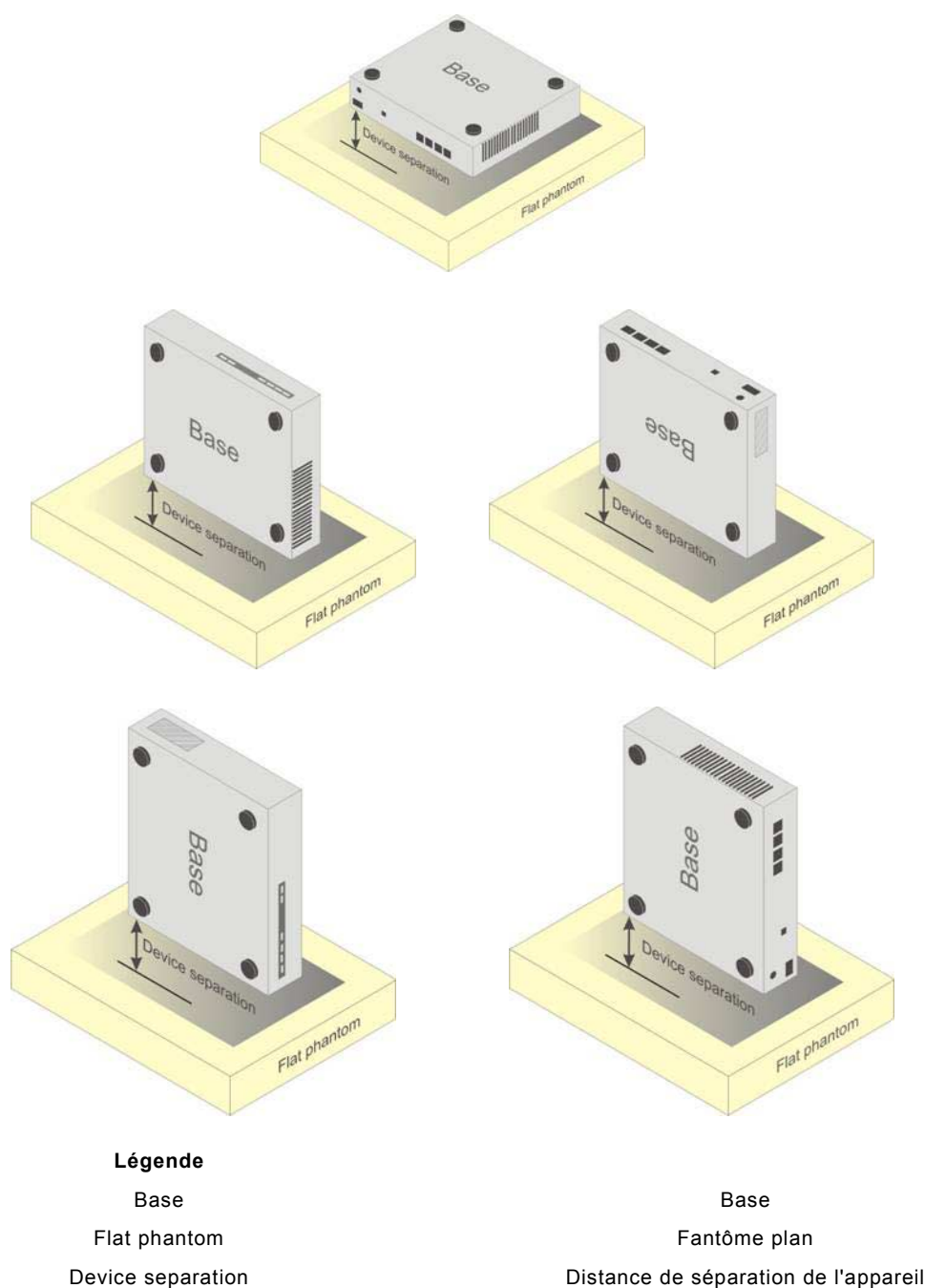
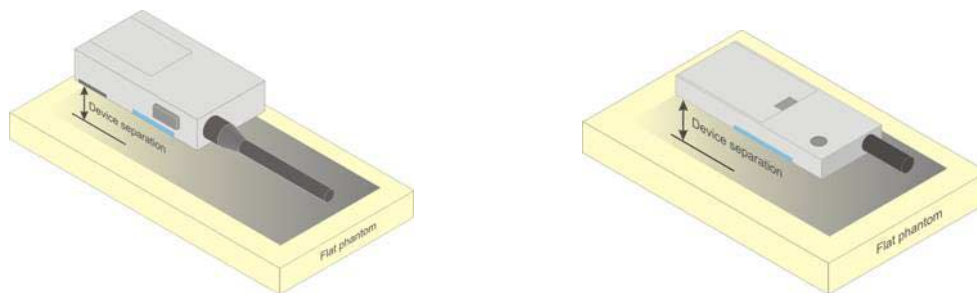


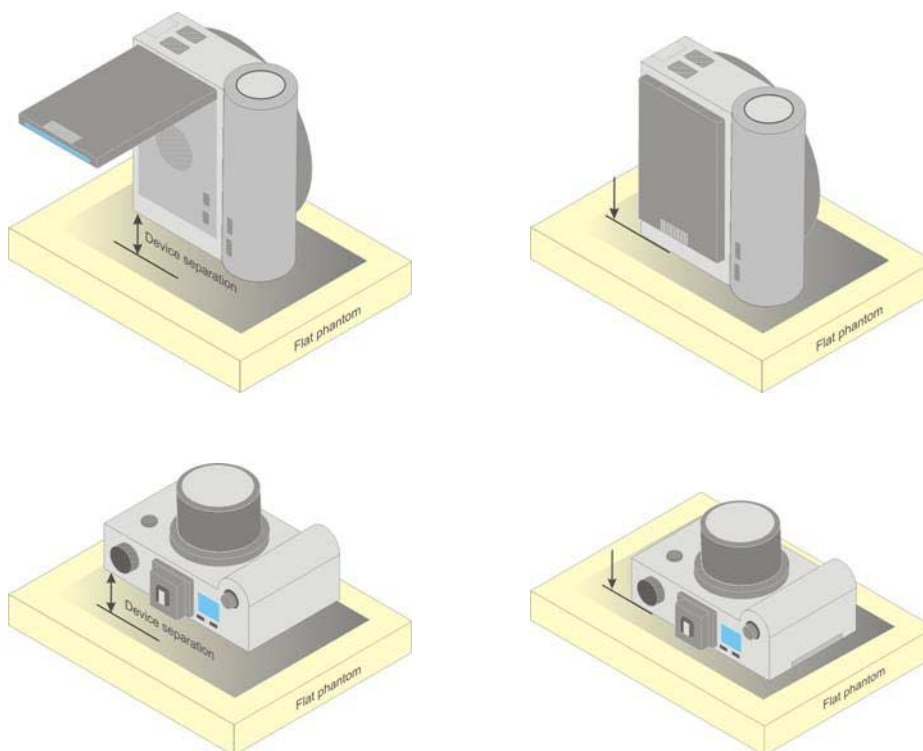
**Figure 8 – Positions d'essai pour les appareils de bureau**

#### 6.1.4.8 Appareil placé devant le visage

Un exemple type d'appareil placé devant le visage est une radio bidirectionnelle tenue à une distance donnée du visage de l'utilisateur pendant l'émission. Dans ce cas, l'appareil en essai doit être placé à la distance de la surface du fantôme correspondant à l'utilisation prévue spécifiée par le fabricant dans les instructions d'utilisation (Figure 9a). Si l'utilisation prévue n'est pas spécifiée, une distance de séparation de 25 mm<sup>20</sup> entre la surface du fantôme et l'appareil doit être respectée.



a) Radios bidirectionnelles



**Légende**  
 Flat phantom  
 Device separation  
 Fantôme plan  
 Distance de séparation de l'appareil

b) Appareils photographiques et caméras vidéo

**Figure 9 – Positions d'essai pour les appareils placés devant le visage**

<sup>20</sup> Cette distance correspond au percentile 95 % de la distance de protubérance du nez obtenue dans l'étude anthropomorphique de [Gordon et al.[27].

D'autres appareils entrant dans cette catégorie sont, par exemple, les appareils photographiques et les caméras vidéo sans fils pouvant envoyer des données vers un réseau ou un autre appareil (Figure 9b). Dans le cas d'un appareil dont l'utilisation prévue requiert une distance de séparation avec l'utilisateur (par exemple, un appareil avec un écran d'affichage), il doit être placé à la distance de la surface du fantôme correspondant à l'utilisation prévue spécifiée par le fabricant dans les instructions d'utilisation (Figure 9b, à gauche). Si l'utilisation prévue n'est pas spécifiée, une distance de séparation de 25 mm entre la surface du fantôme et l'appareil doit être respectée.

Pour un appareil dont l'utilisation prévue requiert que le visage de l'utilisateur soit en contact avec l'appareil (par exemple, un appareil muni d'un viseur optique), ce dernier doit être placé directement contre le fantôme (Figure 9b, à droite).

#### 6.1.4.9 Appareil utilisé tenu en main, mais non à proximité de la tête ou du torse

Des études complémentaires restent nécessaires pour élaborer une méthode représentative d'évaluation du DAS de la main pour les appareils tenus à la main. Les futures versions de la présente Norme seront censées contenir une méthode d'essai basée sur des données et des justifications scientifiques. L'Annexe J présente la procédure d'essai actuellement disponible.

#### 6.1.4.10 Appareil fixé à un membre

Un appareil fixé à un membre est une unité dont l'utilisation prévue suppose d'être attaché au bras ou à la jambe de l'utilisateur pendant l'émission (excepté en mode veille). Il est similaire à un appareil porté près du corps. Par conséquent, les positions d'essai de 6.1.4.4 s'appliquent également. La dragonne doit être ouverte afin d'être divisée en deux parties comme indiqué à la Figure 10. L'appareil doit être placé directement contre la surface du fantôme, la dragonne doit être fixée le plus solidement possible et le dos de l'appareil doit être dirigé vers le fantôme.

S'il est impossible d'ouvrir la dragonne pour permettre le placement en contact direct avec la surface du fantôme, il peut être nécessaire de casser la dragonne de l'appareil, mais sans endommager l'antenne.

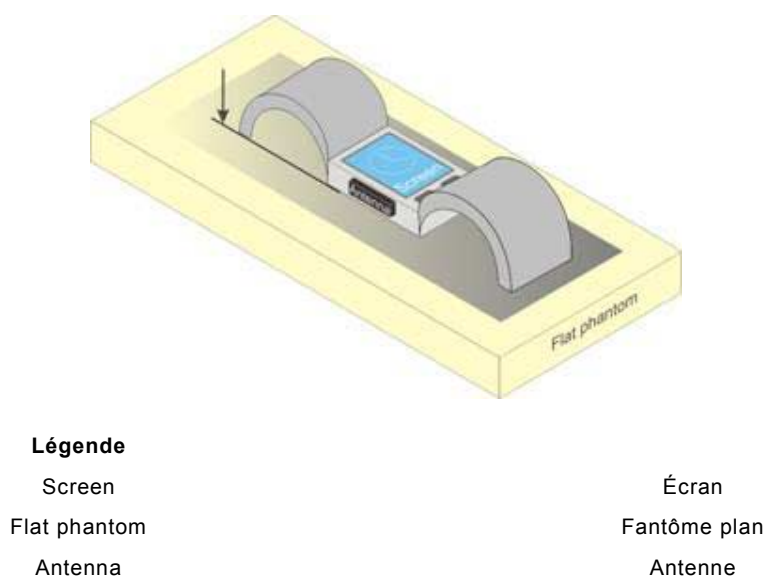


**Figure 10 – Position d'essai pour les appareils fixés à un membre**

#### 6.1.4.11 Appareil intégré aux vêtements

Un exemple type d'appareil intégré aux vêtements est un appareil sans fil (téléphone mobile) intégré dans une veste afin de fournir une communication vocale par l'intermédiaire d'un haut-

parleur et d'un microphone intégrés. Cette catégorie comprend aussi un chapeau muni d'appareils sans fils intégrés.

Tous les composants sans fils ou à émission RF doivent être placés dans l'orientation et à la distance de séparation de la surface du fantôme correspondant à l'utilisation prévue de l'appareil lorsqu'il est intégré au vêtement (Figure 11).

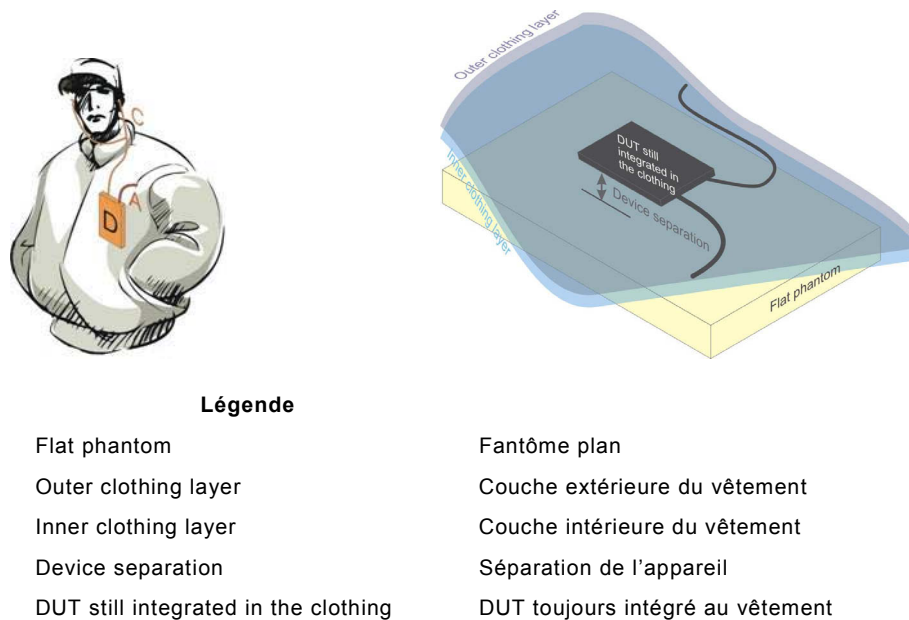


**Figure 11 – Position d'essai pour les appareils sans fils intégrés aux vêtements**

#### 6.1.5 Fréquences d'essai

Les procédures de la CEI 62209-1:2005 doivent être utilisées.

### 6.2 Essais à effectuer

#### 6.2.1 Exigences générales

La procédure d'essai englobe deux principales étapes:

- a) La sélection des conditions d'essai à mesurer à l'aide de techniques de réduction d'essai débattues en 6.2.2, et
- b) l'évaluation du DAS de ces conditions d'essai à l'aide de la procédure générale d'essai débattue en 6.2.3; facultativement, des méthodes d'évaluation rapide du DAS conformes aux exigences présentées en 6.2.4 peuvent être employées.

Afin de déterminer la valeur la plus élevée du DAS crête spatial moyen d'un DUT, conformément aux étapes ci-dessus, les positions, les configurations et les modes de fonctionnement de l'appareil doivent être soumis aux essais pour chaque bande de fréquences en accord avec les étapes suivantes.

- c) Identifier toutes les conditions d'essai possibles de l'appareil (fréquences, bande de fréquence, modes de fonctionnement, accessoires, positions de l'appareil, etc.).
- d) Sélectionner les conditions d'essai à mesurer en appliquant les méthodes de réduction d'essai (6.2.2) (facultatif)
  - i) Exclure les conditions d'essai inutiles sur la base de justifications physiques (6.2.2.2) ou de l'analyse des données de DAS (6.2.2.3);
  - ii) Effectuer une recherche (6.2.2.4) pour choisir les conditions d'essai à soumettre à essai (facultatif).

e) Soumettre à essai les conditions d'essai sélectionnées à l'aide de 6.2.3.

Dans tous les cas où des réductions d'essai (6.2.2) ont été exercées ou appliquées, les combinaisons appareil-accessoire ou les orientations de l'appareil pertinentes exclues et les justifications de la réduction de l'essai doivent être clairement documentées dans le rapport de mesure.

## **6.2.2 Réductions d'essai**

### **6.2.2.1 Exigences générales**

Dans tous les cas où des réductions d'essai ont été exercées ou appliquées, les combinaisons appareil-accessoire ou les orientations de l'appareil pertinentes exclues et les justifications des réductions d'essai doivent être clairement documentées dans le rapport de mesure. Voir l'Annexe C et l'Annexe K pour plus d'informations sur la réduction d'essai.

### **6.2.2.2 Réductions d'essai basées sur des justifications physiques**

L'exclusion des essais du DAS peut être justifiée pour certaines combinaisons appareil-accessoire si une justification scientifique ou technique solide démontre l'absence d'augmentation du DAS par rapport à la configuration de référence. Deux cas courants où l'utilisation d'une justification physique est réputée acceptable sont:

- les accessoires portés près du corps qui ne contiennent aucun matériau conducteur (par exemple, du métal), seul celui qui place l'appareil le plus près du corps étant soumis à essai, et
- les accessoires qui sont similaires (avec une teneur identique en métal), excepté la couleur, qui n'a aucun impact sur le DAS, seul un de ces dispositifs étant soumis à essai.

### **6.2.2.3 Réductions d'essai basées sur l'analyse des données du DAS**

L'analyse des données du DAS par exemple l'analyse statistique basée sur des plans d'expériences (DOE) peut être utilisée pour établir des justifications scientifiques ou techniques pour la réduction d'essai de certains essais du DAS. Par exemple, si les appareils sont équipés de plaques facultatives revêtues de peintures dont la teneur en métal varie, une analyse statistique des données du DAS peut servir à justifier l'exclusion des essais portant sur les plaques dont la teneur en métal est inférieure à une certaine valeur. On doit veiller à limiter l'application de la réduction d'essai aux produits qui sont suffisamment semblables au produit d'origine pour lequel la réduction d'essai a été déterminée.

### **6.2.2.4 Recherche des conditions d'essai du DAS le plus élevé**

Un appareil peut fonctionner selon plusieurs modes de transmission, avec plusieurs antennes, batteries et autres accessoires et le nombre de combinaisons possibles peut être important. Par conséquent, des méthodes doivent être appliquées pour optimiser le processus de mesure dans le but d'identifier rapidement les conditions d'essai du DAS le plus élevé. Par exemple, pour un appareil disposant de deux configurations d'antenne (antenne dépliée et repliée), de quatre types de batteries, quatre types d'accessoires portables et quatre types d'accessoires audio, soumettre à essai l'ensemble des combinaisons possibles reviendrait au moins à  $2^7 = 128$  essais par bande de fréquence et position de l'appareil. Il n'est pas nécessaire de soumettre à essai toutes les combinaisons possibles, des techniques de statistiques peuvent être utilisées pour démontrer les tendances à partir d'un ensemble de données plus petit et déterminer les combinaisons appareil-accessoire générant des valeurs de DAS plus élevées. L'utilisation de plans d'expériences (DOE) constitue la méthode statistique la plus utilisée à cet effet. Les plans d'expériences constituent une méthode structurée pour analyser l'influence des facteurs et des interactions entre les facteurs sur le résultat d'un processus. L'approche des plans d'expériences est largement couverte dans les ouvrages de référence [62]. D'autres méthodes de recherche des conditions d'essai du DAS le plus élevé sont présentées à l'Annexe C (C.4).

### 6.2.3 Procédure générale d'essai

Afin de déterminer la valeur la plus élevée du DAS crête spatial moyen du combiné, les conditions d'essai applicables doivent être soumises à essai pour chaque bande de fréquence en accord avec les étapes 1 à 3 ci-dessous. Un diagramme de procédure d'essai est donné à la Figure 12.

**Étape 1:** Les essais décrits en 6.2.4 ou en 6.3.1 doivent être effectués sur le canal utilisable le plus proche du centre de la bande de fréquence d'émission couverte par l'émetteur et l'antenne pour les positions de l'appareil décrites en 6.1, toutes les configurations pour chaque position de l'appareil, tous les modes de fonctionnement pour chaque position et configuration de l'appareil, dans chaque bande de fréquences.

**Étape 2:** Pour les conditions donnant le DAS crête spatial moyen le plus élevé déterminé à l'étape 1, effectuer tous les essais décrits en 6.3.1, à toutes les autres fréquences d'essai identifiées en 6.1.5. De plus, pour toutes les autres conditions (position de l'appareil, configuration et mode de fonctionnement) où le DAS crête spatial moyen déterminé à l'étape 1 est à 3 dB maximum de la limite de conformité applicable du DAS, toutes les fréquences d'essai doivent aussi être soumises à essai comme indiqué en 6.3.1.

**Étape 3:** Examiner toutes les données pour déterminer la valeur la plus haute du DAS crête spatial moyen trouvé aux étapes 1 et 2.

**Étape 4:** Pour les appareils capables d'émission simultanée à partir de plusieurs antennes distinctes, appliquer la procédure appropriée décrite en 6.3.2.

### 6.2.4 Évaluations rapides du DAS

Des essais complets du DAS (voir en 6.3) ne sont pas requis pour l'identification des conditions d'essai du DAS le plus élevé. Des méthodes de détermination plus rapides du DAS peuvent être utilisées. L'incertitude de toute méthode d'évaluation rapide du DAS doit être déterminée et documentée selon les procédures et techniques présentées à l'Article 7. Plusieurs méthodes d'évaluation rapide du DAS sont décrites en [47]. L'Annexe C fournit des informations supplémentaires sur les évaluations rapides du DAS.

L'incertitude de toute méthode d'évaluation rapide du DAS doit être déterminée et documentée selon les procédures et techniques présentées à l'Article 7, dans la mesure du possible. Toutefois, l'Article 7 peut ne pas suffire pour déterminer le bilan d'incertitude complet de toute méthode d'évaluation rapide du DAS. En effet, certaines de ces techniques utilisent du matériel spécifique et les contributions à l'incertitude dépendent du matériel. Lorsqu'une contribution à l'incertitude particulière signalée à l'Article 7 n'est pas applicable à une technique spécifique d'évaluation rapide du DAS, cela doit être clairement justifié (par exemple, l'incertitude de positionnement de la sonde en 7.2.3.1 n'est pas pertinente pour un système utilisant un ensemble de sonde fixe). De plus, les contributions à l'incertitude spécifiques à une technologie doivent également être évaluées et signalées en respectant des justifications scientifiques ou techniques explicites. Dans tous les cas, la configuration générant la valeur de DAS la plus élevée doit être répétée par la méthode de mesure normalisée.

En outre, toutes les autres configurations d'essai entraînant une valeur de DAS plus élevée que la limite de conformité applicable, une fois soustraite l'incertitude de la méthode d'évaluation rapide du DAS, ( $k = 2$ , voir en 7.1.2) doivent être répétées par la méthode de mesure normalisée.

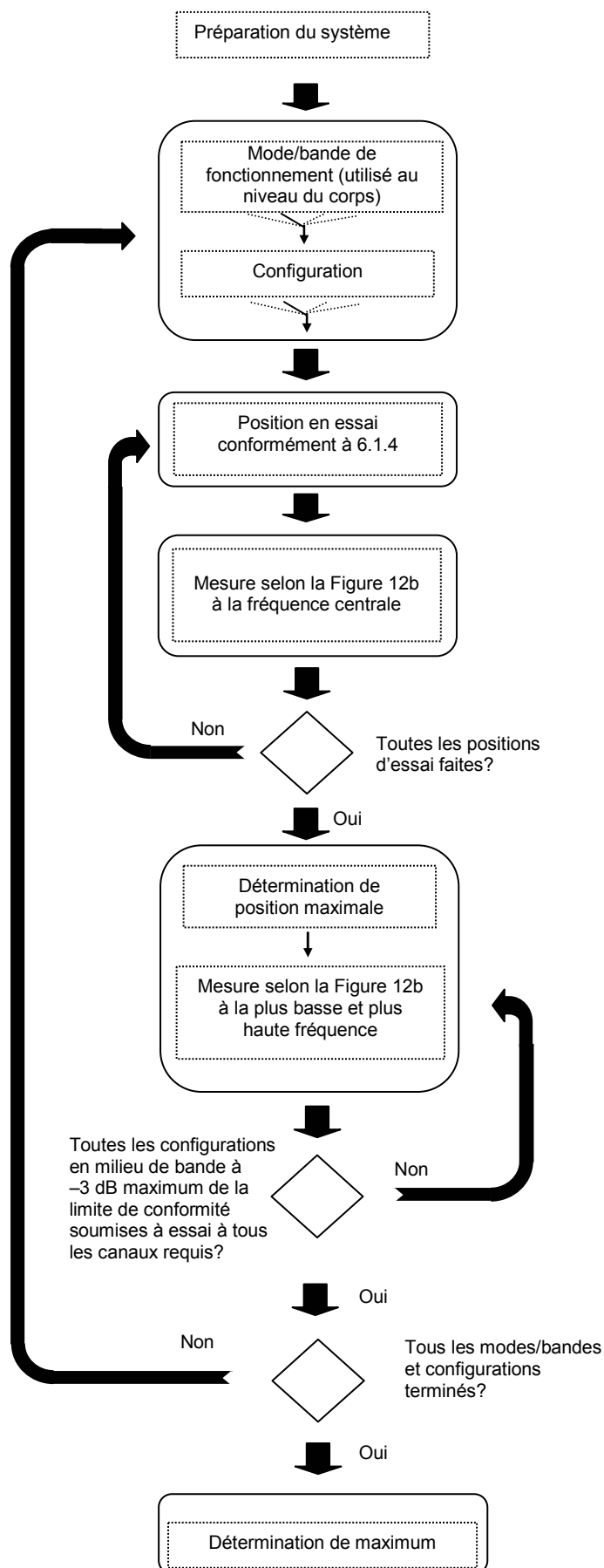


Figure 12a – Essais à effectuer

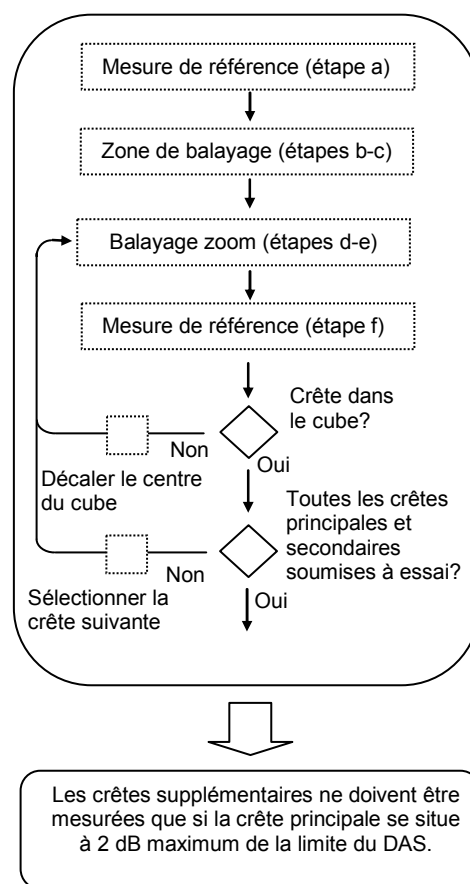


Figure 12b – Procédure générale

Figure 12 – Diagramme des essais à effectuer

## 6.3 Procédure de mesure

### 6.3.1 Procédure générale

La procédure suivante doit être effectuée pour chacune des conditions d'essai (voir Figure 12) décrites en 6.2.

- a) Mesurer le DAS local en un point d'essai situé à une distance inférieure ou égale à 8 mm de la surface interne du fantôme qui est la plus proche du DUT. Autre solution, mesurer la dérive de DAS comme décrit en 7.2.2.10.
- b) Mesurer la distribution du DAS à deux dimensions dans le fantôme (procédure du balayage de zone). La limite de la zone de mesure ne doit pas se trouver à moins de 20 mm des parois du fantôme. Il convient que la distance entre les points de mesure permette de détecter l'emplacement du maximum local avec une précision supérieure à la moitié de la dimension linéaire du cube de tissu après interpolation. Une grille d'espacement maximal de 20 mm pour les fréquences inférieures à 3 GHz et  $(60/f \text{ [GHz]})$  mm pour les fréquences d'au moins 3 GHz est recommandée. La résolution peut également être soumise à essai à l'aide des fonctions définies en 7.2.5.2. La distance maximale entre le centre géométrique des détecteurs de sonde et la surface interne du fantôme doit être de 5 mm pour les fréquences inférieures à 3 GHz et  $\delta \ln(2)/2$  mm pour les fréquences supérieures ou égales à 3 GHz, où  $\delta$  est l'épaisseur de peau de l'onde plane et  $\ln(x)$  est le logarithme naturel. L'écart maximal de la distance entre le capteur et la surface du fantôme doit être  $\pm 1$  mm pour les fréquences inférieures à 3 GHz et  $\pm 0,5$  mm pour les fréquences supérieures ou égales à 3 GHz. En tout point de mesure, il convient que l'angle de la sonde par rapport à la ligne perpendiculaire à la surface soit inférieur à  $5^\circ$  (voir la Figure 13 et l'Annexe M). Si cet angle ne peut être réalisé pour une distance de mesure de la surface interne du fantôme inférieure au diamètre de la sonde, une évaluation d'incertitude supplémentaire est nécessaire.
- c) A partir de la distribution du DAS issue du balayage, identifier la position de la valeur maximale du DAS, ainsi que les positions de tous les maxima locaux ayant des valeurs de DAS égales à 2 dB près à la valeur maximale et qui ne sont pas dans le balayage-zoom des autres valeurs maximales; des valeurs maximales supplémentaires doivent être mesurées uniquement quand la valeur maximale est à 2 dB maximum<sup>21</sup> de la limite de conformité du DAS (c'est-à-dire 1 W/kg pour une limite de 1,6 W/kg sur 1 g, ou 1,26 W/kg pour une limite de 2 W/kg sur 10 g).
- d) Mesurer la distribution tridimensionnelle du DAS aux emplacements des maxima locaux identifiés à l'étape c) (procédure du balayage-zoom). Le pas de balayage horizontal doit être de  $(24 / f \text{ [GHz]})$  mm ou moins, mais pas plus de 8 mm. La taille minimale du balayage-zoom est de 30 mm par 30 mm par 30 mm pour des fréquences inférieures à 3 GHz. Pour les fréquences plus élevées, la taille minimale du balayage-zoom peut être réduite à 22 mm par 22 mm par 22 mm. Le pas de balayage dans la direction verticale doit être de  $(8 - f \text{ [GHz]})$  mm ou moins mais pas plus de 5 mm, si un espacement uniforme est utilisé (Annexe C.3.3 de la CEI 62209-1:2005). Si un espacement variable est utilisé dans la direction verticale, l'espace maximal entre deux points de mesure les plus proches de l'enveloppe du fantôme doit être de  $(12/f \text{ [GHz]})$  mm ou moins mais pas plus de 4 mm, et l'espace entre des points plus éloignés doit augmenter d'un facteur incrémentiel maximal de 1,5. Si un espacement variable est utilisé, les routines d'extrapolation doivent être soumises à essai avec le même espacement que celui utilisé dans les mesures. La distance maximale entre le centre géométrique des détecteurs de sonde et la surface interne du fantôme doit être de 5 mm pour les fréquences inférieures à 3 GHz et  $\delta \ln(2)/2$  mm pour les fréquences supérieures ou égales à 3 GHz, où  $\delta$  est l'épaisseur de peau de l'onde plane et  $\ln(x)$  est le logarithme naturel. Des grilles de balayage séparées doivent être centrées sur chaque maximum local de DAS trouvé à l'étape c). Il convient que les incertitudes dues aux distorsions de champ entre la limite du milieu et l'enveloppe diélectrique de la sonde soient aussi minimisées, ce qui est faisable si la distance entre la surface du fantôme et l'extrémité physique de la sonde est plus grande que le diamètre de

<sup>21</sup> Cette limite est indiquée par l'espace minimal requis entre deux points de mesure et l'incertitude des procédures d'interpolation.

l'extrémité de la sonde. D'autres méthodes peuvent utiliser des procédures de correction des effets de bord qui permettent des mesures très précises à une distance inférieure à la moitié du diamètre de la sonde [2], [66]. Pour tous les points de mesure, l'angle de la sonde par rapport à la surface du fantôme plan doit être inférieur à  $5^\circ$ . Si cet angle ne peut pas être atteint, une évaluation d'incertitude supplémentaire est nécessaire conformément au paragraphe 7.2.2.6.

- e) Utiliser les procédures de post-traitement (par exemple l'interpolation et l'extrapolation) définies en 6.4 pour déterminer les valeurs de DAS local à la résolution nécessaire pour l'intégration sur la masse.
- f) Il convient de mesurer le DAS local au même endroit qu'en a). L'écart du DAS est évalué et signalé dans le bilan d'incertitude (Tableau 5) comme décrit en 7.2.2.10.

Dans le cas où l'évaluation de l'écart de mesure dépasse la tolérance de 5 %, il est nécessaire de réévaluer le DAS selon les recommandations de la présente norme.

Si l'écart est supérieur à 5 %, l'écart de mesure doit être considéré comme un biais (erreur systématique), pas une incertitude. Une correction doit être appliquée à la valeur de DAS mesurée. Il n'est pas nécessaire d'enregistrer l'écart dans le bilan d'incertitude (c'est-à-dire  $u_i = 0\%$ ). Il convient que le bilan d'incertitude dans un rapport de mesure corresponde à la valeur de DAS la plus élevée signalée (après correction, si applicable). Autre solution, il convient que le bilan d'incertitude signalée couvre toutes les mesures c'est-à-dire qu'il convient de signaler une valeur conservatrice. Autre solution, mesurer la dérive de DAS comme décrit en 7.2.2.10.

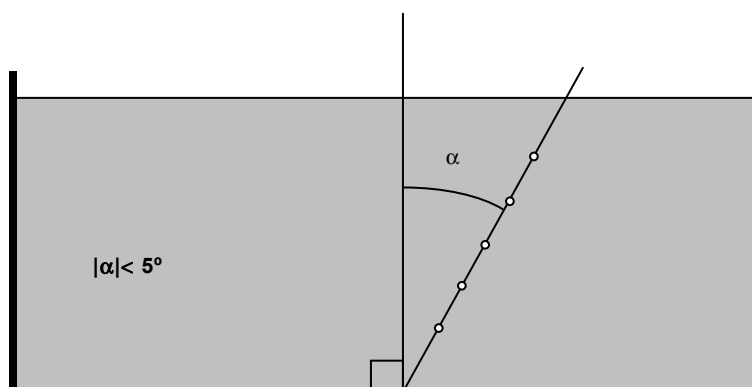


**Figure 13 – Orientation de la sonde par rapport à la perpendiculaire de la surface du fantôme**

### 6.3.2 Procédures d'essai des DUT avec transmission multibande simultanée

#### 6.3.2.1 Exigences générales

Les procédures suivantes s'appliquent aux appareils disposant de multiples modes de transmission destinés à fonctionner simultanément à des fréquences ( $f_1$ ,  $f_2$ , etc.) séparées de plus que la gamme de fréquences valide de l'étalonnage de la sonde ou du liquide équivalent aux tissus, la valeur la plus basse étant retenue (c'est-à-dire lorsque le DAS ne peut pas être normalement évalué simultanément à l'aide de la même sonde et du même liquide). La gamme de fréquences valide de l'étalonnage de la sonde (5.3.4) est généralement étroite (par exemple,  $\pm 50$  MHz) pour les sondes de champ électrique dans la plupart des systèmes utilisés actuellement. De même, étant donné que les sondes de champ électrique utilisées dans les systèmes actuels ont généralement une tension continue à la sortie, la sonde ne peut distinguer les signaux à des fréquences différentes. La gamme de fréquences valide du liquide équivalent aux tissus renvoie à la gamme de fréquences dans laquelle les paramètres diélectriques sont compris dans la tolérance des valeurs cibles (voir 5.2). En raison de ces limites, les multiples modes de transmission doivent d'abord être évalués séparément, puis combinés arithmétiquement.

Certains émetteurs secondaires (c'est-à-dire les émetteurs de plus faible puissance) peuvent être éliminés de l'évaluation si leurs niveaux de puissance tombent en dessous d'un niveau seuil. L'Annexe K décrit en détails les procédures d'établissement de trois niveaux de seuil en fonction de la fréquence et de la distance de séparation.

D'autres procédures d'évaluation sont décrites dans les paragraphes 6.3.2.2 à 6.3.2.5. Les éléments prérequis suivants s'appliquent pour ces méthodes alternatives.

- a) Le balayage de zone, le balayage-zoom et le DAS crête spatial moyen sont évalués séparément à chaque fréquence (conformément au 6.3.1), le mode de transmission à cette fréquence étant actif et les modes aux autres fréquences coupés.
- b) Les données du DAS sont combinées pour chaque condition d'essai (position de l'appareil, canal, configuration et accessoire) dans laquelle deux modes au moins doivent fonctionner simultanément (conformément au 6.2).

Les méthodes alternatives sont résumées ci-après:

- 1) cumul des valeurs de DAS crête spatial moyen - méthode la plus simple mais la plus conservatrice pour trouver la limite supérieure (6.3.2.2);
- 2) Sélection des valeurs de DAS maximales évaluées, estimation précise lorsque des maxima séparés sont éloignés et n'ont aucun effet les uns sur les autres de plus de 5 % (6.3.2.3);
- 3) calcul du DAS multibande à partir des balayages de zone et des balayages-zoom existants, méthode précise et rapide, toujours applicable (6.3.2.4);
- 4) balayage volumétrique, plus précis, toujours applicable (6.3.2.5).

La méthode alternative (1), la plus conservatrice, est considérée comme la méthode de référence. Le DUT est considéré comme étant entièrement conforme aux exigences de la présente norme s'il satisfait aux exigences lorsque l'une de ces procédures d'évaluation alternatives est utilisée.

### **6.3.2.2 Méthode alternative 1: Évaluation par cumul des valeurs de DAS crête spatial moyen**

Cette procédure fournit la méthode la plus simple et la plus conservatrice pour déterminer la limite supérieure du DAS multibande. Noter que les valeurs de DAS crête spatial moyen pour les différents modes peuvent se trouver à des endroits différents. Dans ce cas, cette méthode surestime le DAS multibande.

- 1) Pour chaque condition d'essai dans laquelle un fonctionnement simultané est prévu, ajouter les valeurs de DAS crête spatial moyen à chaque fréquence,  $f_1$ ,  $f_2$ , etc. (voir la Note ci-dessous).
- 2) Si la valeur de DAS maximale cumulée est à -3 dB de la limite de conformité, des mesures supplémentaires à des fréquences inférieures et supérieures doivent être effectuées pour cette condition d'essai. Ces valeurs supplémentaires doivent être utilisées pour déterminer le DAS maximal.
- 3) La valeur de DAS maximale cumulée à l'étape 1 ou 2 est le DAS multibande.

NOTE L'étape 1 peut être modifiée en ajoutant les valeurs de DAS crête spatial moyen quelle que soit la condition de l'essai. En d'autres termes, ajouter le DAS crête spatial moyen le plus élevé à la fréquence  $f_1$  (parmi toutes les conditions d'essai à cette fréquence) à la valeur de DAS crête spatial moyen la plus élevée à la fréquence  $f_2$  (parmi toutes les conditions d'essai), et ainsi de suite pour toutes les autres fréquences. Les étapes 2 et 3 doivent toujours être suivies à l'aide de cette méthode. Cette méthode est plus conservatrice que la méthode de l'étape 1.

### **6.3.2.3 Méthode alternative 2: Évaluation par sélection des valeurs de DAS maximales évaluées**

Cette procédure donne une estimation précise du DAS multibande lorsque les distributions du balayage-zoom du DAS mesurées séparément se chevauchent peu ou pas du tout. Les

maxima sont ensuite séparés lorsque leur niveau diffère de moins de 5 % de la valeur de DAS maximale si les distributions du DAS sont ajoutées sur le plan spatial.

- 1) Mesurer le DAS maximal moyenné sur la masse à chaque fréquence séparément conformément au paragraphe 6.3.1.
- 2) Pour toutes les conditions d'essai identiques, analyser les chevauchements des distributions du DAS en ajoutant les balayages de zone sur le plan spatial, c'est-à-dire point par point.
- 3) Si la valeur de DAS maximale de la distribution de la somme obtenue est inférieure à 5 % des valeurs les plus élevées de DAS maximales séparées, le DAS multibande est égal à la valeur la plus élevée des deux valeurs de DAS moyennes sur la masse.

#### **6.3.2.4 Méthode alternative 3: Évaluation par les données calculées de DAS volumétriques**

Cette procédure utilise les balayages de zone et zoom existants en combinaison avec une interpolation et une extrapolation pour la génération de données de DAS volumétriques et est un moyen rapide pour obtenir le DAS multibande. Elle s'applique toujours.

- 1) A chaque fréquence, calculer la distribution du DAS volumétrique sur la région couverte par le balayage de zone. Pour atteindre ce résultat, plusieurs algorithmes ont été présentés (par exemple [4], [9], [43], [54], [55], [56], [57]). L'incertitude de la méthode utilisée doit être bien documentée et doit être enregistrée.
- 2) Ajouter les distributions de DAS volumétriques de toutes les fréquences sur le plan spatial en utilisant l'interpolation conformément au paragraphe 6.4.1 si nécessaire.
- 3) Utiliser les procédures de post-traitement définies en 6.4 pour déterminer le DAS crête spatial moyen dans la distribution du DAS de l'étape 2.

#### **6.3.2.5 Méthode alternative 4: Évaluation par balayage volumétrique**

Cette procédure est la plus précise pour l'évaluation du DAS multibande et elle est toujours applicable. Comme indiqué ci-dessus, les données du DAS sont combinées pour chaque condition d'essai (position de l'appareil, canal, configuration et accessoire) dans laquelle deux modes au moins sont censés fonctionner simultanément (conformément au 6.2).

- 1) Déterminer une grille volumétrique qui englobe les balayages-zoom à toutes les fréquences  $f_1$ ,  $f_2$ , etc. mesurées précédemment (voir la Note).
- 2) A chaque fréquence, mesurer le balayage-zoom volumétrique trouvé à l'étape 1. Cette mesure du balayage-zoom satisfait à toutes les exigences de 6.3.1 à l'exception de la taille et du volume. La mesure est effectuée avec le mode de transmission à cette fréquence allumé et les modes aux autres fréquences coupés.
- 3) Ajouter les distributions de DAS obtenues à l'étape 2 sur le plan spatial pour obtenir une distribution de DAS cumulée. Calculer le DAS multibande maximal de la distribution cumulée, à l'aide des procédures de post-traitement définies en 6.4 afin de déterminer le DAS crête spatial moyen.

Il convient de fixer l'appareil soumis à essai au fantôme lorsque les liquides sont changés de sorte que le cumul des distributions de DAS soit le plus précis possible. Il est conseillé, au cas où la batterie de l'appareil aurait besoin d'être rechargée, de fixer le câble du chargeur au DUT lorsqu'il reste positionné sur le fantôme.

NOTE Le volume total à l'étape 1 peut être important (par exemple si les balayages-zoom aux fréquences  $f_1$ ,  $f_2$ , etc. sont éloignés) et entraîner des temps de mesure longs à l'étape 2. L'étape 1 peut être modifiée en choisissant des volumes de balayage-zoom pour chaque fréquence correspondant aux balayages-zoom mesurés précédemment aux autres fréquences. Pour l'étape 2, cela entraînera des mesures du DAS à la fréquence  $f_1$  en utilisant des balayages-zoom séparés des fréquences  $f_2$ ,  $f_3$ , etc., puis les mesures du DAS à la fréquence  $f_2$  en utilisant les balayages-zoom des fréquences  $f_1$ ,  $f_3$ , etc., et ainsi de suite.

## 6.4 Traitement de données

### 6.4.1 Interpolation

Si la résolution de la grille de mesure n'est pas assez fine pour calculer le DAS moyenné sur une masse donnée, une interpolation doit être effectuée entre les points de mesure. Des exemples de procédures d'interpolation sont donnés à l'Annexe C de la CEI 62209-1:2005 et l'incertitude est évaluée conformément à l'Article 7.

### 6.4.2 Extrapolation de l'écart de la sonde

Les sondes de champ électrique sont habituellement constituées de trois dipôles orthogonaux très proches les uns des autres et placés dans un tube de protection. Le point de mesure est situé à quelques millimètres de l'extrémité de la sonde et cet écart doit être pris en compte pour identifier la position du DAS mesuré. Des exemples de procédures d'extrapolation sont donnés à l'Annexe C de la CEI 62209-1:2005 et l'incertitude est évaluée conformément à l'Article 7.

### 6.4.3 Définition du volume d'intégration

Le volume d'intégration doit être de forme cubique avec un côté de longueur telle que la masse soit de 1 g ou 10 g. Une masse volumique de 1 000 kg/m<sup>3</sup> doit être utilisée pour représenter la masse volumique des tissus du corps (la masse volumique du liquide du fantôme ne doit pas être utilisée) afin d'être cohérent avec la définition des propriétés diélectriques du liquide, c'est-à-dire la longueur du côté du cube de 1 g doit être de 10 mm, la longueur du côté du cube de 10 g doit être de 21,5 mm.

Une fois remplie de liquide, la surface extérieure du fond du fantôme peut s'écarter d'une surface plane idéale. Des processus d'intégration sur un volume cubique par rapport à une enveloppe incurvée sont donnés en Annexe C de la CEI 62209-1:2005.

### 6.4.4 Recherche du maximum

Les volumes cubiques doivent être déplacés sur la surface interne du fantôme à proximité du DAS local maximal, en tenant compte des règles données en Annexe C de la CEI 62209-1:2005. Le cube ayant le DAS local maximal le plus élevé ne doit pas être au bord du volume de balayage. Si c'est le cas, le volume du balayage doit être déplacé et les mesures doivent être répétées.

## 7 Estimation de l'incertitude

### 7.1 Considérations générales

#### 7.1.1 Concept de l'estimation des incertitudes

Le concept pour l'estimation des incertitudes dans la mesure des valeurs du DAS produites par les appareils sans fils est basé sur les règles générales fournies par le Guide ISO/CEI 98-3:2008. Cependant, l'estimation des incertitudes pour des mesures complexes reste une tâche difficile et exige des connaissances d'ingénierie spécifiques et de haut niveau. Afin de faciliter cette tâche, cet article donne des recommandations et des formules d'approximation qui permettent l'estimation de chaque composante individuelle de l'incertitude. Les modèles d'incertitude indiqués dans les Tableaux 5, 6 et 7 désignent l'incertitude du système générique couvrant la gamme entière de fréquences de 30 MHz à 6 GHz et pour tout appareil en essai. Toutefois, les valeurs et les grandeurs des composantes de l'incertitude réelle ne resteront généralement pas les mêmes dans toute la gamme de fréquences de 30 MHz à 6 GHz, et les incertitudes des gammes de fréquences partielles doivent nécessairement être ajustées en conséquence. L'utilisation d'un modèle étalonné et de valeurs de composantes d'incertitude-type présente l'inconvénient de surestimer l'incertitude dans certains cas, mais cela a notamment l'avantage de permettre l'utilisation des approximations et des formules données dans cet article.

Les fabricants des systèmes de mesure du DAS doivent spécifier la fréquence de couverture opérationnelle pour laquelle le système de mesure a été conçu, par exemple de 450 MHz à 1 900 MHz. Cela facilite la détermination des variables pour les grandeurs utilisées dans le Tableau 5 qui doit être mis à jour par rapport aux valeurs fixes pour des fréquences spécifiques, par exemple, l'isotropie de la sonde, l'effet de bord, le positionneur de la sonde, etc. Dans le cas où les mesures s'étendent au-delà du champ de fréquence spécifié par un fabricant de système, il incombe à l'utilisateur de déterminer les grandeurs et l'influence associée à l'incertitude et de mettre à jour le tableau en conséquence. Si une série de valeurs a été utilisée pour couvrir une large gamme de fréquences (de 3 GHz à 6 GHz), des documents supplémentaires peuvent être nécessaires pour avoir des détails sur l'estimation de chaque grandeur, influence et méthodologie. Si un système utilise une valeur de zéro pour une grandeur fixe au sein du tableau des incertitudes, une justification technique solide doit être fournie par le fabricant du système ou l'utilisateur.

### 7.1.2 Évaluations de type A et de type B

Les deux évaluations, de type A et de type B, de l'incertitude-type doivent être utilisées. Lorsqu'une analyse de type A est effectuée, l'incertitude-type  $u_i$  doit être dérivée en utilisant l'écart type estimé à partir des observations statistiques. Lorsqu'une analyse de type B est effectuée,  $u_i$  provient des limites haute  $a_+$  et basse  $a_-$  de la grandeur en question, selon la fonction de la distribution de probabilité utilisée définissant  $a = (a_+ - a_-)/2$ , alors:

- distribution rectangulaire:  $u_i = a/\sqrt{3}$
- distribution triangulaire:  $u_i = a/\sqrt{6}$
- distribution normale:  $u_i = a/k$
- distribution en U (asymétrique):  $u_i = a/\sqrt{2}$

où

$a$  est la demi-longueur de l'intervalle établi par les limites de la grandeur d'influence;

$k$  est le facteur d'élargissement;

$u_i$  est l'incertitude-type.

Pour une mesure répétée  $n$  fois du même appareil spécifique ou de la même grandeur spécifique, avec les mêmes montages d'essai, l'écart type de la moyenne ( $= s/\sqrt{n}$ ) peut être utilisé pour l'incertitude-type, où  $s$  est l'écart type obtenu à partir d'un ensemble plus grand de mesures réalisées antérieurement dans les mêmes conditions. Des écarts types prédéterminés basés sur un nombre plus grand d'essais répétés peuvent être utilisés pour estimer les composantes de l'incertitude dans des cas où le système, la méthode, la configuration et les conditions, etc. sont représentatifs de l'essai spécifique de l'appareil. La prédétermination n'inclut pas les contributions du DUT particulier. Pour un appareil spécifique, la valeur utilisée de  $n$  pour l'écart type de la moyenne est le nombre d'essais avec l'appareil spécifique, et non les essais utilisés pour la prédétermination.

### 7.1.3 Degrés de liberté et facteur d'élargissement

Quand le nombre de degrés de liberté est inférieur à 30, un facteur d'élargissement de 2 n'est pas le facteur multiplicatif approprié à utiliser pour atteindre un niveau de confiance de 95 %. Une méthode simple mais seulement approximativement correcte est d'utiliser  $t$  à la place du facteur d'élargissement  $k$ , où  $t$  est le facteur  $t$  de Student. Les écarts-type de la distribution en  $t$  sont plus étroits que pour les distributions normales (gaussiennes) mais les courbes approchent la forme gaussienne pour un grand nombre de degrés de liberté. Les degrés de liberté pour la plupart des incertitudes-type basés sur les évaluations de type B peuvent être supposés infinis. Ainsi les degrés de liberté effectifs d'une incertitude-type composée,  $u_c$ , dépendront plus étroitement des degrés de liberté des contributions de type A et de leur amplitude par rapport aux contributions de type B.

Il convient de déterminer le facteur d'élargissement ( $k_p$ ) pour les petites populations d'échantillons par:

$$k_p = t_p(\nu_{\text{eff}}),$$

où

$k_p$  est le facteur d'élargissement pour une probabilité donnée;

$t_p(\nu_{\text{eff}})$  est la distribution en  $t$ ;

$\nu_{\text{eff}}$  est le nombre de degrés de liberté effectifs estimé en utilisant la formule de

Welch-Satterthwaite: 
$$\nu_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^m \frac{c_i^4 u_i^4}{\nu_i}}.$$

L'indice  $p$  fait référence au niveau de confiance approché, par exemple 95 %. Des tables de valeurs de  $t_p(\nu_{\text{eff}})$  sont disponibles, par exemple dans [61].

EXEMPLE Supposons que l'incertitude-type composée calculée à partir de toutes les grandeurs d'influence du Tableau 5, avec une incertitude de positionnement supposée de 7 % soit  $u_c = 14,5$  %. Supposons également que le nombre d'échantillons ou d'essais soit égal à 5, donc  $\nu_i = 4$  (nombre d'échantillons ou d'essais égal à 5) et on

obtient les degrés de liberté de toutes les autres composantes  $\nu_i = \infty$ . A partir de l'équation  $\nu_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^m \frac{c_i^4 u_i^4}{\nu_i}}$ , le

nombre de degrés de liberté effectifs pour l'incertitude-type composée est  $\nu_{\text{eff}} = 74$  et ainsi  $k = 2$  s'applique dans ce cas et l'incertitude élargie est  $U = 29$  %. Si l'incertitude-type pour les variations de positionnement va jusqu'à 9 % et le nombre d'essais est réduit à 4 ( $\nu_i = 3$ ), alors  $u_c = 15,6$  %,  $\nu_{\text{eff}} = 27$ ,  $k = k_p = k_{95} = t = t_{95} = 2,11$  et l'incertitude élargie devient  $U = 2,11 \times 15,6 = 32,9$  %.

## 7.2 Composantes contribuant à l'incertitude

### 7.2.1 Généralités

Chaque composante contribuant à l'incertitude dépendant de la fréquence doit être évaluée dans la bande de fréquence dans laquelle l'évaluation du DAS est effectuée. Pour les modes de fonctionnement de la gamme de fréquences, la contribution à l'incertitude est la valeur maximale trouvée dans la largeur de bande considérée.

### 7.2.2 Contribution du système de mesure (sonde et électronique associée)

#### 7.2.2.1 Incertitude de l'étalonnage de la sonde

L'incertitude de l'étalonnage d'une sonde de champ E est estimée à l'aide des procédures décrites dans l'Annexe B de la CEI 62209-1:2005 pour des techniques d'étalonnage des températures et des guides d'ondes. L'incertitude sur la sensibilité doit être déterminée en partant de l'hypothèse d'une distribution de probabilité normale.

#### 7.2.2.2 Incertitude de l'isotropie de la sonde

L'isotropie d'une sonde de champ E est une mesure de l'écart dans la réponse de la sonde par rapport à la polarisation du champ arbitraire. En général, les champs émis par un DUT sont d'une polarisation arbitraire. Toutefois, les champs dans le liquide équivalent aux tissus ont une composante de polarisation prédominante parallèle à la surface, due à la physique du mécanisme d'absorption [74]. Lorsque l'orientation de la sonde est essentiellement perpendiculaire à la surface du fantôme pendant la mesure (à  $\pm 5^\circ$  près), l'incertitude d'isotropie est calculée à l'aide de l'équation suivante:

$$\text{DAS}_{\text{incertitude}} [\%] = \sqrt{0,5 \times \text{dev\_isotropie}_{\text{axial}} [\%]^2 + 0,5 \times \text{dev\_isotropie}_{\text{hémisphérique}} [\%]^2}$$

où

$dev\_isotropie_{hémisphérique} [\%]$  est l'écart maximal (%) par rapport à la réponse isotrope évalué pour  $\Phi: \pm 180^\circ$ ,  $\theta: > \pm 60^\circ$  ;

$dev\_isotropie_{axial} [\%]$  est l'écart maximal (%) par rapport à la réponse isotrope évalué pour  $\Phi: \pm 180^\circ$ ,  $\theta = 0^\circ$  ;

$\Phi$  est la rotation autour de l'axe de la sonde;

$\theta$  est la rotation autour de la perpendiculaire à l'axe de la sonde.

L'incertitude apportée par l'écart de l'isotropie peut être assez élevée et dépend des détails de fabrication, c'est-à-dire qu'elle doit être évaluée pour chaque sonde.

Cet écart est évalué à l'aide de la méthode décrite dans l'Annexe B de la CEI 62209-1:2005.

Dans le Tableau 5, la distribution de probabilité est supposée rectangulaire pour l'incertitude d'isotropie de la sonde.

### 7.2.2.3 Incertitude de linéarité de la sonde

Les détecteurs à diode sont généralement non linéaires par rapport à l'intensité et non symétriques par rapport à la réponse aux champs alternatifs, c'est-à-dire que sa réponse est non linéaire par rapport à l'intensité et à la modulation du champ. L'incertitude par rapport au détecteur réel de puissance moyenne doit être déterminée à l'aide de la procédure décrite ci-après:

Le montage peut être équivalent à celui décrit dans l'Annexe B de la CEI 62209-1:2005. Étant donné que les effets sont uniquement fonctions de l'élément capteur (diode, capteur, ligne) et non pas fonctions du milieu environnant, l'écart par rapport à la réponse de la valeur de puissance moyenne peut être déterminé dans tous les milieux y compris l'air.

Un facteur d'incertitude doit être évalué pour les signaux à ondes entretenues. L'incertitude doit également être évaluée pour les signaux pulsés à un facteur de charge de 10 % et une fréquence de répétition des pulsations de 11 Hz, et un facteur de charge de 4 % avec une fréquence de répétition de 1 000 Hz aux fréquences la plus élevée et la plus basse utilisées dans les systèmes AMRT.

Pour les modulations autres que les ondes entretenues (y compris AMRC) et AMRT, l'écart de linéarité doit être évalué séparément.

L'incertitude de linéarité du capteur de champ E est évaluée à l'aide des procédures décrites dans l'Annexe B de la CEI 62209-1:2005 en fonction du carré de l'intensité du champ E mesurée. L'écart maximal par rapport à la réponse en puissance moyenne est évalué pour la gamme du DAS de puissance moyenne équivalent de 0,01 W/kg à 100 W/kg par des incréments inférieurs ou égaux à 3 dB. La gamme doit être comprise dans le volume cubique pour soumettre à essai la conformité dans la gamme de 0,4 W/kg à 10 W/kg.

$$DAS_{incertitude} [\%] = \left| 100 \left( \frac{DAS_{eval}}{DAS_{ref}} - 1 \right) \right|_{max} \quad \text{pour } 0,05 \frac{W}{kg} \leq DAS_{ref}^{rms} \leq 100 \frac{W}{kg}; \text{modulation (CW, pulsé, modulation système)}$$

où

$DAS_{eval}$  est la valeur de DAS mesurée;

$DAS_{ref}$  est la valeur de DAS de référence telle que déterminée par les instruments de mesure de la puissance moyenne.

L'incertitude apportée par la réponse non linéaire peut être assez élevée et dépend des différents composants de la sonde, c'est-à-dire qu'il est nécessaire de la déterminer pour chaque sonde. Si l'incertitude n'a pas été établie pour la sonde concernée, une incertitude de 200 % doit être utilisée. Dans le Tableau 5, la distribution de probabilité est supposée rectangulaire pour l'incertitude de linéarité de la sonde.

#### 7.2.2.4 Incertitude de la réponse en modulation de la sonde

Les réponses aux signaux modulés des sondes basées sur les détecteurs à diode peuvent être complexes étant donné que les diodes sont des éléments largement non linéaires. Les théories de la caractéristique des diodes ont été rapportées dans [40] et [50]. Les paramètres de linéarisation pour une modulation particulière peuvent être déterminés à l'aide de deux méthodes: 1) détermination numérique basée sur l'enveloppe de modulation et les caractéristiques électriques de la diode et des autres éléments du capteur (détermination expérimentale) ou 2) étalonnage expérimental relatif, c'est-à-dire un balayage de puissance à cette modulation particulière. Ces paramètres doivent être déterminés pour chaque capteur séparément. Pour les signaux pulsés à enveloppe constante (GSM, GMSK, Bluetooth, DECT), les paramètres de la fonction de compensation sont réduits à un paramètre pour certaines sondes, à savoir le facteur de crête.

L'incertitude peut être déterminée en utilisant une source quelconque (par exemple, guide d'ondes ou dipôle) avec un montage identique ou équivalent au montage décrit à la Figure B.1. Le montage de la génération de signaux doit simuler la modulation pour laquelle l'incertitude est déterminée conformément aux spécifications du standard du système de communication. Il convient d'augmenter la puissance pour une tension du capteur de la sonde équivalant à moins de 100 mW/kg jusqu'à celle équivalant à plus de 10 W/kg pour le capteur examiné par incréments de 5 dB. A chaque niveau de puissance, il convient de mesurer le DAS avec le signal modulé et les ondes entretenues à la même puissance moyenne (une vérification que le wattmètre est un détecteur de puissance moyenne réel et que l'amplificateur est suffisamment linéaire pour l'ensemble de la dynamique du signal est requise). Cette procédure doit être répétée pour chaque capteur de champ.

L'équation ci-dessous peut être utilisée pour calculer l'incertitude de modulation pour la modulation  $X$ .

$$DAS\_mod\ X_{incertitude} [\%] = \max_{i = \{x,y,z\}} \left( \max_{P_i = P_0}^{P_0 + 20\ dB} \left( 100 \times \left| \frac{DAS(P_i)_{mod\ X_i}}{DAS(P_i)_{CW_i}} - 1 \right| \right) \right)$$

où

|                           |                                                                       |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| $DAS\_modX_{incertitude}$ | est l'incertitude pour la modulation $X$ particulière en pourcentage; |
| $DAS(P_i)_{modXi}$        | est le DAS mesuré avec le signal modulé à une puissance moyenne;      |
| $DAS(P_i)_{Cwi}$          | est le DAS mesuré avec l'onde entretenue à la même puissance moyenne. |

L'incertitude du DAS est déterminée au maximum de tous les  $DAS\_modX$  à chaque étape pour l'ensemble des trois capteurs. Dans le Tableau 5, la distribution de probabilité est supposée rectangulaire pour l'incertitude de réponse en modulation de la sonde.

#### 7.2.2.5 Sensibilité de la sonde et limites de détection

Des incertitudes relatives à la sensibilité de la sonde de champ et à la limite de détection du système peuvent survenir si l'intensité du champ mesuré est trop proche de la limite de détection de la sonde et de l'instrumentation du système associé. Le montage à utiliser est décrit dans l'Annexe B de la CEI 62209-1:2005. Il convient d'évaluer cette incertitude avec un signal à ondes entretenues et un signal pulsé correspondant au facteur de charge minimal

autorisé ou spécifié dans le système d'essai du DAS. Il convient que les signaux à ondes entretenues et pulsées produisent approximativement 0,1 W/kg, 2,0 W/kg et 10,0 W/kg du DAS moyenné dans le temps pour cette évaluation. Par exemple, à un facteur de charge de 10 %, 10 W/kg correspondraient au DAS maximal de 100 W/kg spécifié par les protocoles de la présente norme. Le niveau de DAS de 0,1 W/kg est choisi pour fournir un rapport signal-bruit suffisant pour cette évaluation qui correspond à 1,0 W/kg à un facteur de charge de 10 %. Ce niveau est également choisi parce que les niveaux de DAS inférieurs à 0,1 W/kg ont une contribution généralement négligeable au DAS maximal moyen. Il convient que cette plage de niveaux de DAS couvre le rapport puissance de crête/puissance moyenne et les exigences relatives à la signalisation des DUT types fonctionnant dans les modes FDMA, AMRT et CDMA. Pour les appareils fonctionnant à des facteurs de charge de moins de 10 %, comme le système DECT, l'évaluation doit être modifiée en conséquence pour couvrir cette plage de fonctionnement. L'incertitude due aux limites de détection doit être évaluée en supposant une distribution de probabilité rectangulaire.

### 7.2.2.6 Incertitude de l'effet de bord

Dans certains cas, la sonde peut être nécessaire pour effectuer des mesures à une distance inférieure au rayon  $r_p$  de l'extrémité de la sonde afin de réduire les incertitudes d'interpolation et d'extrapolation. Il convient alors d'estimer l'incertitude de l'effet de bord de préférence à l'aide du système de guide d'ondes décrit dans l'Annexe B de la CEI 62209-1:2005. En solution de remplacement, la méthode des températures peut être utilisée. La méthode ci-dessous est valable en supposant un angle entre l'axe de la sonde et la perpendiculaire à la surface inférieur à 5°. Puisque l'effet de bord est une caractéristique d'une sonde spécifique, il convient qu'il soit déterminé au cours de l'étalonnage de la sonde (c'est-à-dire en fonction de la valeur  $r_p$  de la sonde). Si des algorithmes sont appliqués pour compenser l'effet de bord, il convient de déterminer l'incertitude de DAS avec les mêmes matériels et logiciels d'évaluation que ceux utilisés pour effectuer les mesures du DAS. L'incertitude de l'effet de bord peut être estimée conformément aux formules d'approximation de l'incertitude basées sur des extrapolations linéaires et exponentielles entre la surface et  $d_{be} + d_{pas}$  le long des lignes qui sont à peu près perpendiculaires à la surface:

$$DAS_{\text{incertitude}}[\%] = \Delta DAS_{be}[\%] \frac{(d_{be} + d_{pas})^2}{2d_{pas}} \frac{(e^{-d_{be}/(\delta/2)})}{\delta/2}$$

pour  $(d_{be} + d_{pas}) < 10 \text{ mm}$  et  $f \leq 3 \text{ GHz}$

$$DAS_{\text{incertitude}}[\%] = \Delta DAS_{be}[\%] \frac{\delta}{\delta - d_{be}}$$

pour  $d_{be} < \delta$  et  $f > 3 \text{ GHz}$

où

|                            |                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $DAS_{\text{incertitude}}$ | est l'incertitude en pourcentage de l'effet de bord de la sonde;                                                                                                                                                       |
| $d_{be}$                   | est la distance entre la surface et le point de mesure le plus proche utilisé dans le processus d'intégration en millimètres;                                                                                          |
| $d_{pas}$                  | est la distance de séparation entre le premier et le second point de mesure à partir de la surface, en millimètres, à condition que les incertitudes de l'effet de bord au second point de mesure soient négligeables; |
| $\delta$                   | est la profondeur de pénétration minimale, en millimètres, des liquides équivalant aux tissus (voir le Tableau 1), c'est-à-dire $\delta = 6 \text{ mm}$ à 6 GHz;                                                       |
| $\Delta DAS_{be}$          | est l'écart entre la valeur de DAS mesuré à la distance $d_{be}$ du bord et la valeur analytique du guide d'ondes ou la valeur évaluée par la sonde de température $DAS_{ref}$ .                                       |

Si le diamètre de la sonde est supérieur à un tiers de la longueur d'onde (dans le milieu), l'effet de bord est important ( $\gg 1$  dB) et des mesures précises sont difficiles à obtenir. La condition selon laquelle l'effet de bord est négligeable au second point de mesure peut également être enfreinte. Dans ces cas, une incertitude par défaut pour l'effet de bord de 50 % doit être utilisée (Annexe M).

Lorsque l'angle entre l'axe de la sonde et le vecteur normal de la surface est supérieur à  $5^\circ$ ,  $\Delta DAS_{be}$  doit être évalué à l'aide des étapes suivantes en utilisant le montage défini à l'Article B.3 pour la fréquence d'essai:

- Étape 1: Effectuer un balayage de zone et se déplacer vers l'interpolation maximale (toutes les mesures aux étapes 2 à 8 sont effectuées sur une ligne perpendiculaire à la surface qui inclut cette interpolation maximale).
- Étape 2: Effectuer un balayage z dans lequel tous les points correspondent aux points de la grille dans la direction z du balayage en volume. Ces valeurs représenteront les valeurs de référence. Les valeurs de référence doivent être comparées aux valeurs numériques et doivent être documentées et ne pas s'écarter de plus que l'incertitude pour la validation du système.
- Étape 3: Tourner l'inclinaison de l'angle de la sonde de  $10^\circ$  (l'angle maximal de  $5^\circ$  plus  $5^\circ$ ).
- Étape 4: Ramener la rotation axiale à  $0^\circ$ .
- Étape 5: Effectuer un balayage z et estimer l'écart comparé aux valeurs de référence pour le premier point de mesure.
- Étape 6: Tourner la sonde autour de l'axe par incréments de  $15^\circ$  jusqu'à effectuer une rotation de moins de  $360^\circ$  et répéter les étapes 4 à 6.
- Étape 7: Tourner l'inclinaison de l'angle de la sonde de  $5^\circ$  jusqu'à ce que la rotation soit inférieure à l'inclinaison maximale atteinte pendant les mesures et répéter les étapes 4 à 7.
- Étape 8: Consigner toutes les valeurs. L'écart maximal consigné à l'étape 5 est l'incertitude de bord maximale  $\Delta DAS_{be}$  à utiliser dans les équations ci-dessus.

Dans le Tableau 5, la distribution de probabilité est supposée rectangulaire pour l'incertitude de l'effet de bord.

#### 7.2.2.7 Incertitude des lectures électroniques

Les composantes de l'incertitude des lectures électroniques de la sonde de champ comprennent l'amplification, la linéarité, le chargement de la sonde et l'évaluation des incertitudes de l'algorithme, etc. Les gammes attendues de ces composantes d'incertitude peuvent être généralement évaluées en utilisant des extrémités simulées à la place des sondes de champ et l'utilisation des spécifications du fabricant pour les composants électroniques. La valeur quadratique de la somme des composantes d'incertitude doit être utilisée pour obtenir l'incertitude globale de la lecture électronique. Dans le Tableau 5, la distribution de probabilité est supposée normale pour l'incertitude des lectures électroniques.

#### 7.2.2.8 Temps de réponse

La sonde doit être exposée à un champ électrique bien défini produisant au moins 2 W/kg proche de la surface du fantôme et du liquide équivalant aux tissus. Le temps de réponse du signal est évalué comme étant le temps requis par l'équipement de mesure (sonde et lecture électronique) pour atteindre 90 % de la valeur finale attendue après un pas de variation ou une commutation marche/arrêt de la source d'alimentation. L'incertitude sur le DAS résultant de ce temps de réponse peut être négligée si la sonde est immobile pour une période de temps supérieure à deux fois le temps de réponse avant de mesurer une valeur de DAS. Dans ce cas, entrer un zéro dans la colonne c du Tableau 5. Si la sonde n'est pas immobile pour un temps égal ou supérieur à deux fois le temps de réponse, entrer la valeur réelle de l'incertitude du temps de réponse dans la colonne c du Tableau 5. Dans le Tableau 5, la distribution de probabilité est supposée rectangulaire pour l'incertitude du temps de réponse.

### 7.2.2.9 Temps d'intégration

Des incertitudes relatives au temps d'intégration de la sonde peuvent survenir lorsque les appareils en essai n'émettent pas de signal continu comme les modulations numériques utilisées dans certains DUT. Lorsque le temps d'intégration et les intervalles d'échantillonnage discrets utilisés dans l'électronique de la sonde ne sont pas synchronisés avec les caractéristiques de modulation du signal mesuré, l'énergie RF à chaque point de mesure peut ne pas être entièrement ou correctement saisie. Cette incertitude doit être évaluée conformément aux caractéristiques du signal de l'appareil en essai avant la mesure du DAS.

Pour des signaux avec des composantes d'intensité ou de modulation par impulsion et une périodicité supérieure à 1 % du temps d'intégration de la sonde, des incertitudes supplémentaires relatives au DAS doivent être prises en compte lorsque le temps d'intégration de la sonde n'est pas un multiple exact de la périodicité  $T$  la plus longue. Il convient d'évaluer l'incertitude conformément à l'incertitude maximale attendue pour le temps d'intégration de la sonde non synchronisé avec une distribution de probabilité rectangulaire supposée. Pour un signal avec une enveloppe  $s(t)$ , le signal moyen lu par la sonde pendant le temps d'intégration  $t_{\text{int}}$  commençant à partir du temps  $t_0$  est indiqué par  $s_{\text{int}}(t_0, t_{\text{int}})$  dans l'équation:

$$s_{\text{int}}(t_0, t_{\text{int}}) = \frac{1}{t_{\text{int}}} \int_{t_0}^{t_0 + t_{\text{int}}} s(t) dt \quad 0 \leq t_0 \leq T$$

$s_{\text{int}}$  suppose que le filtrage de la sonde ne modifie pas l'enveloppe du signal  $s(t)$ . Si  $t_0$  n'est pas synchronisé avec la période  $T$  la plus longue de  $s(t)$ , l'incertitude relative au temps d'intégration de la sonde peut être définie comme indiqué dans:

$$\text{DAS}_{\text{incertitude\_a}} [\%] = 100 \times \frac{\max(s_{\text{int}}(t_0, t_{\text{int}})) - \min(s_{\text{int}}(t_0, t_{\text{int}}))}{2 \times s_{\text{int}}(0, T)}$$

où

|                                                      |                                                                                               |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\text{DAS}_{\text{incertitude\_a}}$                 | est l'incertitude pour le temps d'intégration, en pourcentage;                                |
| $\max(s_{\text{int}}(t_0, t_{\text{int}}))$<br>$T$ ; | est le maximum de tout intervalle $(t_0, t_{\text{int}})$ dans la plage $0 \leq t_0 \leq T$ ; |
| $\min(s_{\text{int}}(t_0, t_{\text{int}}))$<br>$T$ . | est le minimum de tout intervalle $(t_0, t_{\text{int}})$ dans la plage $0 \leq t_0 \leq T$ . |

$\text{DAS}_{\text{incertitude\_a}}$  peut être utilisé pour calculer l'incertitude relative au temps d'intégration de la sonde pour tout signal. Une formule alternative simple pour l'incertitude relative à un signal AMRT est produite dans l'équation:

$$\text{DAS}_{\text{incertitude\_b}} [\%] = 100 \times \sum_{\text{toutes les sous-trames}} \frac{t_{\text{trame}}}{t_{\text{int}}} \frac{\text{interv}_{\text{repos}}}{\text{interv}_{\text{total}}} \text{ pour } t_{\text{int}} > t_{\text{trame}},$$

où

|                                      |                                                                |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| $\text{DAS}_{\text{incertitude\_b}}$ | est l'incertitude pour le temps d'intégration, en pourcentage; |
| $t_{\text{trame}}$                   | est la durée de trame;                                         |
| $t_{\text{int}}$                     | est le temps d'intégration;                                    |
| $\text{interv}_{\text{repos}}$       | est le nombre d'intervalles de repos dans une trame;           |
| $\text{interv}_{\text{total}}$       | est le nombre total d'intervalles de repos dans une trame.     |

Dans l'équation ci-dessus, il est implicitement entendu qu'un signal AMRT peut être constitué de plusieurs couches de trames. Par exemple, la sous-trame de base pour les systèmes GSM a une durée  $t_{\text{sous-trame}} = 4,6$  ms, avec sept intervalles de repos dans une sous-trame de huit intervalles, alors que la durée de la trame complète de 26 intervalles est  $t_{\text{trame}} = 120$  ms, y compris un intervalle de sous-trame au repos.

$DAS_{\text{incertitude}_b}$  est une approximation qui surestime généralement l'incertitude. Ici  $\text{interv}_{\text{repos}}$  est le nombre total d'intervalles dans une trame,  $\text{interv}_{\text{total}}$  étant le nombre total d'intervalles de temps. La durée de trame est  $t_{\text{trame}}$ , avec  $t_{\text{trame}} < t_{\text{int}}$ . L'incertitude totale relative au temps d'intégration de la sonde est la somme des incertitudes de toutes les sous-trames dans la structure de trames présentant des intervalles de repos. Par exemple, pour un temps d'intégration de la sonde de 0,2 s, l'incertitude estimée est  $s_{\text{int}}$  et  $DAS_{\text{incertitude}_a}$ . Pour US TDMA (IS-136),  $t_{\text{trame}} = 20$  ms, avec deux intervalles de repos dans une trame de trois intervalles et aucune multitrame. Pour un temps d'intégration de la sonde de 0,2 s,  $DAS_{\text{incertitude}_b}$  donne une incertitude de 6,67 %, alors que l'incertitude réelle déduite à l'aide de  $s_{\text{int}}$  et  $DAS_{\text{incertitude}_a}$  est 0 % (le temps d'intégration est un multiple exact du temps de trame). GPRS est identique au GSM, excepté que le nombre d'intervalles de repos peut être égal à 6, 5, ..., le nombre 7 d'intervalles de repos étant le cas le plus défavorable.

Entrer cette valeur dans le tableau des incertitudes, et faire l'hypothèse d'une distribution rectangulaire. Les appareils AMRF et AMRC sont soumis à essai avec des signaux continus ou équivalents à des ondes entretenues; par conséquent, il convient d'entrer une valeur d'incertitude égale à zéro.

#### 7.2.2.10 Dérive de DAS mesurée

Si la dérive de DAS mesurée est de 5 % maximum, elle peut être traitée comme une incertitude (c'est-à-dire une erreur aléatoire) ou un biais. Si elle est traitée comme une incertitude, la dérive doit être enregistrée dans le tableau des incertitudes. Si elle est traitée comme un biais, une correction doit être appliquée à la valeur mesurée du DAS (6.3.1); dans ce cas, il n'est pas nécessaire d'enregistrer la dérive dans le bilan d'incertitude (c'est-à-dire  $u_i = 0$  %).

La dérive de DAS mesurée est dynamique par rapport à l'appareil en essai pendant l'évaluation du DAS et elle est utilisée comme méthode pour garantir qu'une puissance stable est appliquée au dispositif pendant tout le processus de mesure. Cela signifie que l'incertitude doit être établie. Une valeur d'incertitude-type de 5 % est incluse dans le Tableau 5 pour couvrir la dérive de DAS mesurée. La tolérance de 5 % peut être mise à jour pour refléter une valeur différente en utilisant l'une des deux méthodes.

- Comme méthode la plus utilisée, des mesures du DAS dynamiques (en un point unique) doivent être effectuées par le système de mesure du DAS dans le tissu en un point défini par l'utilisateur avant le balayage de zone. Une deuxième mesure doit être effectuée par le système au point défini par l'utilisateur une fois la valeur du DAS déterminée. La différence entre les valeurs mesurées du DAS peut alors être appliquée dynamiquement dans le Tableau 5 pour l'incertitude de mesure.
- En guise de solution de remplacement et si la méthode favorite en a) n'est pas assez sensible, des mesures de conduite peuvent être effectuées sur l'appareil au niveau de l'antenne en utilisant un équipement pouvant mesurer la puissance RF avant de mettre en place l'appareil pour l'essai du DAS. L'utilisateur doit répéter la mesure de la puissance RF conduite une fois l'essai du DAS terminé. La différence entre les mesures de puissance RF conduite peut être évaluée et utilisée comme une tolérance mise à jour dans le Tableau 5.

La distribution de probabilité est supposée rectangulaire pour l'incertitude de la dérive de DAS mesurée dans le Tableau 5 (intitulée «Dérive de la puissance de sortie»).

### 7.2.3 Contribution des contraintes mécaniques

#### 7.2.3.1 Système de balayage

Les restrictions mécaniques du positionneur de la sonde de champ peuvent introduire des écarts dans la précision et la reproductibilité du positionnement de la sonde, ce qui ajoute à l'incertitude de la mesure du DAS. L'incertitude peut être estimée par rapport aux spécifications du positionneur de la sonde relatives à la position exigée par la position réelle de la mesure (définie par le centre géométrique des capteurs de la sonde de champ) et être exprimée comme écart maximal  $d_{ss}$ . En faisant l'hypothèse d'une distribution de probabilité rectangulaire, la contribution de l'incertitude du DAS crête spatial moyen en raison des restrictions mécaniques du positionneur de sonde,  $d_{ss}$ , peut être calculée en utilisant une approximation de premier ordre:

$$DAS_{\text{incertitude}}[\%] = \frac{d_{ss}}{\delta/2} \times 100$$

où

$DAS_{\text{incertitude}}$  est l'incertitude, en pourcentage;

$d_{ss}$  est l'incertitude maximale de positionnement entre la position calculée du centre des capteurs de la sonde et la position réelle par rapport à un point de référence défini par le fabricant du système;

$\delta$  est la profondeur de pénétration minimale, en millimètres, du liquide équivalent aux tissus pour la gamme de fréquences étudiée, par exemple  $\delta \approx 6$  mm à 6 GHz.

Si le fabricant du positionneur ne spécifie pas les restrictions mécaniques du positionneur de la sonde, celles-ci doivent être évaluées pour déterminer la contribution à l'incertitude de la mesure du DAS. Ceci peut être effectué simplement en évaluant la précision relative des mouvements dans l'aire de balayage à grosse maille et en convertissant les différences de positions spécifiées par le logiciel par rapport aux positions réelles en une incertitude. L'incertitude du DAS doit être entrée dans la colonne c du Tableau 5 en faisant l'hypothèse d'une distribution rectangulaire.

#### 7.2.3.2 Incertitude de l'enveloppe du fantôme

L'incertitude comme fonction de la tolérance de l'enveloppe du fantôme est évaluée conformément à une forte dépendance conservatrice de la distance, c'est-à-dire que la dépendance du carré de la distance et en supposant une distance  $a = 5$  mm entre le liquide équivalent aux tissus du corps et la position de la densité de courant de filament (la densité de courant équivalent ne correspond pas à la source de courant la plus proche mais à une densité de courant approchant les distributions de champ H local).

$$DAS_{\text{incertitude}}[\%] = \sqrt{\left(100 \times \left(\frac{(a + d + b/2s)^2}{a^2} - 1\right)\right)^2 + \left(5|\epsilon_{\text{enveloppe}} - 4|\right)^2}$$

pour  $3 \leq \epsilon_{\text{enveloppe}} \leq 5$ , pour  $f > 3$  GHz

$$DAS_{\text{incertitude}}[\%] = 100 \times \left(\frac{(a + d + b/2s)^2}{a^2} - 1\right)$$

pour  $f \leq 3$  GHz

où

$DAS_{\text{incertitude}}$  est l'incertitude, en pourcentage;

$a$  est la distance entre le liquide équivalent aux tissus du corps et la position équivalente en densité de courant de filament;

- $b$  est l'extension maximale de l'appareil y compris l'antenne et les accessoires soumis à essai; comme solution de remplacement,  $b$  est la distance entre le centre du fantôme et le centre du cube évalué du balayage-zoom;
- $d$  est la tolérance maximale de l'épaisseur de l'enveloppe et de la forme du fantôme;
- $s$  est la flèche maximale de l'enveloppe en % par distance;
- $5 \times |\varepsilon_{r_{\text{enveloppe}}} - 4|$  est la valeur absolue de la permittivité réelle de l'enveloppe moins la permittivité de 4 multipliée par l'incertitude de 5 % évaluée lorsque la permittivité présente un écart de 1.

Outre la tolérance de distance et la flèche, l'incertitude due à la tolérance de la permittivité relative ( $\varepsilon_r = 4 \pm 1$ ) de l'enveloppe doit également être prise en compte et elle est de  $\pm 5$  %.

Entrer la valeur d'incertitude (distribution rectangulaire) dans la ligne correspondante du tableau des incertitudes.

### 7.2.3.3 Position de la sonde par rapport à la surface de l'enveloppe du fantôme

L'incertitude du positionneur de la sonde par rapport à l'enveloppe du fantôme  $d_{ph}$  doit être estimée. En faisant l'hypothèse d'une distribution de probabilité rectangulaire, la contribution de l'incertitude du DAS crête spatial moyen est calculée en utilisant une approximation de premier ordre:

$$DAS_{\text{incertitude}}[\%] = \frac{d_{ph}}{\delta/2} \times 100$$

où

- $DAS_{\text{incertitude}}$  est l'incertitude, en pourcentage;
- $d_{ph}$  est l'incertitude maximale pour la détermination de la distance entre l'extrémité de la sonde et l'enveloppe du fantôme, c'est-à-dire l'incertitude pour la détermination de la position du fantôme par rapport à l'extrémité de la sonde;
- $\delta$  est la profondeur de pénétration minimale, en millimètres, du liquide équivalant aux tissus pour la gamme de fréquences étudiée.

L'incertitude du DAS doit être entrée dans la colonne c du Tableau 5 des incertitudes, en faisant l'hypothèse d'une distribution rectangulaire.

### 7.2.3.4 Incertitudes de positionnement de l'appareil et des supports

#### 7.2.3.4.1 Généralités

Un support d'appareil est utilisé pour maintenir la position d'essai d'un DUT contre le fantôme pendant une mesure de DAS. Étant donné qu'un support d'appareil peut influencer les caractéristiques d'un DUT en essai, l'incertitude du DAS due aux perturbations du support d'appareil doit être estimée en utilisant les procédures en 7.2.3.4.2. Les procédures pour les incertitudes du DAS dues aux variations de positionnement résultant des tolérances mécaniques du support d'appareil sont exposées en 7.2.3.4.3. Les deux paragraphes incluent des procédures pour des incertitudes spécifiques à des appareils et des incertitudes prédéterminées. Si des incertitudes prédéterminées sont utilisées, dans la plupart des cas des répétitions multiples d'essais spécifiques à des appareils peuvent être faites pour réduire les écarts types prédéterminés qui en découlent.

#### 7.2.3.4.2 Incertitude due aux perturbations du support d'appareil

##### 7.2.3.4.2.1 Généralités

Le support d'appareil doit être fabriqué dans un matériau à faible perte diélectrique avec une permittivité relative inférieure à 5 et une tangente de perte inférieure à 0,05 (ces paramètres de matériau peuvent être déterminés par exemple en utilisant la méthode de la sonde de contact coaxiale). Néanmoins, certains supports peuvent exercer une influence sur la source et il convient donc d'estimer l'incertitude du support résultante (c'est-à-dire l'écart par rapport au montage sans le positionneur). Il convient d'estimer l'incertitude pour un appareil en essai spécifique conformément à la méthode décrite en 7.2.3.4.2.2, qui est une méthode de type B. La méthode décrite en 7.2.3.4.2.3 fournit une méthode de type A pour évaluer l'incertitude pour un groupe de DUT ayant des caractéristiques de DAS similaires et soumis à essai avec le même support d'appareil.

L'incertitude du DAS à utiliser en Tableau 5 est:

$$\text{DAS}_{\text{incertitude}} [\%] = \left( \frac{\text{DAS}_{\text{avec support}} - \text{DAS}_{\text{sans support}}}{\text{DAS}_{\text{sans support}}} \right) \times 100$$

où

$\text{DAS}_{\text{incertitude}}$  est l'incertitude, en pourcentage;

$\text{DAS}_{\text{avec support}}$  est le DAS avec le support d'appareil, en watts par kilogramme;

$\text{DAS}_{\text{sans support}}$  est le DAS sans le support d'appareil, en watts par kilogramme.

##### 7.2.3.4.2.2 Incertitude due aux perturbations du support d'appareil, pour un appareil spécifique en essai: type B

L'incertitude pour un DUT spécifique fonctionnant dans une configuration spécifique doit être estimée en effectuant les deux essais suivants utilisant un fantôme plan:

- évaluation du DAS crête spatial moyen DAS ( $\text{DAS}_{\text{avec support}}$ ) en plaçant l'appareil dans le support de la manière dont il serait tenu lors d'un essai contre le corps, puis en positionnant le DUT en contact direct avec le fantôme plan (lignes centrales horizontale et verticale du DUT parallèles au bas du fantôme plan);
- évaluation du DAS crête spatial moyen ( $\text{DAS}_{\text{sans support}}$ ) en plaçant l'appareil dans la même position, mais tenu en place avec de la mousse polystyrène ou un matériau équivalent de faible perte et non réflecteur (permittivité inférieure ou égale à 1,2 et tangente de perte inférieure ou égale à  $10^{-5}$ ).

Cette incertitude a une distribution de probabilité supposée rectangulaire et  $\nu_1 = \infty$  degrés de liberté.

##### 7.2.3.4.2.3 Incertitude due aux perturbations du support d'appareil, pour des appareils spécifiques en essai: type A

Une analyse d'incertitude de type A peut être appliquée pour un groupe de DUT ayant une forme et une distribution de DAS similaires. L'incertitude provenant de cette analyse peut s'appliquer à d'autres DUT ayant des caractéristiques DAS similaires et soumis à essai avec le même support d'appareil, de telle sorte que les essais spécifiques de 7.2.3.4.2.2 peuvent être évités. L'effet du support d'appareil pour  $N$  différents exemplaires de DUT dans les différentes configurations doit être estimé par la réalisation des essais de 7.2.3.4.2.2 pour chaque exemplaire ( $N$  doit être au moins égal à 6), pour chaque configuration.

L'incertitude correspondante pour le Tableau 5 doit être estimée en utilisant les valeurs efficaces des incertitudes individuelles avec le nombre de degrés de liberté  $\nu_1 = N - 1$ .

### **7.2.3.4.3 Évaluation de l'incertitude de positionnement de l'appareil par rapport au fantôme**

#### **7.2.3.4.3.1 Généralités**

Les positions d'essai du DUT établies par un opérateur d'essai unique utilisant un support d'appareil peuvent différer des positions exactes décrites en 6.1. Les incertitudes de DAS dues aux écarts de positionnement de l'appareil peuvent varier selon la conception du DUT et les procédures utilisées par un support ou un opérateur d'essai spécifique et ces effets sont généralement inséparables. Les procédures de 7.2.3.4.3.2 peuvent être utilisées pour évaluer une conception de DUT particulière. Le paragraphe 7.2.3.4.3.3 décrit les procédures pouvant s'appliquer à l'évaluation d'une série spécifique ou d'un groupe de conceptions de DUT ayant la même forme et des dimensions largement équivalentes et qui ont été soumises à essai à l'aide du même support d'appareil. À moins que ces exigences soient satisfaites, il convient d'utiliser les procédures définies en 7.2.3.4.3.2 pour évaluer individuellement chaque appareil. Si un écart type prédéterminé pour un support d'appareil spécifique calculé à partir des essais soumis à un groupe spécifique de DUT est applicable, un appareil seul n'a pas besoin d'être soumis aux essais répétés définis en 7.2.3.4.3.2.

#### **7.2.3.4.3.2 Incertitude de positionnement d'un DUT spécifique dans un support d'appareil spécifique**

L'incertitude de positionnement d'un DUT spécifique soumis à essai dans un support d'appareil spécifique est évaluée par des mesures répétées du DAS sur 1 g ou 10 g. Il convient d'évaluer cette incertitude de positionnement en utilisant la position de l'antenne, le canal de fréquence et la position de l'appareil pour le mode de fonctionnement (voir en 6.3) qui a produit le DAS le plus élevé parmi toutes les bandes de fréquence. Outre la mesure du DAS d'origine, il convient de repositionner le DUT et de répéter les essais au moins quatre fois. Il convient que ce minimum de cinq essais soit suffisant pour établir une valeur raisonnable pour les degrés de liberté. Si l'incertitude de positionnement d'un appareil individuel est supposée être importante, il peut s'avérer nécessaire de réaliser davantage d'essais pour réduire l'effet sur l'incertitude totale de mesure. L'augmentation du nombre d'essais augmentera les degrés de liberté efficaces ( $v_{\text{eff}}$ ) et diminuera le facteur d'élargissement. Le DAS moyen pour le nombre total de mesures ( $N$ ) est utilisé pour déterminer l'incertitude de DAS conformément à l'écart type et aux degrés de liberté ( $v_i = N - 1$ ) du nombre d'essais effectués.

#### **7.2.3.4.3.3 Incertitude de positionnement pour des types spécifiques de DUT dans un support d'appareil spécifique**

L'incertitude de positionnement d'un groupe spécifique de DUT avec la même forme et des dimensions largement équivalentes soumis à essai avec un support d'appareil spécifique peut être évaluée à l'aide des procédures suivantes. Il convient que les essais comprennent au moins six appareils, chacun évalué conformément aux procédures de 7.2.3.4.3.2 (cinq essais pour chaque appareil). Lorsqu'un DUT a la même forme, des dimensions et des caractéristiques de distribution du DAS largement équivalentes qui lui permettent de satisfaire aux exigences du groupe spécifique d'appareils soumis à essai à l'aide d'un support spécifique, l'incertitude de positionnement de l'appareil pour ce groupe donné d'appareils peut être utilisée au lieu d'effectuer les essais décrits en 7.2.3.4.3.2 pour ce DUT particulier (prédétermination). L'incertitude de DAS est consignée dans la ligne et la colonne correspondantes du Tableau 5 conformément à la puissance moyenne des incertitudes déterminées pour chaque appareil à partir des procédures définies en 7.2.3.4.3.2. Les degrés de liberté ( $v_i$ ) sont déterminés conformément au nombre d'essais ( $N$ ) réalisés pour les  $M$  appareils inclus dans le groupe spécifique de DUT avec  $v_i = (N \times M) - 1$ .

## **7.2.4 Contribution des paramètres physiques**

### **7.2.4.1 Introduction**

Les détails pour les méthodes d'essai des paramètres diélectriques sont donnés en Annexe J de la CEI 62209-1:2005 et les méthodes d'estimation d'incertitudes sont données à l'Article

J.7 de la CEI 62209-1:2005. L'Annexe I fournit des paramètres pour la bande de fréquence de 30 MHz à 6 GHz.

NOTE Selon les pratiques métrologiques habituelles, il est recommandé que l'incertitude de mesure pour chacun des paramètres diélectriques soit inférieure ou égale aux variations permises pour les valeurs cibles des paramètres diélectriques mesurés.

#### 7.2.4.2 Masse volumique du liquide

Les liquides équivalant aux tissus sont supposés avoir une masse volumique de 1 000 kg/m<sup>3</sup>.

Cette valeur de masse volumique doit être utilisée pour les évaluations du DAS sans lui associer la moindre incertitude.

#### 7.2.4.3 Permittivité et conductivité des liquides

L'incertitude due à la permittivité et la conductivité des liquides provient de deux sources différentes. La première source d'incertitude est due à l'utilisation de la correction de DAS pour tenir compte des paramètres diélectriques avec une variation permise de  $\pm 10\%$  par rapport à la valeur cible du Tableau 1 (voir Annexe F). La seconde source d'incertitude provient des procédures de mesure utilisées pour évaluer la permittivité et la conductivité décrite dans cette section.

Les procédures de mesure des propriétés diélectriques utilisent des analyseurs de réseaux vectoriels. Les analyseurs de réseaux exigent un étalonnage afin de prendre en compte et d'éliminer les pertes et réflexions inhérentes. Le bilan d'incertitude alloué à la mesure diélectrique résulte des imprécisions dans les données d'étalonnage, la dérive de l'analyseur et les erreurs aléatoires. D'autres sources d'erreurs potentielles résident dans les tolérances du support d'échantillon, dans les écarts par rapport aux dimensions optimales pour les fréquences spécifiées. Ceci est applicable indépendamment du type de support d'échantillon et de la dispersion des paramètres à mesurer.

Les incertitudes dues à la droite de corrélation de la méthode du banc de mesure peuvent être évaluées par une analyse des moindres carrés.

**Tableau 2 – Exemple de modèle d'incertitude et de valeurs numériques pour la mesure de la permittivité relative ( $\epsilon'_r$ ) et de la conductivité ( $\sigma$ ); des tableaux séparés peuvent être nécessaires pour chaque  $\epsilon'_r$  et  $\sigma$**

|                                                                                                            |                                                                                   | a                         |                                   | b          | c     | <sup>d</sup><br>$u_i = (a/b) \times (c)$ | e                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|------------|-------|------------------------------------------|---------------------------------|
|                                                                                                            | Composante d'incertitude                                                          | Tolérance<br>( $\pm \%$ ) | Distribution<br>de<br>probabilité | Diviseur   | $c_i$ | Incertitude-<br>type ( $\pm \%$ )        | $v_i$<br>ou<br>$v_{\text{eff}}$ |
| 1                                                                                                          | Répétabilité de $\epsilon'_r$ ou $\sigma$<br>(N répétitions)                      | 5,2                       | N                                 | 1          | 1     | 5,20                                     | 4                               |
| 2                                                                                                          | écart par rapport à la cible du<br>liquide de référence $\epsilon'_r$ ou $\sigma$ | 3,0                       | R                                 | $\sqrt{3}$ | 1     | 1,73                                     | 4                               |
| 3                                                                                                          | Dérive de l'analyseur de<br>réseaux, linéarité, etc.                              | 0,5                       | R                                 | $\sqrt{3}$ | 1     | 0,29                                     | $\infty$                        |
| 4                                                                                                          | Variations du câble d'entrée<br>de l'essai                                        | 0,5                       | U                                 | $\sqrt{2}$ | 1     | 0,35                                     | $\infty$                        |
| 5                                                                                                          | Incertitude-type composée                                                         |                           |                                   |            |       | 5,50                                     | 5                               |
| NOTE Les intitulés des lignes 1 à 5 et les intitulés des colonnes a à d sont fournis à titre de référence. |                                                                                   |                           |                                   |            |       |                                          |                                 |

Un exemple de modèle d'incertitude est présenté dans le Tableau 2. Toutes les grandeurs d'influence peuvent être pertinentes ou non pour un montage d'essai ou pour une procédure

spécifique alors que d'autres composantes, qui ne figurent pas dans cette liste, peuvent s'appliquer à certains montages d'essai. Il peut être nécessaire de prendre en compte d'autres grandeurs d'influence potentielles non incluses dans le Tableau 2 comme les bulles d'air de l'échantillon vers la sonde, les interpolations de fréquences, les prises en compte du positionnement et des dimensions des capteurs, les artefacts de l'analyse numérique/extraction de données, les effets d'anneaux des sondes coaxiales, etc. Le Tableau 2 comprend également des exemples de valeurs numériques. Selon le montage d'essai, l'incertitude réelle estimée peut être différente des valeurs illustrées ici, et il convient qu'elle soit différente de ces valeurs. La mesure de matériaux de référence bien caractérisés peut être utilisée pour estimer l'incertitude de mesure des propriétés diélectriques ([83], [84], [85], [86]) comme décrit dans la procédure suivante.

- a) Configurer et étalonner l'analyseur de réseaux dans une gamme de fréquences suffisamment large autour de la fréquence centrale considérée, par exemple 835 MHz  $\pm$  100 MHz à au moins cinq fréquences dans la bande d'émission de l'appareil.
- b) Mesurer un matériau de référence  $n$  fois pour obtenir la moyenne et l'écart type pour la permittivité relative et la conductivité à chaque bande centrale de l'appareil et aux fréquences voisines.
- c) Pour chacune des marches d'essai à partir de l'étape b), exécuter les étapes d) à h).
- d) Calculer la répétabilité en divisant l'écart type de l'échantillon par la valeur moyenne. La permittivité est exprimée comme suit:

$$\text{Répétabilité (\%)} = 100 \times \frac{1}{\bar{\epsilon}'_r} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\epsilon'_{r,i} - \bar{\epsilon}'_r)^2}$$

où la valeur moyenne est

$$\bar{\epsilon}'_r = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \epsilon'_{r,i}$$

Procéder de la même manière pour la conductivité.

- e) Entrer la répétabilité dans la ligne 1, colonne *a* du Tableau 2. Le nombre de degrés de liberté  $\nu_i = N - 1$  est entré dans la colonne *e*. Déterminer l'écart des paramètres diélectriques par rapport aux valeurs cibles,  $\epsilon_{r,\text{ref}}$  et  $\sigma_{\text{ref}}$ . Pour la permittivité, cet écart est exprimé comme suit:

$$\text{Écart (\%)} = 100 \times \left| \frac{\bar{\epsilon}'_r - \epsilon'_{r,\text{ref}}}{\epsilon'_{r,\text{ref}}} \right|$$

Entrer l'écart dans la ligne 2, colonne *a* du Tableau 2. Le nombre de degrés de liberté  $\nu_i = N - 1$  est entré dans la colonne *e*. Procéder de la même manière pour la conductivité.

- f) Estimer les incertitudes de type B pour les autres composantes du Tableau 2 (et d'autres composantes pertinentes si nécessaire) dans la gamme de fréquences considérée.
- g) Déterminer l'incertitude-type composée comme la valeur quadratique des composantes d'incertitude des étapes c), d) et e). Entrer cette valeur dans la ligne 5 colonne *d* du Tableau 2.
- h) Pour la permittivité relative, choisir la fréquence donnant la valeur la plus élevée pour l'incertitude-type composée de l'étape f). Entrer cette incertitude et le nombre de degrés de liberté correspondants  $\nu_i$  dans la ligne appropriée des Tableaux 5, 6 et 7. Procéder de la même manière pour la conductivité.

Insérer deux versions complétées du Tableau 2 (une pour la permittivité et une pour la conductivité) dans le rapport de mesure, en justifiant les raisons pour lesquelles les grandeurs d'influence ont été utilisées ou omises. Les versions du Tableau 2 correspondent aux valeurs les plus élevées pour l'incertitude-type composée trouvée aux étapes f) et g).

Dans les Tableaux 5, 6 et 7, les coefficients de sensibilité  $c_i$  dans les colonnes  $f$  et  $g$  pour les incertitudes de mesure de la permittivité et de la conductivité du liquide sont nécessaires. Ces coefficients de sensibilité sont  $c_\sigma$  pour la conductivité et  $c_\varepsilon$  pour la permittivité. Ils sont calculés à l'aide des équations (F.1) à (F.5). Les coefficients de sensibilité les plus élevés dans la gamme de fréquences de 300 MHz à 6 GHz trouvés ont été  $c_\sigma = 0,78$  (à 300 MHz) et  $c_\varepsilon = 0,23$  (à 2 000 MHz) pour une intégration de 1 g, et  $c_\sigma = 0,71$  (à 300 MHz) et  $c_\varepsilon = 0,26$  (à 5 500 MHz) pour une intégration de 10 g. Ces valeurs maximales sont entrées dans les Tableaux 5, 6 et 7. En variante, des valeurs maximales des gammes de fréquences soumises à essai peuvent être entrées.

#### 7.2.4.4 Température du liquide

Conformément à la norme, les mesures du DAS sont effectuées entre 18 °C et 25 °C, ainsi qu'à  $\pm 2$  °C près de la température à laquelle les paramètres diélectriques ont été mesurés. L'évaluation suivante doit être effectuée pour chaque formulation pour déterminer l'incertitude causée par la tolérance de température.

Il convient d'effectuer des mesures des paramètres diélectriques aux températures de liquide  $T_{\text{basse}} = 18 \text{ °C} \pm 1 \text{ °C}$  et  $T_{\text{élevée}} = 25 \text{ °C} \pm 1 \text{ °C}$  et les équations

$$\varepsilon_{\text{temp\_liquid\_incertitude}}[\%] = 100 \times \left| \frac{2 \times [\varepsilon_r(T_{\text{élevée}}) - \varepsilon_r(T_{\text{basse}})]}{\varepsilon_r(T_{\text{élevée}}) + \varepsilon_r(T_{\text{basse}})} \times \frac{2^\circ\text{C}}{T_{\text{élevée}} - T_{\text{basse}}} \right|$$

$$\sigma_{\text{temp\_liquid\_incertitude}}[\%] = 100 \times \left| \frac{2 \times [\sigma(T_{\text{élevée}}) - \sigma(T_{\text{basse}})]}{\sigma(T_{\text{élevée}}) + \sigma(T_{\text{basse}})} \times \frac{2^\circ\text{C}}{T_{\text{élevée}} - T_{\text{basse}}} \right|$$

où

|                                                  |                                                                                                  |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\varepsilon_{\text{temp\_liquid\_incertitude}}$ | est l'incertitude de température pour la permittivité du liquide, en pourcentage;                |
| $\sigma_{\text{temp\_liquid\_incertitude}}$      | est l'incertitude de température pour la conductivité du liquide, en pourcentage;                |
| $\varepsilon_r(T_{\text{élevée}})$               | est la permittivité relative à la température $T_{\text{élevée}}$ ;                              |
| $\varepsilon_r(T_{\text{basse}})$                | est la permittivité relative à la température $T_{\text{basse}}$ ;                               |
| $\sigma(T_{\text{élevée}})$                      | est la conductivité à la température $T_{\text{élevée}}$ ;                                       |
| $\sigma(T_{\text{basse}})$                       | est la conductivité à la température $T_{\text{basse}}$ ;                                        |
| $T_{\text{élevée}}$                              | est la température la plus élevée en °C à laquelle les paramètres diélectriques ont été mesurés; |
| $T_{\text{basse}}$                               | est la température la plus basse en °C à laquelle les paramètres diélectriques ont été mesurés;  |

Ces équations peuvent être utilisées pour calculer l'incertitude de température pour le liquide considéré. Il convient que l'incertitude de  $T_{\text{basse}}$  et  $T_{\text{élevée}}$  soit inférieure à 0,1 °C.

Les valeurs de  $\varepsilon_{\text{temp\_liquid\_incertitude}}$  et de  $\sigma_{\text{temp\_liquid\_incertitude}}$  sont entrées dans la colonne  $c$  des lignes appropriées des Tableaux 5, 6, et 7. Les valeurs calculées pour certaines formulations sont données dans l'Annexe I. Une distribution de probabilité rectangulaire a été supposée pour l'incertitude de température du liquide dans les Tableaux 5, 6 et 7. Les coefficients de sensibilité pour l'incertitude de température du liquide sont  $c_\sigma$  pour la conductivité et  $c_\varepsilon$  pour la permittivité. Ils sont calculés à l'aide de la procédure décrite en 7.2.4.3.

#### 7.2.4.5 Perturbation de l'environnement

Des incertitudes de mesure peuvent survenir lorsque des signaux ambiants RF non souhaités sont présents pendant un essai de DAS. Le niveau RF ambiant est évalué en effectuant des mesures du DAS à l'aide du même montage d'équipement que celui utilisé pour soumettre à

essai le DUT mais la puissance RF étant coupée. Le bruit électromagnétique ambiant peut ne pas être vérifié avant chaque essai du DAS si le laboratoire peut démontrer que toute source RF peut influencer la mesure du DAS maximale sur 1 g de 0,012 W/kg tout au plus.

Le paragraphe 5.1 requiert que l'incertitude du DAS en raison du bruit électromagnétique ambiant et les effets des diffuseurs RF soient chacun inférieurs à 3 % de la limite inférieure de détection du système. Les configurations d'essai décrites dans l'Annexe B sont utilisées pour évaluer les effets des réflexions des objets proches sur un site d'essai. En outre, il convient de déterminer le bruit électromagnétique ambiant en effectuant des mesures du DAS avec toutes les sources RF locales coupées. Il convient que les effets des réflexions RF et des champs ambiants provoquent une crête du DAS sur 1 g inférieure à 0,012 W/kg, valeur qui correspond à 3 % de 0,4 W/kg, pour fournir un rapport signal-bruit suffisant pour satisfaire à la plage dynamique basse de 100 mW/kg spécifiée dans cette pratique recommandée. L'incertitude du DAS doit être entrée dans la ligne correspondante du Tableau 5 pour les effets de champs ambiants (voir par exemple [32]) et une distribution de probabilité rectangulaire peut être supposée.

Lorsque les mesures du DAS sont effectuées dans un environnement contrôlé tel qu'une chambre anéchoïque, il convient d'évaluer les effets RF ambiants au moins une fois par an. Lorsque les mesures du DAS ne sont pas effectuées dans un environnement contrôlé, les effets RF ambiants doivent être évalués périodiquement, tous les quatre mois par exemple, ou lorsque les changements apportés aux conditions RF ambiantes assurant que toute source de sortie élevée non périodique proche, par exemple les talkies-walkies, sont présentes dans l'environnement non contrôlé pendant les mesures du DAS. Dans le cas d'un environnement non contrôlé, le laboratoire doit déclarer dans le rapport de mesure la conformité ambiante RF et la date de contrôle du bruit électromagnétique.

L'évaluation du contrôle RF dans un environnement non contrôlé est justifiée par le fait qu'il n'y a aucune raison d'évaluer cette contribution à l'incertitude avant toute mesure du DAS s'il est possible de démontrer que les sources RF sont suffisamment éloignées de l'emplacement du système de mesure du DAS, même si ce système est placé dans un environnement non contrôlé, étant donné la nature de champ proche de la mesure du DAS. La justification des intervalles d'étalonnage décrits dans l'ISO 10012:2003 est recommandée pour évaluer la périodicité de l'évaluation des effets RF ambiants sur les mesures du DAS.

## **7.2.5 Contribution du post-traitement des données**

### **7.2.5.1 Généralités**

Le présent article décrit l'estimation de l'incertitude résultant du post-traitement des données discrètes mesurées pour déterminer le DAS crête spatial moyen sur 1 g et 10 g, c'est-à-dire l'incertitude combinée provenant des algorithmes d'interpolation, d'extrapolation, d'intégration et de recherche des maxima. Ces algorithmes peuvent ajouter une incertitude due aux hypothèses générales au sujet du comportement des champs et donc ne peuvent pas prédire parfaitement la distribution de champ électrique dans le liquide équivalent aux tissus pour un DUT spécifique. L'incertitude d'algorithme est fonction de la résolution choisie pour la mesure et des méthodes de post-traitement de données utilisées dans les balayages de zone et les balayages-zoom.

La distribution réelle du DAS à la position de crête est fortement dépendante des fréquences de fonctionnement et de la conception du DUT, de la position d'essai et de la proximité du liquide équivalent aux tissus. Des distributions de DAS peuvent avoir un gradient quasi nul quand une source de basse fréquence est située assez loin, ou avoir un gradient très abrupt si une petite source de haute fréquence telle qu'une antenne hélicoïdale est placée à proximité du tissu. Dans certains cas, le DAS maximal n'est pas à la surface du fantôme du fait de l'annulation des champs magnétiques à la surface.

Les fonctions analytiques de la distribution de DAS présentées ci-dessous sont destinées à simuler ces conditions et ont été développées pour cette estimation d'incertitude. Ces fonctions de référence sont utilisées pour créer un ensemble de données DAS artificielles ou

fictives pour soumettre à essai les routines du logiciel du système de traitement de données. Les valeurs des fonctions de référence calculées pour une grille à grosse maille et une grille à maille fine - les mêmes que celles utilisées lors des mesures - sont des entrées pour le logiciel du système DAS. Les valeurs DAS aux points de la grille correspondant aux grilles de mesure des balayages de zone et aux balayages-zoom sont calculées en accord avec les trois distributions de DAS données en 7.2.5.2 et traitées par les algorithmes d'interpolation, d'extrapolation et d'intégration comme s'il s'agissait de mesures réelles. Les valeurs résultantes de DAS sur 1 g et sur 10 g sont comparées aux valeurs de DAS de référence énumérées en 7.2.5.2. Des procédures pour évaluer l'incertitude du DAS des algorithmes de post-traitement de données du balayage de zone et du balayage-zoom sont décrites en 7.2.5.3. Les fonctions d'essai supposent une interface plane entre le liquide équivalent aux tissus et le fantôme. Ce concept d'incertitude suppose qu'il n'y a pas d'erreur dans la position des points de la grille calculée avec les fonctions analytiques de distribution, et le positionnement de la sonde et les incertitudes de mesures ne sont pas incluses.

L'incertitude du post-traitement doit être estimée en utilisant une probabilité rectangulaire.

### 7.2.5.2 Fonctions d'essai d'évaluation

Trois fonctions analytiques,  $f_1$ ,  $f_2$  et  $f_3$ , [82] sont utilisées pour représenter l'étendue possible des distributions de DAS attendues pour les DUT soumis aux essais selon les procédures décrites dans ce document. Pour la gamme de fréquences de 30 MHz à 3 000 MHz, la fonction  $f_1$  est basée sur l'évaluation des empreintes du DAS des appareils sans fil réels [18]. Deux ensembles de paramètres sont donnés pour  $f_1$  de façon à pouvoir évaluer les distributions de DAS avec un maximum simple ou double. La fonction  $f_2$  est utilisée pour prendre en compte les conditions d'exposition avec l'annulation du champ  $H$  à la surface fantôme/liquide équivalent aux tissus. Pour la gamme de fréquences au-dessus de 3 GHz,  $f_3$  est ajouté pour tenir compte de l'atténuation beaucoup plus forte. Puisque le bruit peut affecter l'extrapolation à ces fréquences, un terme de bruit est inclus. Les fonctions de distribution sont définies pour la surface du fantôme, à  $z = 0$  et la moitié de l'espace du liquide équivalent aux tissus est définie pour tout  $z > 0$ .

$$f_1(x, y, z) = A_1 e^{-\left(\frac{(x'+x_d/2)^2}{2\sigma_{xcrête}^2}\right)} e^{-y'^2/2\sigma_{ycrête}^2} e^{-z/a} + A_2 e^{-\left(\frac{(x'-x_d/2)^2}{2\sigma_{xsec}^2}\right)} e^{-y'^2/2\sigma_{ysec}^2} e^{-z/a}$$

où

$$\sigma_{xcrête} = \begin{cases} \sigma_{xpp}, x' \geq -x_d/2 \\ \sigma_{xpn}, x' < -x_d/2 \end{cases}, \quad \sigma_{ycrête} = \begin{cases} \sigma_{ypp}, y' \geq 0 \\ \sigma_{ypn}, y' < 0 \end{cases},$$

$$\sigma_{xsec} = \begin{cases} \sigma_{xsp}, x' \geq x_d/2 \\ \sigma_{xsn}, x' < x_d/2 \end{cases}, \quad \sigma_{ysec} = \begin{cases} \sigma_{ysp}, y' \geq 0 \\ \sigma_{ysn}, y' < 0 \end{cases}$$

$$f_2(x, y, z) = A e^{-\frac{z}{a}} \frac{a^2}{a^2 + x'^2} \left( 3 - e^{-\frac{2z}{a}} \right) \cos^2\left(\frac{\pi}{2} \frac{y'}{3a}\right)$$

$$f_3(x, y, z) = A \left[ e^{-\frac{-(x'^2 + y'^2)}{(a/4)^2}} \left( e^{-\frac{8z}{a}} \right) + 0,4 \times \left[ \frac{N_{rms}}{A} \times rnd(\zeta) \right] \right]$$

où

$x$ ,  $y$  et  $z$  sont les coordonnées spatiales (en mm);

$x' = x + d$  (en mm);

- $y' =$   $y + d$  (en mm);  
 $x_d =$  distance de séparation entre les valeurs maximales de DAS, pour le cas à deux crêtes; voir Tableau 3.  
 $d =$  paramètre de décalage (en mm);  
 $a =$  20 mm;  
 $A =$  1 W/kg  
 $N_{rms}$  est l'intensité du bruit du système en W/kg dans le liquide en l'absence de signal RF. Ce paramètre dépend du système et correspond au bruit mesuré à l'intérieur du liquide en l'absence de signal RF conformément au 7.2.4.5. Pour l'évaluation de la fonction de référence  $f_3$ , il convient d'utiliser une valeur de 0,1 W/kg pour  $N_{rms}$ .  
 $rnd(\zeta)$  est une fonction qui retourne des nombres aléatoires distribués normalement avec un écart type de 1. Des fonctions appropriées sont disponibles dans les applications mathématiques types. La variable  $\zeta$  est une graine arbitraire. La fonction  $rnd(\zeta)$  doit être évaluée pour chaque point de la grille de mesure.

Les paramètres  $a$  et  $A$  indiqués ci-dessus n'ont aucune signification physique autre que pour la génération de distributions appropriées de DAS.

Les paramètres de la fonction  $f_1$  ont été sélectionnés sur les évaluations des différents combinés à 1 950 MHz. Ils sont indiqués dans le Tableau 3.

**Tableau 3 – Paramètres pour la fonction de référence  $f_1$**

| Nbre de crêtes | $A_1$<br>W/kg | $A_2$<br>W/kg | $a$<br>mm | $x_d$<br>mm | $\sigma_{xpp}$<br>mm | $\sigma_{ypp}$<br>mm | $\sigma_{xsp}$<br>mm | $\sigma_{ysp}$<br>mm | $\sigma_{xpn}$<br>mm | $\sigma_{ypn}$<br>mm | $\sigma_{xsn}$<br>mm | $\sigma_{ysn}$<br>mm |
|----------------|---------------|---------------|-----------|-------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1              | 1,2           | 0,0           | 11,9      | n. a.       | 19,6                 | 15,5                 | n. a.                | n. a.                | 21,9                 | 17,2                 | n.a.                 | n.a.                 |
| 2              | 1,2           | 1,0           | 11,9      | 60,47       | 22,6                 | 19,7                 | 19,4                 | 19,6                 | 22,0                 | 15,5                 | 17,9                 | 24,2                 |

Une valeur de  $d = 2,5$  mm, par exemple, fournit une dérive latérale de la distribution de DAS telle que la position de la crête n'est pas alignée avec la grille de mesure ayant un incrément de 5 mm. Ce décalage est utilisé pour soumettre à essai des routines de logiciel de recherche de crête et d'incertitude.

Les valeurs de référence du DAS des fonctions de distribution  $f_1$ ,  $f_2$ , et  $f_3$  pour des cubes 1 g et 10 g alignés avec les axes de coordonnées ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) sont données dans le Tableau 4. Lorsque la fonction  $f_1$  est prise en compte, l'écart maximal par rapport aux valeurs de référence obtenu en considérant les cas à une et deux crêtes, doit être pris en compte pour les calculs d'incertitude du post-traitement. Les valeurs de référence sont utilisées dans les paragraphes suivants pour soumettre à essai d'autres fonctions de traitement de données.

**Tableau 4 – Valeurs de référence de DAS en watts par kilogramme utilisées pour estimer les incertitudes de post-traitement**

|          | Valeur DAS de référence<br>W/kg |           |                                                  |
|----------|---------------------------------|-----------|--------------------------------------------------|
| Fonction | cube 1 g                        | cube 10 g | Cas de crête                                     |
| $f_1$    | 0,791                           | 0,494     | Une crête                                        |
| $f_1$    | 0,796                           | 0,503     | Deux crêtes, cube centré sur la crête principale |
| $f_1$    | 0,686                           | 0,438     | Deux crêtes, cube centré sur la crête secondaire |
| $f_2$    | 1,796                           | 1,375     |                                                  |
| $f_3$    | 0,157                           | 0,026 8   |                                                  |

### 7.2.5.3 Évaluations des incertitudes des algorithmes de post-traitement de données

#### 7.2.5.3.1 Évaluation du balayage de zone à grosse maille

Une condition préalable à l'évaluation du DAS crête spatial moyen avec une incertitude donnée est que la position de l'exposition maximale peut être déterminée à partir des données du balayage de zone avec une précision telle que le DAS crête spatial moyen est entièrement situé dans le volume de balayage-zoom. En d'autres termes, il convient que les algorithmes d'interpolation de zone du balayage de zone soient capables de situer les positions des DAS crête avec une précision de  $\pm L_z/2$  mm ou mieux, où  $L_z$  est la longueur du côté du volume de balayage-zoom. Si cette condition préalable est satisfaite, ce qui est contrôlé avec les procédures spécifiées dans le présent paragraphe, l'évaluation de la zone de balayage ne contribue pas au bilan d'incertitude.

Les valeurs des fonctions de référence calculées pour les points d'une grille de balayage de zone usuelle sont entrées dans le logiciel du système. L'algorithme d'interpolation traite ces données comme si elles résultaient de mesures pour compléter le balayage de zone et déterminer la position du DAS crête ( $x_{eval}$ ,  $y_{eval}$ ). Cette dernière est comparée avec la position réelle de crête définie par les fonctions analytiques à ( $x_{eval}$ ,  $y_{eval}$ ) = (-2,5, -2,5) mm, quand  $d = 2,5$  mm. Les indices «eval» et «ref» font référence respectivement à «évalué» et «référence». En d'autres termes, les inégalités suivantes doivent être satisfaites:

$$|x_{ref} - x_{eval}| \leq L_z/2 \text{ mm}$$

$$|y_{ref} - y_{eval}| \leq L_z/2 \text{ mm}$$

La capacité du balayage de zone à deux dimensions à localiser avec précision le DAS crête dépend de la résolution spatiale ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ) de la grille de balayage de zone, de la résolution spatiale ( $\Delta x_i$ ,  $\Delta y_i$ ) des valeurs interpolées et du type de fonctions d'interpolation [ $g_i(x)$ ,  $g_i(y)$ ] utilisé. Elle dépend également de la position de la grille d'évaluation par rapport à la position réelle de la crête ( $x_{ref}$ ,  $y_{ref}$ ) et du nombre de points d'évaluation utilisés ( $N_x$ ,  $N_y$ ).

Il convient d'utiliser la procédure suivante pour évaluer l'incertitude des algorithmes d'interpolation utilisés dans le balayage de zone pour déterminer la position du DAS crête:

- Choisir la résolution de mesure ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ), et le nombre de points d'évaluation ( $N_x$ ,  $N_y$ ) (correspondant aux mesures). Il convient d'établir le centre de la zone de balayage à ( $x_0$ ,  $y_0$ ) = (0, 0).
- Les valeurs de DAS sont calculées en utilisant les fonctions  $f_1$ ,  $f_2$  et  $f_3$  aux points de la grille d'évaluation dans les plages:

$$x_0 - \Delta x \times [(N_x - 1)/2] \leq x \leq x_0 + \Delta x \times [(N_x - 1)/2],$$

$$y_0 - \Delta y \times [(N_y - 1)/2] \leq y \leq y_0 + \Delta y \times [(N_y - 1)/2],$$

où  $N_x$  et  $N_y$  sont supposés être des nombres entiers impairs. Une valeur de  $z = 0$  est supposée puisque la position de la crête est indépendante de  $z$  pour ces trois fonctions.

- Les valeurs calculées de DAS par ces trois fonctions de distribution sont interpolées par le système de mesure du DAS avec une résolution spatiale de ( $\Delta x_i$ ,  $\Delta y_i$ ) selon les fonctions d'interpolation [ $g_i(x)$ ,  $g_i(y)$ ] utilisées par le système pour déterminer la position du DAS crête ( $x_{eval}$ ,  $y_{eval}$ ). Si le système de mesure ne permet pas d'introduire des valeurs de DAS pour effectuer l'évaluation, il convient d'appliquer indépendamment le même algorithme par d'autres moyens pour déterminer les incertitudes de l'interpolation et de la recherche de la crête.
- Il convient que la position du DAS crête déterminée par les algorithmes d'interpolation satisfasse aux exigences des inégalités

$$|x_{ref} - x_{eval}| \leq L_z/2 \text{ mm}$$

$$|y_{ref} - y_{eval}| \leq L_z/2 \text{ mm}.$$

Sinon, il convient que les systèmes de mesure et de post-traitement de données utilisent des grilles de plus fine résolution et/ou un plus grand nombre de points d'interpolation pour répéter l'évaluation à partir de l'étape b).

- e) Il convient que le centre de la zone de balayage ( $x_0, y_0$ ) soit déplacé par intervalles de 1 mm dans la plage  $0 < x_0 \leq \Delta x/2$  et  $0 < y_0 \leq \Delta y/2$  pour répéter l'évaluation à partir de l'étape b) et cela pour chaque déplacement ( $x_0, y_0$ ) dans ces plages.

### 7.2.5.3.2 Évaluation du balayage-zoom

Le balayage-zoom est évalué en comparant les valeurs les plus élevées de DAS sur 1 g ou sur 10 g avec les valeurs de DAS de référence données en 7.2.5.2. En utilisant la procédure de balayage de zone donnée en 7.2.5.3.1, la vraie position ( $x_{\text{ref}}, y_{\text{ref}}$ ) de la crête est déplacée de la position estimée ( $x_{\text{eval}}, y_{\text{eval}}$ ) d'une valeur égale à la quantité donnée par les inégalités:

$$|x_{\text{ref}} - x_{\text{eval}}| \leq L_z/2 \text{ mm}$$

$$|y_{\text{ref}} - y_{\text{eval}}| \leq L_z/2 \text{ mm}$$

Ce déplacement est pris en compte pour les fonctions de référence  $f_1, f_2$ , et  $f_3$ , définies en 7.2.5.2 en introduisant la distance  $d$ . Puisqu'en pratique ce déplacement variera, il convient de faire varier la valeur de  $d$  sur la plage:

$$|d| \leq (L_z - L_c)/2$$

où  $L_c$  est la longueur du côté du cube (10 mm pour 1 g, 21,5 mm pour 10 g). Pour chaque distance  $d$ , l'incertitude maximale produite par chacune des trois fonctions est enregistrée. La valeur quadratique des plus grandes valeurs d'incertitude pour plusieurs distances  $d$  est entrée comme étant l'incertitude due à l'extrapolation, à l'interpolation et à l'intégration.

NOTE Bien que l'exigence soit, pour le balayage de zone, que le DAS crête local soit situé dans la plage  $|d| \leq L_z/2$ , une plus petite plage de  $|d| \leq (L_z - L_c)/2$  est utilisée ici pour garantir que le cube 1 g ou 10 g pourra être calculé dès la première tentative. Pour les valeurs de  $(L_z - L_c)/2 < |d| \leq L_z/2$ , il convient que le logiciel de mesure avertisse que le cube 1 g ou 10 g n'est pas saisi et il convient de refaire la mesure. Ceci n'affecte pas l'incertitude et il n'est donc pas nécessaire de considérer ce cas ici.

- a) Choisir un déplacement  $d$  pour l'évaluation des fonctions  $f_1, f_2$  et  $f_3$ . Il convient que  $d$  varie de  $-(L_z - L_c)/2$  à  $+(L_z - L_c)/2$  par petits incréments (par exemple, des pas de 1 mm). Il convient aussi qu'il varie indépendamment dans les directions  $x$  et  $y$ .
- b) Les valeurs de DAS sont calculées selon les fonctions  $f_1, f_2$  et  $f_3$ , aux points de la grille d'évaluation qui correspondent aux points de mesure de balayage-zoom du volume. Il convient que le centre du volume du balayage-zoom soit positionné comme suit:

$$(x, y, z) = (0, 0, L_h/2 + z_d)$$

où

$L_h$  est la hauteur du volume de balayage-zoom, et

$z_d$  est le point de mesure le plus proche de la surface interne.

- c) Les valeurs de DAS calculées sont extrapolées à la surface du fantôme, à  $z = 0$ , par le logiciel du système, pour obtenir les points supplémentaires, dans le volume de balayage-zoom, qui ne peuvent être mesurés à cause des contraintes de la sonde. Les points de données calculés et ceux extrapolés sont alors interpolés par le logiciel du système pour obtenir une meilleure résolution, par l'application des algorithmes d'intégration et de l'algorithme de recherche pour trouver le DAS crête spatial moyen à l'intérieur du volume de balayage-zoom, pour déterminer le DAS sur 1 g ou sur 10 g le plus élevé. D'autres procédures sont possibles. Si le système de mesure ne permet pas d'introduire des valeurs de DAS pour effectuer l'évaluation, il convient que le même algorithme soit appliqué indépendamment par d'autres moyens pour tester les algorithmes d'extrapolation, d'interpolation et d'intégration.
- d) Les valeurs DAS ( $\text{DAS}_{\text{eval}}$ ) sur 1 g et sur 10 g déterminées par le système ou le logiciel de traitement de données sont comparées aux valeurs DAS de référence données en 7.2.5.2. L'écart type dû au bruit aléatoire ( $\text{DAS}_{\text{ectype}} (N_{\text{rms}})$ ) est déterminé en évaluant  $f_3$

au moins 100 fois, chacune de ces 100 évaluations ou plus utilisant des paramètres de bruit aléatoire différents. L'incertitude du DAS pour les fonctions de distribution  $f_1$  et  $f_2$  est calculée en utilisant l'équation:

$$\text{DAS}_{\text{incertitude}} [\%] = 100 \times \left| \frac{\text{DAS}_{\text{eval}} - \text{DAS}_{\text{ref}}}{\text{DAS}_{\text{ref}}} \right|$$

L'incertitude du DAS pour chaque fonction de distribution  $f_3$  est calculée en utilisant l'équation:

$$\text{DAS}_{\text{incertitude}} [\%] = 100 \times \left| \frac{\text{DAS}_{\text{eval}} - \text{DAS}_{\text{ref}}}{\text{DAS}_{\text{ref}}} \right| + 100\sqrt{3} \times \left| \frac{\text{DAS}_{\text{ectype}}(N_{\text{rms}})}{\text{DAS}_{\text{ectype}}} \right|$$

- e) L'incertitude de DAS la plus élevée, estimée par chacune des trois fonctions de distribution est enregistrée.
- f) Répéter les étapes b) à d) pour d'autres valeurs de déplacement  $d$ .
- g) Calculer les valeurs quadratiques des incertitudes calculées à l'étape d) pour chaque déplacement  $d$  ci-dessus. Il convient d'entrer cette valeur comme étant l'incertitude due à l'extrapolation, à l'interpolation et à l'intégration dans les lignes et colonnes correspondantes du Tableau 5, en faisant l'hypothèse d'une distribution de probabilité rectangulaire.
- h) Enregistrer les paramètres suivants utilisés pour estimer l'incertitude du balayage-zoom:
  - la dimension de la grille utilisée pour échantillonner les fonctions de référence à la fois en termes de nombre de points et en termes d'échantillons dans les trois dimensions;
  - le nombre de points d'interpolation inclus entre deux points d'essai, ou la résolution de l'interpolation dans les trois directions, pour les fonctions de référence;
  - la dimension  $d_{\text{be}}$  de la région d'extrapolation, c'est-à-dire la distance entre la position des capteurs de la sonde au premier point de mesure et la surface du fantôme (le point de mesure est en arrière de l'extrémité de la sonde);
  - les algorithmes d'interpolation, d'extrapolation et d'intégration utilisés.

Les conditions de calcul (telles que le nombre de points de la grille, les incréments de grille et le nombre de points d'interpolation dans les trois directions) doivent être les mêmes pour toutes les fonctions.

## 7.2.6 Tolérance et décalage par rapport à la source normalisée

Pour la validation du système, les tolérances mécaniques et électriques de la source normalisée influencent les valeurs résultantes de DAS crête spatial, par exemple une impédance au point d'alimentation et une distribution de courant différentes selon la distance, l'enveloppe du fantôme, le liquide, etc. La construction physique réelle s'écarte également du modèle numérique sur lequel se fondent les valeurs cibles. L'incertitude et le décalage résultants peuvent être déterminés par des évaluations de type A ou de type B. Les évaluations de type A portent sur des liquides, des sondes et des fantômes différents. Dans les évaluations de type B, il est nécessaire d'évaluer expérimentalement ou numériquement tous les paramètres.

## 7.3 Estimation de l'incertitude

### 7.3.1 Incertitudes composées et élargies

Les contributions de chaque composante de l'incertitude doivent être enregistrées avec description, distribution de probabilité, coefficient de sensibilité et valeur de l'incertitude. Un format de tableau recommandé est illustré au Tableau 5. L'incertitude-type composée  $u_c$  doit être estimée selon la formule suivante:

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^m c_i^2 \times u_i^2}$$

où

- $c_i$  est le coefficient de sensibilité;
- $u_c$  est l'incertitude-type composée;
- $u_i$  est l'incertitude-type.

L'incertitude élargie  $U$  doit être estimée en utilisant un intervalle de confiance de 95 %.

### 7.3.2 Incertitude élargie maximale

L'incertitude élargie avec un intervalle de confiance de 95 % ne doit pas excéder 30 % pour les valeurs de DAS crête spatial moyen, dans la gamme de 0,4 W/kg à 10 W/kg. Si l'incertitude est supérieure à 30 %, les données rapportées peuvent nécessiter de prendre en compte la différence de pourcentage entre l'incertitude réelle et la valeur cible de 30 %; par exemple, voir la méthode de la CEI 62311 [30].

**Tableau 5 – Modèle d'évaluation de l'incertitude de mesure pour l'essai du DAS du DUT**

| <i>A</i>                                                                                  | <i>b</i>    | <i>c</i>                                | <i>D</i>                    | $\frac{e}{f(d,k)}$ | <i>f</i>       | <i>g</i>        | $h = c \times f / e$            | $i = c \times g / e$             | <i>k</i>                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------|-----------------------------|--------------------|----------------|-----------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| Source d'incertitude                                                                      | Description | Valeur de tolérance/ incertitude<br>± % | Distribution de probabilité | Div.               | $c_i$<br>(1 g) | $c_i$<br>(10 g) | Incertitude -type<br>± %, (1 g) | Incertitude -type<br>± %, (10 g) | $v_i$<br>ou<br>$v_{eff}$ |
| <b>Système de mesure</b>                                                                  |             |                                         |                             |                    |                |                 |                                 |                                  |                          |
| Étalonnage de la sonde                                                                    | 7.2.2.1     |                                         | N                           | 1                  | 1              | 1               |                                 |                                  | ∞                        |
| Isotropie                                                                                 | 7.2.2.2     |                                         | R                           | √3                 | 1              | 1               |                                 |                                  | ∞                        |
| Linéarité                                                                                 | 7.2.2.3     |                                         | R                           | √3                 | 1              | 1               |                                 |                                  | ∞                        |
| Réponse en modulation de la sonde                                                         | 7.2.2.4     |                                         | R                           | √3                 | 1              | 1               |                                 |                                  | ∞                        |
| Limites de détection                                                                      | 7.2.2.5     |                                         | R                           | √3                 | 1              | 1               |                                 |                                  | ∞                        |
| Effet de bord                                                                             | 7.2.2.6     |                                         | R                           | √3                 | 1              | 1               |                                 |                                  | ∞                        |
| Lectures électroniques                                                                    | 7.2.2.7     |                                         | N                           | 1                  | 1              | 1               |                                 |                                  | ∞                        |
| Temps de réponse                                                                          | 7.2.2.8     |                                         | R                           | √3                 | 1              | 1               |                                 |                                  | ∞                        |
| Temps d'intégration                                                                       | 7.2.2.9     |                                         | R                           | √3                 | 1              | 1               |                                 |                                  | ∞                        |
| Conditions RF ambiantes — bruit                                                           | 7.2.4.5     |                                         | R                           | √3                 | 1              | 1               |                                 |                                  | ∞                        |
| Conditions RF ambiantes — réflexions                                                      | 7.2.4.5     |                                         | R                           | √3                 | 1              | 1               |                                 |                                  | ∞                        |
| Restrictions mécaniques au positionnement de la sonde                                     | 7.2.3.1     |                                         | R                           | √3                 | 1              | 1               |                                 |                                  | ∞                        |
| Positionnement de la sonde par rapport à l'enveloppe du fantôme                           | 7.2.3.3     |                                         | R                           | √3                 | 1              | 1               |                                 |                                  | ∞                        |
| Traitement de données                                                                     | 7.2.5       |                                         | R                           | √3                 | 1              | 1               |                                 |                                  | ∞                        |
| <b>Échantillon en essai</b>                                                               |             |                                         |                             |                    |                |                 |                                 |                                  |                          |
| Incertitude du support d'appareil                                                         | 7.2.3.4.2   |                                         | N                           | 1                  | 1              | 1               |                                 |                                  | <i>M</i> -1              |
| Position de l'échantillon                                                                 | 7.2.3.4.3   |                                         | N                           | 1                  | 1              | 1               |                                 |                                  | <i>M</i> -1              |
| Mise à l'échelle de la puissance                                                          | L.3         |                                         | R                           | √3                 | 1              | 1               |                                 |                                  | ∞                        |
| Dérive de la puissance de sortie (dérive de DAS mesurée)                                  | 7.2.2.10    |                                         | R                           | √3                 | 1              | 1               |                                 |                                  | ∞                        |
| <b>Fantôme et montage</b>                                                                 |             |                                         |                             |                    |                |                 |                                 |                                  |                          |
| Incertitude du fantôme (tolérances des formes et d'épaisseur)                             | 7.2.3.2     |                                         | R                           | √3                 | 1              | 1               |                                 |                                  | ∞                        |
| Algorithme de correction du DAS par rapport aux écarts de permittivité et de conductivité | 7.2.4.3     | 1,9                                     | N                           | 1                  | 1              | 0,84            | 1,9                             | 1,6                              | ∞                        |
| Conductivité du liquide (mesure)                                                          | 7.2.4.3     |                                         | N                           | 1                  | 0,78           | 0,71            |                                 |                                  | <i>M</i> -1              |
| Permittivité du liquide (mesure)                                                          | 7.2.4.3     |                                         | N                           | 1                  | 0,23           | 0,26            |                                 |                                  | <i>M</i>                 |
| Permittivité du liquide — incertitude de température                                      | 7.2.4.4     |                                         | R                           | √3                 | 0,78           | 0,71            |                                 |                                  | ∞                        |

| <i>A</i>                                                 | <i>b</i>    | <i>c</i>                                | <i>D</i>                    | $e = f(d, k)$ | <i>f</i>       | <i>g</i>        | $h = c \times f / e$           | $i = c \times g / e$            | <i>k</i>                            |
|----------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------|-----------------------------|---------------|----------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| Source d'incertitude                                     | Description | Valeur de tolérance/ incertitude<br>± % | Distribution de probabilité | Div.          | $c_i$<br>(1 g) | $c_i$<br>(10 g) | Incertitude-type<br>± %, (1 g) | Incertitude-type<br>± %, (10 g) | $\nu_i$<br>ou<br>$\nu_{\text{eff}}$ |
| Conductivité du liquide<br>— incertitude de température  | 7.2.4.4     |                                         | R                           | $\sqrt{3}$    | 0,23           | 0,26            |                                |                                 | $\infty$                            |
| Incertitude-type composée                                | 7.3.1       |                                         | RSS                         |               |                |                 |                                |                                 |                                     |
| Incertitude élargie<br>(intervalle de confiance de 95 %) | 7.3.2       |                                         |                             |               |                |                 |                                |                                 |                                     |

**Tableau 6 – Modèle d'évaluation de l'incertitude  
de mesure pour la validation du système**

| <i>A</i>                                                                                  | <i>b</i>    | <i>c</i>                                | <i>D</i>                    | $e = f(d,k)$ | <i>f</i>       | <i>g</i>        | $h = c \times f / e$           | $i = c \times g / e$            | <i>k</i>                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------|-----------------------------|--------------|----------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Source d'incertitude                                                                      | Description | Valeur de tolérance/ incertitude<br>± % | Distribution de probabilité | Div.         | $c_i$<br>(1 g) | $c_i$<br>(10 g) | Incrtitude -type<br>± %, (1 g) | Incrtitude -type<br>± %, (10 g) | $v_i$<br>ou<br>$v_{eff}$ |
| <b>Système de mesure</b>                                                                  |             |                                         |                             |              |                |                 |                                |                                 |                          |
| Étalonnage de la sonde                                                                    | 7.2.2.1     |                                         | N                           | 1            | 1              | 1               |                                |                                 | ∞                        |
| Isotropie                                                                                 | 7.2.2.2     |                                         | R                           | √3           | 1              | 1               |                                |                                 | ∞                        |
| Linéarité                                                                                 | 7.2.2.3     |                                         | R                           | √3           | 1              | 1               |                                |                                 | ∞                        |
| Réponse en modulation                                                                     | 7.2.2.4     |                                         | R                           | √3           | 1              | 1               |                                |                                 | ∞                        |
| Limites de détection                                                                      | 7.2.2.5     |                                         | R                           | √3           | 1              | 1               |                                |                                 | ∞                        |
| Effet de bord                                                                             | 7.2.2.6     |                                         | R                           | √3           | 1              | 1               |                                |                                 | ∞                        |
| Lectures électroniques                                                                    | 7.2.2.7     |                                         | N                           | 1            | 1              | 1               |                                |                                 | ∞                        |
| Temps de réponse                                                                          | 7.2.2.8     |                                         | R                           | √3           | 1              | 1               |                                |                                 | ∞                        |
| Temps d'intégration                                                                       | 7.2.2.9     |                                         | R                           | √3           | 1              | 1               |                                |                                 | ∞                        |
| Conditions RF ambiantes — bruit                                                           | 7.2.4.5     |                                         | R                           | √3           | 1              | 1               |                                |                                 | ∞                        |
| Conditions RF ambiantes — réflexions                                                      | 7.2.4.5     |                                         | R                           | √3           | 1              | 1               |                                |                                 | ∞                        |
| Restrictions mécaniques au positionnement de la sonde                                     | 7.2.3.1     |                                         | R                           | √3           | 1              | 1               |                                |                                 | ∞                        |
| Positionnement de la sonde par rapport à l'enveloppe du fantôme                           | 7.2.3.3     |                                         | R                           | √3           | 1              | 1               |                                |                                 | ∞                        |
| Traitement de données                                                                     | 7.2.5       |                                         | R                           | √3           | 1              | 1               |                                |                                 | ∞                        |
| <b>Source de champ</b>                                                                    |             |                                         |                             |              |                |                 |                                |                                 |                          |
| Écart de la source expérimentale par rapport à la source numérique                        | 7.2.6       |                                         | N                           | 1            | 1              | 1               |                                |                                 | ∞                        |
| Distance de la source au liquide                                                          | 7.2.3.4.3   |                                         | R                           | √3           | 1              | 1               |                                |                                 | ∞                        |
| Dérive de la puissance de sortie (dérive de DAS mesurée)                                  | 7.2.2.10    |                                         | R                           | √3           | 1              | 1               |                                |                                 | ∞                        |
| <b>Fantôme et montage</b>                                                                 |             |                                         |                             |              |                |                 |                                |                                 |                          |
| Incrtitude du fantôme (tolérances des formes et d'épaisseur)                              | 7.2.3.2     |                                         | R                           | √3           | 1              | 1               |                                |                                 | ∞                        |
| Algorithme de correction du DAS par rapport aux écarts de permittivité et de conductivité | 7.2.4.3     |                                         | N                           | 1            | 1              | 0,84            |                                |                                 | ∞                        |
| Conductivité du liquide (mesure)                                                          | 7.2.4.3     |                                         | N                           | 1            | 0,78           | 0,21            |                                |                                 | <i>M</i>                 |
| Permittivité du liquide (mesure)                                                          | 7.2.4.3     |                                         | N                           | 1            | 0,23           | 0,26            |                                |                                 | <i>M</i>                 |
| Conductivité du liquide — incrtitude de température                                       | 7.2.4.4     |                                         | R                           | √3           | 0,78           | 0,71            |                                |                                 | ∞                        |

| <i>A</i>                                              | <i>b</i>    | <i>c</i>                                | <i>D</i>                    | $e = f(d, k)$ | <i>f</i>                      | <i>g</i>                       | $h = c \times f / e$           | $i = c \times g / e$            | <i>k</i>                                             |
|-------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------|-----------------------------|---------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------|
| Source d'incertitude                                  | Description | Valeur de tolérance/ incertitude<br>± % | Distribution de probabilité | Div.          | <i>c<sub>i</sub></i><br>(1 g) | <i>c<sub>i</sub></i><br>(10 g) | Incertitude-type<br>± %, (1 g) | Incertitude-type<br>± %, (10 g) | <i>v<sub>i</sub></i><br>ou<br><i>v<sub>eff</sub></i> |
| Permittivité du liquide — incertitude de température  | 7.2.4.4     |                                         | R                           | √3            | 0,23                          | 0,26                           |                                |                                 | ∞                                                    |
| Incertitude-type composée                             | 7.3.1       |                                         | RSS                         |               |                               |                                |                                |                                 |                                                      |
| Incertitude élargie (intervalle de confiance de 95 %) | 7.3.2       |                                         |                             |               |                               |                                |                                |                                 |                                                      |

**Tableau 7 – Modèle d'évaluation de l'incertitude de mesure  
pour la reproductibilité du système**

| <i>A</i>                                                                                  | <i>b</i>    | <i>c</i>                                | <i>D</i>                    | $e = f(d,k)$ | <i>f</i>       | <i>g</i>        | $h = c \times f / e$              | $i = c \times g / e$               | <i>k</i>                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------|-----------------------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| Source d'incertitude                                                                      | Description | Valeur de tolérance/ incertitude<br>± % | Distribution de probabilité | Div.         | $c_i$<br>(1 g) | $c_i$<br>(10 g) | Incertain-<br>-type<br>± %, (1 g) | Incertain-<br>-type<br>± %, (10 g) | $v_i$<br>ou<br>$v_{eff}$ |
| <b>Système de mesure</b>                                                                  |             |                                         |                             |              |                |                 |                                   |                                    |                          |
| Réponse en modulation                                                                     | 7.2.2.4     |                                         | R                           | √3           | 0              | 0               |                                   |                                    | ∞                        |
| Limites de détection                                                                      | 7.2.2.5     |                                         | R                           | √3           | 0              | 0               |                                   |                                    | ∞                        |
| Effet de bord                                                                             | 7.2.2.6     |                                         | R                           | √3           | 0              | 0               |                                   |                                    | ∞                        |
| Lectures électroniques                                                                    | 7.2.2.7     |                                         | N                           | 1            | 0              | 0               |                                   |                                    | ∞                        |
| Temps de réponse                                                                          | 7.2.2.8     |                                         | R                           | √3           | 0              | 0               |                                   |                                    | ∞                        |
| Temps d'intégration                                                                       | 7.2.2.9     |                                         | R                           | √3           | 0              | 0               |                                   |                                    | ∞                        |
| Conditions RF ambiantes — bruit                                                           | 7.2.4.5     |                                         | R                           | √3           | 0              | 0               |                                   |                                    | ∞                        |
| Conditions RF ambiantes — réflexions                                                      | 7.2.4.5     |                                         | R                           | √3           | 0              | 0               |                                   |                                    | ∞                        |
| Restrictions mécaniques au positionnement de la sonde                                     | 7.2.3.1     |                                         | R                           | √3           | 1              | 1               |                                   |                                    | ∞                        |
| Positionnement de la sonde par rapport à l'enveloppe du fantôme                           | 7.2.3.3     |                                         | R                           | √3           | 1              | 1               |                                   |                                    | ∞                        |
| Traitement de données                                                                     | 7.2.5       |                                         | R                           | √3           | 0              | 0               |                                   |                                    | ∞                        |
| <b>Source de champ</b>                                                                    |             |                                         |                             |              |                |                 |                                   |                                    |                          |
| Écart entre les sources expérimentales                                                    | 7.2.6       |                                         | N                           | 1            | 1              | 1               |                                   |                                    | ∞                        |
| Distance de la source au liquide                                                          | 7.2.3.4.3   |                                         | R                           | √3           | 1              | 1               |                                   |                                    | ∞                        |
| Dérive de la puissance de sortie (dérive de DAS mesurée)                                  | 7.2.2.10    |                                         | R                           | √3           | 1              | 1               |                                   |                                    | ∞                        |
| <b>Fantôme et montage</b>                                                                 |             |                                         |                             |              |                |                 |                                   |                                    |                          |
| Incertain-<br>-type du fantôme (tolérances des formes et d'épaisseur)                     | 7.2.3.2     |                                         | R                           | √3           | 1              | 1               |                                   |                                    | ∞                        |
| Algorithme de correction du DAS par rapport aux écarts de permittivité et de conductivité | 7.2.4.3     |                                         | N                           | 1            | 1              | 0,84            |                                   |                                    | ∞                        |
| Conductivité du liquide (mesure)                                                          | 7.2.4.3     |                                         | N                           | 1            | 0,78           | 0,71            |                                   |                                    | <i>M</i>                 |
| Permittivité du liquide (mesure)                                                          | 7.2.4.3     |                                         | N                           | 1            | 0,23           | 0,26            |                                   |                                    | <i>M</i>                 |
| Conductivité du liquide — incertain-<br>-type de température                              | 7.2.4.4     |                                         | R                           | √3           | 0,78           | 0,71            |                                   |                                    | ∞                        |
| Permittivité du liquide — incertain-<br>-type de température                              | 7.2.4.4     |                                         | R                           | √3           | 0,23           | 0,26            |                                   |                                    | ∞                        |
| Incertain-<br>-type composée                                                              | 7.3.1       |                                         | RSS                         |              |                |                 |                                   |                                    |                          |

| <i>A</i>                                              | <i>b</i>    | <i>c</i>                                     | <i>D</i>                    | $e = f(d, k)$ | <i>f</i>       | <i>g</i>        | $h = c \times f / e$                  | $i = c \times g / e$                   | <i>k</i>                     |
|-------------------------------------------------------|-------------|----------------------------------------------|-----------------------------|---------------|----------------|-----------------|---------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------|
| Source d'incertitude                                  | Description | Valeur de tolérance/ incertitude<br>$\pm \%$ | Distribution de probabilité | Div.          | $c_i$<br>(1 g) | $c_i$<br>(10 g) | Incertitude -type<br>$\pm \%$ , (1 g) | Incertitude -type<br>$\pm \%$ , (10 g) | $\nu_i$<br>ou<br>$\nu_{eff}$ |
| Incertitude élargie (intervalle de confiance de 95 %) | 7.3.2       |                                              |                             |               |                |                 |                                       |                                        |                              |

## Notes relatives aux Tableaux 5 à 7

NOTE 1 Les en-têtes de colonne *a* à *k* sont donnés pour référence.

NOTE 2 Abréviations utilisées dans le Tableau 5:

N, R, U – Distributions de probabilité normale, rectangulaire, en U

Div. – diviseur utilisé pour obtenir l'incertitude-type

NOTE 3 Les composantes de l'incertitude indiquées dans ce tableau sont fondées sur les procédures d'essai et les protocoles développés pour ce document. Lorsque les protocoles d'essai et les procédures varient, des composantes d'incertitudes différentes peuvent s'appliquer, par exemple des paramètres définis pour les essais applicables à d'autres configurations de fantôme et à d'autres positions de l'appareil.

NOTE 4 Le diviseur est une fonction de la distribution de probabilité et des degrés de liberté ( $\nu_i$  et  $\nu_{eff}$ ).

NOTE 5  $c_i$  est le coefficient de sensibilité qu'il convient d'appliquer pour convertir la variabilité de la composante d'incertitude en variabilité de DAS.

NOTE 6 Voir 7.1.3 pour les débats sur les degrés de liberté ( $\nu_i$ ) pour l'incertitude-type et les degrés de liberté effectifs ( $\nu_{eff}$ ) pour l'incertitude élargie.

NOTE 7 *M* dans la colonne  $\nu_i$  est le nombre d'essais.

NOTE 8 Un certain nombre des grandeurs d'influence sur l'incertitude peuvent être estimées à partir des spécifications de performance fournies par les fabricants de l'équipement. Dans le cas de certaines autres composantes qui varient d'un essai à l'autre, il peut être nécessaire d'estimer l'incertitude pour chaque mesure.

NOTE 9 Toutes les grandeurs d'influence rapportées dans ce tableau sont applicables aux essais de validation du système sauf les trois points du groupe Echantillon en essai qui sont remplacés par un groupe Dipôle contenant deux grandeurs d'influence décrites comme: distance de l'axe du dipôle par rapport au liquide, dérive de la puissance d'entrée et de DAS.

NOTE 10 Comme énoncé dans le Guide ISO/CEI 99:2007, la condition de répétabilité de mesure est définie ici comme étant la «condition de mesurage dans un ensemble de conditions qui comprennent la même procédure de mesure, les mêmes opérateurs, le même système de mesure, les mêmes conditions de fonctionnement et le même lieu, ainsi que des mesurages répétés sur le même objet ou des objets similaires pendant une courte période de temps», soulignant ainsi implicitement qu'un aspect clé est que la répétabilité doit inclure des conditions et des composantes pour des essais UNIQUEMENT au sein d'un laboratoire d'essai spécifié. Dans ce contexte, le dipôle utilisé pour les essais de répétabilité du système ne fait pas partie du système de mesure.

## 8 Rapport de mesure

### 8.1 Généralités

Tous les résultats d'essai doivent être enregistrés dans un rapport de mesure et doivent inclure toutes les informations nécessaires à l'interprétation des configurations de DUT soumises à essai, de l'étalonnage effectué, ainsi que toutes les informations requises par la méthode et l'instrumentation utilisées.

Le présent article spécifie les exigences minimales requises, à inclure dans le rapport de mesure. Le paragraphe 5.10 de l'ISO/CEI 17025 spécifie des recommandations

supplémentaires sur le contenu du rapport de mesure requis. Un rapport d'essai conforme à l'ISO/CEI 17025, comprenant au minimum les éléments énumérés ci-après démontrera la conformité avec la présente norme.

## 8.2 Éléments à enregistrer dans le rapport de mesure

Toutes les informations nécessaires permettant d'effectuer des essais reproductibles, les calculs ou les mesures conduisant à des résultats dans l'étalonnage et les limites d'incertitude requises doivent être enregistrées. Le rapport de mesure doit comprendre les éléments suivants:

### a) Introduction générale

- 1) Identification du laboratoire d'essai
- 2) Identification du DUT, comprenant les numéros de révision du matériel et du logiciel, le numéro de série, par exemple IMEI (identité internationale de l'équipement mobile)
- 3) Exigences de conformité, par exemple normes d'essai, lignes directrices, recommandations, etc.
- 4) Limites d'exposition en vigueur, par exemple, CIPRNI, IEEE/ICES, etc.
- 5) Une liste des accréditations délivrées par les organismes nationaux ou internationaux en vue de la réalisation des essais conformément aux normes ci-dessus. La date d'expiration des accréditations doit être indiquée.

### b) Système de mesure

- 1) Description de la principale composante du système de mesure, par exemple, positionneur, sonde, liquide, etc.
- 2) Données d'étalonnage pour les composantes concernées
- 3) Description du processus d'interpolation/extrapolation utilisé
- 4) Liquides utilisés et leurs caractéristiques
- 5) Résultats du contrôle du système

### c) Estimation de l'incertitude

- 1) Pour inclure une valeur d'incertitude de mesure issue du Tableau 5
- 2) Tout autre élément pertinent

### d) Détails de l'appareil et de l'essai

- 1) Description du facteur de forme du DUT et brève description de sa fonction prévue
- 2) Description des positions et orientations à soumettre à essai et justification des réductions d'essai comportant, si cela est approprié selon 6.1.4.2, les justifications de la définition des distances basées sur la relation physique entre l'appareil et le fantôme.
- 3) Description de la/des antenne(s) et accessoires, y compris les batteries, disponibles et soumis à essai.
- 4) Description des modes de fonctionnement, niveaux de puissance et bandes de fréquences disponibles et soumis à essai, et justification des réductions d'essai
- 5) Condition environnementale d'essai, par exemple température
- 6) Résultats de tous les essais effectués (valeur du DAS crête spatial moyen pour chaque essai et représentation graphique des balayages à grosse maille pour chaque appareil, pour la valeur DAS maximale dans chaque mode) et détails relatifs à la mise à l'échelle des résultats.

### e) Résumé du rapport

- 1) Valeurs DAS, sous forme de tableau, pour les positions, bandes, modes et configurations d'antenne d'essai
- 2) Indication des limites d'exposition et déclaration de conformité, ou non.

## **Annexe A** (informative)

### **Justification du fantôme**

#### **A.1 Justification relative aux caractéristiques du fantôme**

Les fantômes qui représentent l'anatomie humaine constituent des composantes essentielles de l'évaluation de l'exposition aux champs électromagnétiques. Il n'est ni toujours nécessaire, ni pratique que les fantômes imitent les détails de l'anatomie humaine. Cependant, il est important de définir et de normaliser les caractéristiques, dimensions et propriétés des matériaux pertinentes qui influencent la mesure du DAS. La répartition statistique des formes et des tailles anatomiques, qui guidera les recommandations pour l'élaboration des spécifications d'une forme réaliste de fantôme, peut être obtenue à partir des études anthropométriques de la population humaine.

La forme et la taille du fantôme plan sont importantes pour l'obtention de mesures de DAS précises et représentatives. La partie du corps exposée aux émissions RF des appareils portés près du corps n'est pas toujours bien définie et peut varier en fonction de l'utilisation et de la conception du modèle de produit.

Il convient que le fantôme plan ne soit pas excessivement grand comparé à la taille du torse humain. Les fantômes de grandes dimensions sont également plus difficiles à construire et les systèmes de mesure du DAS peuvent ne pas être capables d'effectuer les mesures sur des fantômes présentant une taille ou une profondeur excessive.

Un fantôme plan représente une construction technique simple pour laquelle le DAS peut être mesuré et calculé facilement et sans ambiguïté. Il s'agit d'une mince enveloppe diélectrique ouverte sur le dessus, dont le fond est rempli d'un liquide équivalant aux tissus. Les caractéristiques physiques du fantôme plan normalisé ont pour objet de simuler un corps humain.

Un fantôme à fond plat présente une surface de contact maximale avec l'appareil en essai. Par conséquent, il donne une estimation conservatrice du DAS pour une personne réelle. En outre, un fantôme à fond plat peut accueillir des appareils de dimensions diverses. Il convient que les fantômes plans soient suffisamment grands pour permettre le couplage complet de l'antenne à rayonnement RF et le balayage de volumes de 1 g et 10 g.

L'utilisation d'un fantôme plan en tant que fantôme normalisé pour évaluer le DAS des appareils portés près du corps a pour but de représenter le couplage maximal de variations et de distorsions pouvant être causées par l'irrégularité de la limite tissulaire parmi la population. Ce couplage effectué jusqu'à la limite tout en conservant les distances recommandées donnera vraisemblablement une estimation conservatrice du DAS.

Les compositions du liquide équivalant aux tissus spécifiées dans la présente norme ont été conçues pour produire une estimation conservatrice du DAS dans un corps humain équivalent, dont la composition des tissus est supposée homogène (voir aussi l'Annexe H).

Si l'appareil est destiné à une utilisation à une distance inférieure ou égale à 200 mm à partir du torse ou devant le visage, la main peut alors être ignorée [73], [80]. Le fantôme plan peut être utilisé pour simuler la main si l'appareil est destiné à une utilisation dans la main, à plus de 200 mm du torse ou de la tête. L'estimation dans le DAS de la main en utilisant un fantôme plan est traitée dans l'Annexe J.

## A.2 Justification des exigences relatives à l'enveloppe du fantôme

Afin d'empêcher toute influence de la forme du fantôme sur le DAS mesuré, les effets de résonance doivent être éliminés. A basses fréquences (30 MHz à 300 MHz), la longueur d'onde dans l'espace libre  $\lambda$  s'étend de 1 m à 10 m et des résonances risquent de se produire si les dimensions du fantôme sont de l'ordre de grandeur de  $\lambda/2$ . Des mesures reproductibles ne peuvent être garanties que si la forme et la taille du fantôme sont strictement spécifiées.

Pour toutes les fréquences supérieures à 300 MHz, les effets dépendant de la taille et de la forme peuvent être évités en spécifiant des dimensions de fantôme minimales et en limitant à moins de 25 mm la distance entre le fantôme et l'appareil [2].

L'enveloppe du fantôme doit être constituée d'un matériau à faible perte et à faible permittivité:  $\tan(\delta) \leq 0,05$  et permittivité relative  $\epsilon_r' < 5$  pour  $f \leq 3$  GHz et  $\epsilon_r' = 4 \pm 1$  pour  $f > 3$  GHz. Ces valeurs de permittivité relative sont fondées sur une étude de Onishi et Uebayashi [62]. L'épaisseur du fond du fantôme plan doit être de 2,0 mm à l'endroit où se trouve l'appareil, avec une tolérance de  $\pm 0,2$  mm. Cette épaisseur minimale fournit une estimation conservatrice du DAS comparée aux mesures réalisées sur des fantômes plus épais. Des épaisseurs inférieures ne sont pas recommandées en raison des problèmes liés à la résistance mécanique lorsque le liquide est maintenu.

L'influence de la forme et de l'épaisseur sur le DAS est supposée inférieure à 1 % si les exigences ci-dessus sont satisfaites. Par conséquent, cette influence peut être négligée [2].

Lorsque le fantôme est rempli par la profondeur de liquide spécifiée en 5.2.2, la flèche éventuelle de la surface inférieure du fond du conteneur du fantôme doit être inférieure à 2 mm. Ceci garantit que la surface de contact de l'appareil en essai avec le liquide du fantôme est maximisée.

## A.3 Justification relative aux liquides équivalant aux tissus

Les propriétés diélectriques (permittivité et conductivité) du liquide telles que spécifiées en 5.2.3 ont été combinées afin d'obtenir une évaluation conservatrice du DAS, quelles que soient les caractéristiques corporelles de l'utilisateur de l'appareil associées aux conditions d'expositions comparables [6].

Les paramètres électriques des liquides simulant les tissus, utilisés pour les mesures du DAS de la tête (liquide équivalant aux tissus de la tête) ont été proposés par Drossos et al. [16]. Les valeurs des paramètres ont été dérivées pour 10 fréquences, comprises dans la gamme de fréquences de 300 MHz à 3 000 MHz, à l'aide d'un modèle analytique constitué de couches de tissu s'étendant dans un demi-espace infini et exposées à une onde plane. Cette approche permet d'étudier l'effet de l'adaptation d'impédance et des ondes stationnaires sur le DAS crête spatial moyen. Les couches de tissu ont été diversifiées en composition et en épaisseur de manière à représenter la variation anatomique de la région de la tête exposée et à couvrir un groupe d'utilisateurs comprenant des adultes et des enfants (variations comprises entre les percentiles 10 et 90). Une composition en couches de tissu de la tête, représentant le cas le plus défavorable en ce qui concerne l'absorption à chaque fréquence, a permis de déduire les paramètres diélectriques des liquides équivalant aux tissus de la tête conduisant à une modélisation homogène et donnant la même absorption de crête spatiale (ou une absorption légèrement supérieure). Les propriétés diélectriques des tissus utilisés pour modéliser la tête humaine ont été calculées au moyen de la formule de Cole-Cole à quatre termes, qui correspond à une extrapolation simple des résultats à court terme. La validité de cette approche pour l'exposition en champ proche de la tête a été démontrée par des modèles en couches planes représentatifs de l'anatomie de la tête d'un adulte et d'un enfant, utilisant l'imagerie par résonance magnétique (IRM), par Kainz et al. [39] et Beard et al. [1].

L'étude de Drossos et al. [16] a été étendue pour la composition générale des tissus corporels [6]. Il a été constaté que les effets des ondes stationnaires dus aux réflexions dans le tissu adipeux sous-cutané conduisent à une augmentation importante du DAS comparée aux résultats de Drossos et al. [16]. Cette augmentation ne peut pas être compensée par une modification des paramètres diélectriques des liquides équivalant aux tissus. Une analyse complète du mécanisme de couplage montre que les effets des ondes stationnaires doivent uniquement être pris en compte dans la zone de Fresnel et dans la zone de champ éloignée du DUT [7]. À des distances rapprochées, une estimation conservatrice de l'exposition peut être obtenue à l'aide des paramètres établis pour les liquides équivalant aux tissus de la tête, comme proposé par Drossos et al. [16]. Par conséquent, les paramètres de liquides définis dans la CEI 62209-1:2005 ont été retenus pour les mesures des appareils tenus à la main et portés près du corps.

La gamme de fréquences pour les liquides équivalant aux tissus a été étendue à 5,8 GHz, en tenant compte des caractéristiques de dispersion Cole-Cole des tissus corporels à teneur en eau élevée et de la productibilité des liquides dans les tolérances requises. La permittivité et la conductivité dans la gamme de fréquences de 3 GHz à 5,8 GHz ont été interpolées linéairement et aussi extrapolées linéairement à 6 GHz.

Les paramètres des tissus musculaires établis pour la bande de fréquences de 30 MHz à 150 MHz sont publiés dans [22]. Cependant, les valeurs de permittivité élevée sont difficiles à obtenir dans la pratique. Étant donné que la réduction de la permittivité entraîne des valeurs de DAS élevées, des valeurs de permittivité inférieures ont été choisies pour le liquide simulant les tissus et les valeurs de conductivité n'ont pratiquement pas été modifiées.

Pour la fréquence de 150 MHz, une conductivité et une permittivité égales à celles recommandées pour le liquide simulant les tissus de la tête en [17] ont été choisies. Les simulations FDTD ont montré que les paramètres électriques du liquide simulant les tissus, proposés dans le Tableau 1, conduisent à une surestimation du DAS en ce qui concerne les appareils destinés à être portés près du corps, à des fréquences de 30 MHz et 150 MHz.

Pour de plus amples informations sur la plage de distances dans laquelle ces liquides fournissent une estimation conservatrice de l'exposition, consulter l'Annexe H.

Le DAS dépend fortement des paramètres diélectriques du matériau équivalant aux tissus, comme indiqué dans l'Annexe F. Par conséquent, il est important que ces paramètres soient mesurés avec précision avant d'être appliqués à un fantôme utilisé pour la mesure du DAS.

Toute combinaison de matériaux peut être utilisée pour la simulation des tissus, à condition que la combinaison de matériaux présente les paramètres diélectriques requis dans les tolérances spécifiées pour la fréquence considérée. L'application des paramètres électriques proposés pour les matériaux équivalant aux tissus corporels conduit à une estimation conservatrice du DAS moyen sur 1 g et 10 g dans les conditions décrites dans la présente annexe.

## **Annexe B** (normative)

### **Vérification du système de mesure du DAS**

#### **B.1 Généralités**

Le présent article spécifie des procédures pour:

- a) le contrôle du système;
- b) la validation du système.

Les objectifs et applications de ces différents niveaux de procédures de validation sont les suivants:

Le contrôle du système fournit une méthode d'essai rapide et fiable qui peut être effectuée quotidiennement ou avant chaque mesure de DAS. L'objectif est ici d'assurer que les composants du montage sont toujours dans les limites d'étalonnage du laboratoire, effets de dérives inclus. Cet essai nécessite un fantôme plan et une source normalisée, par exemple un dipôle demi-onde ou un guide d'ondes ouvert.

La validation du système fournit un moyen de validation au niveau du système. Le montage d'essai consiste en un fantôme plan et un dipôle de référence (voir Annexe D) ou en une source à guide d'ondes. En conséquence, la validation du système n'inclut pas les incertitudes résultant de l'utilisation de fantômes anthropomorphes, ni celles dues à la variabilité du positionnement de l'appareil. Cet essai est effectué annuellement (par exemple après l'étalonnage de la sonde), avant les mesures relatives à une comparaison entre laboratoires (Annexe E de la CEI 62209-1:2005) et chaque fois que des modifications sont apportées au système, telles qu'une nouvelle version de logiciel, des lectures électroniques différentes ou des types de sondes différents.

**NOTE** Les comparaisons entre laboratoires fournissent une qualification de laboratoire en utilisant un DUT de référence (Article E.3 de la CEI 62209-1:2005) et un fantôme anthropomorphe normalisé. Cette méthode de qualification inclut la dispersion de données due au fantôme présentant des caractéristiques semblables à l'être humain et aux effets des positionnements de l'appareil. Cet essai est utilisé pour comparer l'exactitude et la précision des résultats de différents laboratoires.

#### **B.2 Contrôle du système**

##### **B.2.1 Objet**

L'objet du contrôle du système est de vérifier que le système fonctionne dans ses spécifications. Le contrôle du système est un contrôle de reproductibilité destiné à assurer que le système fonctionne correctement au moment de l'essai de conformité. Le contrôle du système détecte les dérives possibles à court terme et les incertitudes dans le système, telles que:

- a) des modifications des paramètres du liquide (par exemple, provoquées par l'évaporation de l'eau ou des changements de température);
- b) des défaillances de composant du système d'essai;
- c) des dérives de composant du système d'essai;
- d) des erreurs de l'opérateur dans le montage ou le paramétrage du logiciel;
- e) d'autres conditions défavorables éventuelles dans la configuration du système, par exemple des interférences RF.

Le contrôle du système est une mesure complète du DAS moyen sur 1 g ou 10 g dans un montage simplifié avec une source normalisée (voir B.2.3). L'instrumentation et les procédures du contrôle du système sont les mêmes que celles utilisées lors des essais de conformité. Le contrôle du système doit être effectué en utilisant le même liquide que lors des essais de conformité et à une fréquence fixe sélectionnée qui se situe dans une plage de  $\pm 10\%$  ou  $\pm 100$  MHz par rapport à la fréquence milieu de bande de l'essai de conformité, la valeur la plus élevée étant retenue. Les contrôles du système doivent être effectués quotidiennement ou avant chaque mesure du DAS et les résultats doivent toujours figurer dans la plage de tolérance spécifiée en B.2.5. Les valeurs cibles sont les valeurs de DAS moyennes sur 1 g ou 10 g, mesurées sur des systèmes dont la validation et l'étalonnage sont à jour, et au moyen du montage utilisé pour le contrôle du système tel qu'illustré dans la Figure B.1. Il convient que ces valeurs cibles soient déterminées en utilisant une source normalisée.

Il convient de vérifier le fonctionnement du système en utilisant les procédures de contrôle du système pour garantir que le système fonctionne dans les limites de spécification et les plages de tolérance. Il convient d'appliquer cette procédure avant de procéder à une évaluation de la conformité du DAS.

### **B.2.2 Montage du fantôme**

Un fantôme plan doit être utilisé avec le liquide équivalant aux tissus recommandé pour le contrôle du système et la validation du système (voir Article 5). La forme, les dimensions et d'autres spécifications du fantôme plan sont spécifiées en 5.2.2.

Pour les sources dipôles, le point d'alimentation doit être placé au centre de l'ellipse ou du rectangle et les bras du dipôle doivent être alignés avec le grand axe (voir l'Annexe D pour les spécifications du dipôle). Pour les sources à guide d'ondes, le plus long côté du guide d'ondes doit être aligné avec le grand axe. Le matériau doit être résistant aux dégradations ou réactions chimiques avec le liquide équivalant aux tissus.

### **B.2.3 Source normalisée**

Le fantôme doit être exposé en utilisant une source normalisée pour la fréquence requise (par exemple un dipôle demi-onde, une antenne dalle ou un guide d'ondes ouvert). Les dipôles de référence utilisés pour la validation du système (voir Annexe D) peuvent aussi, mais ce n'est pas exigé, être utilisés pour le contrôle du système. Une source normalisée sélectionnée doit avoir une bonne reproductibilité de positionnement, une bonne stabilité mécanique et une bonne adaptation d'impédance. Dans les instructions de positionnement suivantes, le dipôle demi-onde est pris comme exemple de source normalisée.

Un dipôle demi-onde doit être positionné sous le bas du fantôme et centré avec son axe parallèle à la plus grande dimension du fantôme. La distance entre la surface interne du fantôme rempli de liquide et le centre du dipôle,  $s$ , (voir la Figure B.1 et le Tableau D.1) doit être spécifiée pour chaque fréquence d'essai. Un écarteur de faible perte (tangente de perte  $< 0,5$ ) et de faible permittivité relative (permittivité relative  $< 5$ ) doit être utilisé pour établir la distance correcte entre le dessus de la surface du dipôle et la surface du bas du fantôme. Le dipôle doit avoir un affaiblissement de réflexion inférieur à - 20 dB à la fréquence de résonance (mesurée dans le montage), pour réduire l'incertitude dans la mesure de la puissance. La tolérance acceptable pour la distance  $s$  doit être de  $\pm 0,2$  mm.

### **B.2.4 Mesure de la puissance d'entrée de la source normalisée**

L'incertitude de la puissance de la source doit être la plus faible possible. Ceci exige l'utilisation d'un montage d'essai avec des coupleurs directionnels et des wattmètres pendant le contrôle du système. Le montage recommandé est illustré à la Figure B.1 (qui utilise un dipôle demi-onde comme exemple de source normalisée).

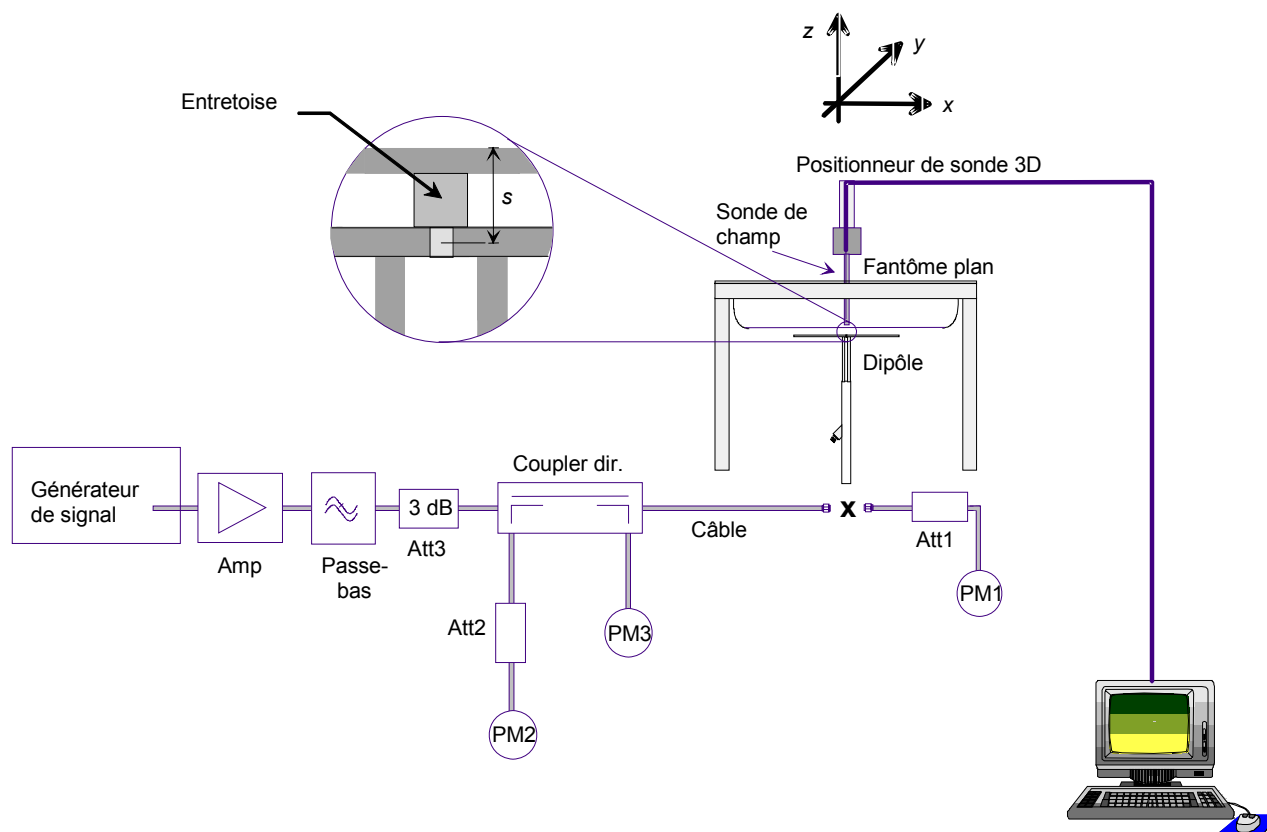


**Figure B.1 – Montage pour le contrôle du système**

Tout d'abord, le wattmètre PM1 (incluant un atténuateur Att1) est connecté au câble pour mesurer la puissance directe à la position du connecteur (X) source normalisé du dipôle. Le générateur de signal est réglé pour la puissance directe souhaitée au connecteur source du dipôle (en prenant en compte l'atténuation de Att1) et lue sur le wattmètre PM1. Après avoir connecté le câble à la source dipôle, le générateur de signal est réglé à nouveau pour une lecture identique sur le wattmètre PM2. Si le générateur de signal ne permet pas un ajustement par pas de 0,01 dB, la différence persistante à PM2 doit être prise en compte. Il convient que l'adaptation de la source dipôle soit contrôlée en utilisant un analyseur de réseaux (à intervalles réguliers) pour assurer que la puissance réfléchie est au moins à 20 dB au-dessous de la puissance directe.

Les exigences relatives aux composants et à l'instrumentation sont les suivantes:

- Le générateur de signal et l'amplificateur doivent être stables (après préchauffage). La puissance directe à la source dipôle doit être suffisamment élevée pour produire une valeur de DAS supérieure à la limite basse de détection du système de la sonde (voir l'Article B.5 de la CEI 62209-1:2005). Si le générateur de signal peut délivrer 15 dBm ou plus, un amplificateur n'est généralement pas nécessaire. Certains amplificateurs de forte puissance ne doivent pas fonctionner à un niveau très inférieur à leur puissance maximale de sortie, par exemple un amplificateur de puissance de 100 W fonctionnant avec une puissance de sortie de 250 mW peut générer beaucoup de bruit. Un atténuateur entre le générateur de signal et l'amplificateur est recommandé pour protéger l'entrée de l'amplificateur.
- Le filtre passe-bas inséré après l'amplificateur réduit l'effet des harmoniques et du bruit de l'amplificateur. Pour la plupart des amplificateurs en fonctionnement normal, le filtre n'est pas nécessaire.
- L'atténuateur placé après l'amplificateur améliore l'adaptation de la source et la précision du capteur de puissance (consulter le manuel du wattmètre).

- d) Le coupleur directionnel (coefficient de couplage -20 dB recommandé) est utilisé pour contrôler la puissance directe et régler la sortie du générateur de signal pour une puissance directe constante. Un coupleur de qualité moyenne est suffisant parce que les charges (dipôle et tête de puissance) sont bien adaptées.
- e) Les wattmètres PM2 et PM3 doivent avoir peu de dérive et une résolution de 0,01 dBm, mais sinon la précision a un impact négligeable sur le réglage de la puissance (un étalonnage absolu n'est pas nécessaire).
- f) Le wattmètre PM1 et l'atténuateur Att1 doivent être de haute qualité. Ils doivent être étalonnés, de préférence ensemble. L'atténuateur (-10 dB) améliore la précision de la lecture de la puissance (certaines têtes de haute puissance possèdent un atténuateur incorporé étalonné). Le facteur de perte exact de l'atténuateur à la fréquence d'essai doit être connu; certains atténuateurs ont une variation allant jusqu'à 0,2 dB par rapport à leur valeur spécifiée.
- g) Utiliser le même niveau de puissance pour l'essai de PM1 comme c'est le cas pour la mesure réelle afin d'éviter des incertitudes de commutation de gamme et de linéarité pour les wattmètres PM2 et PM3. Si le niveau de puissance est modifié, la procédure de réglage du niveau de puissance doit être répétée.
- h) La source dipôle doit être directement connectée au câble à la position "X". Si le wattmètre a un type de connecteur différent, utiliser des adaptateurs de haute qualité.
- i) Il est recommandé de vérifier périodiquement la perte d'insertion des câbles (en particulier le câble qui raccorde le coupleur directionnel à l'antenne dipôle) pour garantir qu'ils sont de bonne qualité. Il convient que la perte d'insertion soit faible (par exemple de l'ordre de 1 dB; cela dépend de la longueur du câble et de la fréquence) et stable dans la fréquence. Ne pas supposer qu'un câble qui fonctionne correctement à basse fréquence (par exemple 900 MHz) fonctionnera correctement à une fréquence plus élevée (par exemple 5 GHz). Des câbles de haute qualité peuvent être requis pour un fonctionnement à haute fréquence. Au cours du contrôle du système, il convient d'éviter tout mouvement du câble, étant donné que cela pourrait influencer la perte du câble.

### **B.2.5 Procédure de contrôle du système**

Le contrôle du système consiste en une mesure complète du DAS sur 1 g et/ou 10 g moyen. La valeur mesurée du DAS moyen sur 1 g et/ou 10 g est normalisée à la puissance d'entrée cible de la source normalisée et comparée à la précédente valeur cible sur 1 g et/ou 10 g enregistrée et correspondant à la fréquence de mesure, à la source normalisée et au type de fantôme. Si les dipôles de validation sont utilisés pour le contrôle du système comme la source normalisée, il convient que la différence par rapport aux valeurs cibles soit comprise dans l'incertitude de la reproductibilité du système, mais qu'elle ne dépasse pas  $\pm 10 \%$ . Si une autre source normalisée est utilisée, la valeur cible et son incertitude doivent être évaluées et documentées.

## **B.3 Validation du système**

### **B.3.1 Objectif**

La procédure de validation du système éprouve le système par rapport à des valeurs de DAS de référence, et l'aptitude à la fonction de la sonde, de la lecture électronique et du logiciel. C'est une validation du système par rapport aux valeurs du DAS de référence dans le Tableau B.1. Ce montage utilise un fantôme plan et une source dipôle de référence. Ainsi, cette procédure de validation n'inclut pas l'incertitude due à la variabilité du positionnement de l'appareil.

La validation du système est effectuée annuellement, quand un nouveau système est mis en opération ou chaque fois qu'une modification a été apportée au système, telle qu'une nouvelle version de logiciel, une lecture électronique différente ou des types de sondes différents. La validation du système doit être effectuée avec une sonde étalonnée.

L'objectif de cet article est de fournir une méthodologie pour la validation du système de mesure de DAS. Puisque l'équipement de mesure de DAS, les techniques d'étalonnage, les fantômes et les liquides équivalant aux tissus peuvent varier considérablement d'un laboratoire à un autre, une méthodologie de validation est nécessaire pour assurer que des résultats uniformes sont obtenus avec des incertitudes de mesure raisonnables. Les valeurs de DAS de référence calculées numériquement pour l'utilisation dans la validation du système sont listées au Tableau B.1.

NOTE La procédure de validation du système n'est une alternative ni à l'étalonnage de la sonde, ni à l'estimation de l'incertitude selon l'Article 7. La sonde et la lecture électronique doivent être étalonnées régulièrement en accord avec les procédures données dans l'Annexe B de la CEI 62209-1:2005. L'isotropie hémisphérique de la sonde n'est pas prise en compte dans le protocole pour la validation du système.

### B.3.2 Montage du fantôme

Le montage du fantôme plan décrit pour le contrôle du système (voir Figure B.1) est aussi utilisé pour les essais de validation du système. La validation du système doit être effectuée en utilisant des liquides équivalant aux tissus ayant les propriétés définies au Tableau 1.

### B.3.3 Sources de référence

#### B.3.3.1 Source dipôle de référence

Le fantôme doit être exposé en utilisant un dipôle de référence spécifié en Annexe D pour la fréquence requise. Le dipôle de référence doit être positionné sous le bas du fantôme et centré avec ses axes parallèles à la plus grande dimension du fantôme. Un écarteur de faible perte et de faible permittivité relative peut être utilisé pour établir la distance correcte entre la surface haute du dipôle de référence et la surface du bas du fantôme. La distance entre la surface du bas du fantôme rempli de liquide et le centre du dipôle de référence, ( $s$ ), est spécifiée avec une tolérance de 0,2 mm pour chaque fréquence d'essai. Le dipôle de référence doit avoir un affaiblissement de réflexion (mesuré dans le montage) inférieur à -20 dB à la fréquence de résonance pour réduire l'incertitude dans la mesure de la puissance.

Pour les dipôles de référence décrits en Annexe D, la distance d'écartement  $s$  est donnée par:

- a)  $s = 15 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$  pour  $300 \text{ MHz} \leq f \leq 1\,000 \text{ MHz}$ ;
- b)  $s = 10 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$  pour  $1\,000 \text{ MHz} < f \leq 3\,000 \text{ MHz}$ ;
- c)  $s = 10 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$  pour  $3\,000 \text{ MHz} < f \leq 6\,000 \text{ MHz}$ .

Les bras du dipôle de référence doivent être parallèles à la surface plane du fantôme avec une tolérance de  $\pm 2^\circ$  ou moins (voir Figure B.1)

Le calcul des valeurs de référence pour des fréquences supérieures à 5 000 MHz nécessite de prendre spécifiquement en compte la structure des petits dipôles (internes et externes). Par conséquent, les valeurs numériques peuvent s'avérer uniquement spécifiques aux dipôles d'une source de fabrication en particulier. De même, la structure de l'écarteur utilisé doit également être modélisée étant donné qu'elle peut influencer les valeurs numériques obtenues.

#### B.3.3.2 Sources à guide d'ondes de référence

Les valeurs de DAS de référence pour les sources à guide d'onde spécifiées dans le Tableau B.2 sont, à l'heure actuelle, uniquement définies pour des fréquences supérieures à 5 000 MHz. Ceci est dû aux difficultés de manipulation des guides d'onde de grande dimension, requis pour les basses fréquences. Au-dessus de 5 000 MHz, les valeurs de DAS de référence calculées pour les guides d'onde dépendent moins des nuances de construction que pour les dipôles. Deux procédures ont été proposées pour l'utilisation de guides d'ondes ouverts ou de guides d'ondes à fenêtre étanche adaptée, produisant les deux ensembles de valeurs de référence indiqués dans le Tableau B.2.

### B.3.3.3 Source à guide d'onde ouvert de référence

Le présent paragraphe a pour objet de spécifier une procédure pour l'utilisation d'un guide d'ondes rectangulaire à large bande comme source pour le contrôle et la validation du système. La procédure s'applique à des fréquences supérieures à 5 GHz, lorsque l'utilisation de sources dipôles peut nécessiter la prise en compte très détaillée de l'écarteur et de la structure interne, pour pouvoir calculer avec précision des valeurs de référence. Les sources à guide d'onde permettent de modéliser plus facilement la géométrie de la source, pour laquelle les valeurs de référence dépendront moins des données de mise en œuvre de la fabrication.

Les sources à guide d'onde de référence ont été étudiées pour les deux cas mettant en œuvre des guides d'ondes ouverts éloignés du fantôme plan d'une part [52] et des guides d'ondes à fenêtre étanche adaptée, positionnés directement contre le fantôme d'autre part [70]. Des dimensions de guides d'ondes différentes ont été utilisées pour chaque étude, de sorte que les valeurs de référence (indiquées dans le Tableau B.2) diffèrent pour chaque cas. Le choix de la méthode dépendra de l'équipement disponible. Un guide d'ondes à fenêtre étanche adaptée est requis pour l'étalonnage de la sonde utilisée pour le calcul du DAS. Par ailleurs, l'utilisation de cette procédure [70] permet un positionnement plus aisé de la source et nécessite moins de composants de guide d'ondes. La procédure mettant en œuvre un guide d'ondes ouvert présente l'avantage de ne pas nécessiter l'utilisation d'une fenêtre étanche adaptée, ni le réglage fin du guide d'ondes pour réduire le plus possible la puissance réfléchie.

La procédure utilisant une fenêtre étanche adaptée est décrite ici, mais des détails complets sur la procédure permettant d'utiliser le guide d'ondes ouvert ont été publiés dans [52], avec les valeurs de référence indiquées dans le Tableau B.2.

La source à guide d'ondes adapté décrite en [70] utilise un guide d'ondes rectangulaire (WR 137, également désigné WG13) de dimensions internes égales à 40 mm × 20 mm. Une fenêtre étanche adaptée de 4,3 mm d'épaisseur est mise en œuvre sous la forme d'un anneau détachable contenant une céramique à faible perte, de permittivité relative,  $K = 6$ . Les dimensions de l'anneau sont celles d'un anneau portant la désignation CEI PDR58, c'est-à-dire 81 mm par 62 mm sur toute son étendue.

Les valeurs de référence pour cette géométrie de la source ont été calculées à des fréquences de 5 200 MHz et 5 800 MHz par différents groupes utilisant différents codes FDTD [51], [70]. Ces valeurs sont énumérées dans le Tableau B.2.

Les valeurs de référence proposées pour la validation comprennent les données de décroissance sur la ligne centrale d'un fantôme constitué par une boîte, lorsque la procédure ci-dessus est appliquée. Les équations indiquées dans le Tableau B.2 ont été ajustées aux données FDTD dérivées par calcul [52] et peuvent être utilisées pour représenter les profils des valeurs de référence sur la ligne centrale.

Il convient que les balayages sur la ligne centrale (au-dessus du centre de la fenêtre étanche adaptée du guide d'ondes) soient effectués par intervalles de 0,2 mm, en commençant par la sonde en contact direct avec le fond de la boîte constituant le fantôme. Il convient que les valeurs de DAS soient normalisées à une puissance d'entrée de 0,25 W et post-traitées pour appliquer des corrections limites aux fins de la comparaison avec les profils de référence. Il convient de prendre en compte séparément la forme et l'amplitude des données mesurées par rapport aux valeurs de référence. Il convient de démontrer que la forme du profil correspond aux profils de référence, afin de confirmer l'absence d'influences parasites et l'applicabilité du schéma de correction limite utilisé.

L'entrée d'alimentation du guide d'ondes étant configurée comme illustré dans la Figure B.1 (mais avec le guide d'ondes au lieu de la source dipôle) et les données de balayage en 3D étant recueillies selon les critères de l'Article 5, il convient de comparer les valeurs de DAS normalisées par rapport à une puissance d'entrée nette de 0,25 W, aux valeurs de référence indiquées dans le Tableau B.2.

Des guides d'ondes rectangulaires à large bande peuvent être utilisés comme émetteurs large bande bien caractérisés pour les validations des systèmes DAS pour des fréquences dépassant 3 GHz. Les guides d'ondes disponibles dans le commerce sont à large bande, avec des largeurs de bande simultanées supérieures à une gamme de 1 GHz à 2 GHz.

#### B.3.4 Mesure de la puissance d'entrée du dipôle de référence

Le montage de mesure de la puissance d'entrée décrit pour le contrôle du système (voir B.2.4) est également utilisé pour les essais de validation du système.

#### B.3.5 Procédure de validation du système

La validation du système est utilisée pour vérifier la précision du système complet de mesure, du logiciel et des algorithmes de commande. Les incertitudes de positionnement de l'appareil ne sont pas prises en compte. La procédure de validation du système comprend cinq étapes. L'étape a) est la plus importante de la procédure de validation du système et doit être effectuée à chaque fois. Les étapes b) à e) (recommandées) offrent un moyen de validation rapide et simple de l'aptitude à la fonction de la sonde, de la lecture électronique et du logiciel. Ces essais supplémentaires doivent être effectués chaque fois qu'un composant du système est modifié (par exemple une nouvelle version de logiciel, une nouvelle lecture électronique ou un nouveau type de sonde) mais ils nécessitent seulement d'être effectués pour la même version de système par chaque laboratoire (par exemple par le laboratoire d'étalonnage ou par le laboratoire qui utilise le système de mesure de DAS). La procédure de validation du système est la suivante:

- a) Évaluation du DAS: Une mesure complète du DAS moyen sur 1 g et/ou 10 g est effectuée à l'aide d'une source normalisée spécifiée à l'Annexe D. La puissance d'entrée de la source normalisée est ajustée pour produire une valeur de DAS moyen sur 1 g et/ou 10 g, comprise dans la gamme de 0,4 W/kg à 10 W/kg. Le DAS moyen sur 1 g et/ou 10 g est mesuré aux fréquences indiquées dans le Tableau B.1, dans la gamme applicable aux essais de conformité. Les résultats sont normalisés à la puissance directe d'entrée de 1 W et comparés à la valeur de DAS de référence indiquée dans les colonnes 3 et 4 du Tableau B.1. Il convient que la différence entre les valeurs mesurées et les valeurs cibles indiquées dans le Tableau B.1 ou le Tableau B.2 soit inférieure à l'incertitude élargie pour la validation du système à l'aide des procédures du Tableau 6.
- b) Routine d'extrapolation: Les valeurs locales de DAS sont mesurées le long d'un axe vertical directement au-dessus du centre de la source normalisée (c'est-à-dire, le point d'alimentation du dipôle ou la ligne centrale du guide d'ondes), en appliquant le même espace entre les points de la grille d'essai que celui utilisé lors des évaluations du DAS des combinés. Les valeurs mesurées sont extrapolées à la surface du fantôme et comparées à la valeur cible appropriée (colonne 5 du Tableau B.1 ou colonne 4 du Tableau B.2, avec  $d = 0$ ). Si la source dipôle est utilisée, cette mesure est répétée le long d'un autre axe vertical avec un décalage transversal de 2 cm (direction y de la Figure B.1) à partir d'un point d'alimentation du dipôle normalisé. Les valeurs de DAS sont extrapolées à la surface du fantôme et comparées avec les valeurs numériques indiquées dans la colonne 6 du Tableau B.1. Il convient que la différence entre les valeurs extrapolées et les valeurs cibles soit inférieure à l'incertitude élargie pour la validation du système utilisant les procédures du Tableau 6.
- c) Linéarité de la sonde: Les mesures de l'étape a) sont répétées en utilisant différents niveaux de puissance d'entrée. Les niveaux de puissance pour chaque fréquence sont sélectionnés afin de produire des valeurs de DAS moyen sur 1 g et/ou 10 g d'approximativement 10 W/kg, 2 W/kg, 0,4 W/kg, 0,08 W/kg et 0,01 W/kg. Les valeurs de DAS mesurées sont normalisées à la puissance directe d'entrée de 1 W et elles sont comparées avec les valeurs normalisées de 1 W de l'étape a). Il convient que la différence entre ces valeurs soit inférieure à l'incertitude élargie pour la composante de linéarité utilisant les procédures du Tableau 6 et 7.2.2.3.
- d) Réponse en modulation: Les mesures de l'étape a) sont répétées avec des signaux pulsés modulés ayant un facteur de charge de 0,1 et une fréquence de répétition des pulsations de 10 Hz. La puissance est réglée pour produire un DAS moyen sur 1 g et/ou 10 g d'environ 8 W/kg avec un signal en onde entretenue ou une puissance de crête d'environ

80 W/kg. Les valeurs de DAS mesurées sont normalisées à une puissance directe d'entrée de 1 W et un facteur de charge de 1, puis comparées avec les valeurs normalisées de 1 W de l'étape a). Il convient que la différence entre ces valeurs soit inférieure à l'incertitude élargie pour la validation du système utilisant les procédures du Tableau 6.

- e) Isotropie axiale de la sonde: Le point de centrage des capteurs de la sonde est placé directement au-dessus du centre de la source normalisée à une distance de mesure de 5 mm à 10 mm à partir de la surface interne du fantôme. La sonde (ou la source normalisée) est tournée d'au moins 180° sur son axe par pas de 15° maximum. Les lectures minimale et maximale de DAS sont enregistrées. Il convient que la différence entre ces valeurs soit inférieure à l'incertitude élargie pour la composante d'isotropie axiale utilisant les procédures du Tableau 6 et 7.2.2.2.

### **B.3.6 Valeurs du DAS de référence**

Dans l'essai de validation du système, le dipôle de référence construit pour une fréquence  $f_i$  (décrit en Annexe D) doit produire les valeurs numériques de référence de DAS crête spatial moyen données dans les colonnes 3 et 4 du Tableau B.1, et dans les limites de l'incertitude pour la validation du système (voir la NOTE 10 du Tableau 6). Les colonnes 5 et 6 du Tableau B.1 sont utilisées pour valider les routines d'extrapolation du système, telles que décrites en B.3.5. Les valeurs de référence du DAS sont calculées à l'aide de la méthode de calcul numérique FDTD, avec les paramètres du fantôme plan du Tableau D.2. Les valeurs pour les fréquences comprises entre 300 MHz et 6 000 MHz ont été vérifiées expérimentalement. Les valeurs supérieures à 3 GHz dépendent de l'écarteur et de la construction détaillée des dipôles. Elles peuvent varier jusqu'à  $\pm 10\%$ . Ceci est dû aux courtes dimensions des dipôles par rapport au diamètre du bras et aux dimensions de l'écarteur, c'est-à-dire que les valeurs de référence numériques ne sont pas génériques et ont besoin d'être déterminées pour une configuration en particulier. Les propriétés diélectriques utilisées pour le liquide sont définies au Tableau 1 et les dimensions des dipôles de référence sont données au Tableau D.1. Une valeur de DAS de référence différente peut s'appliquer pour les dipôles dont les dimensions mécaniques s'écartent de celles des dipôles de référence données en Annexe D.

**Tableau B.1 – Valeurs numériques du DAS de référence  
pour les dipôles de référence et le fantôme plan –  
Toutes les valeurs sont normalisées à une puissance directe de 1 W**

| 1                | 2                                               | 3               | 4                | 5                                                                            | 6                                                                                                        |
|------------------|-------------------------------------------------|-----------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fréquence<br>MHz | Épaisseur de<br>l'enveloppe du<br>fantôme<br>mm | DAS 1 g<br>W/kg | DAS 10 g<br>W/kg | DAS local<br>à la surface (au-<br>dessus du point<br>d'alimentation)<br>W/kg | DAS local<br>à la surface<br>(y = 2 cm de<br>décalage par rapport<br>au point<br>d'alimentation)<br>W/kg |
| 300              | 6,3                                             | 3,02            | 2,04             | 4,40                                                                         | 2,10                                                                                                     |
| 300              | 2,0                                             | 2,85            | 1,94             | 4,14                                                                         | 2,00                                                                                                     |
| 450              | 6,3                                             | 4,92            | 3,28             | 7,20                                                                         | 3,20                                                                                                     |
| 450              | 2,0                                             | 4,58            | 3,06             | 6,75                                                                         | 2,98                                                                                                     |
| 750              | 2,0                                             | 8,49            | 5,55             | 12,6                                                                         | 4,59                                                                                                     |
| 835              | 2,0                                             | 9,56            | 6,22             | 14,1                                                                         | 4,90                                                                                                     |
| 900              | 2,0                                             | 10,9            | 6,99             | 16,4                                                                         | 5,40                                                                                                     |
| 1 450            | 2,0                                             | 29,0            | 16,0             | 50,2                                                                         | 6,50                                                                                                     |
| 1 800            | 2,0                                             | 38,4            | 20,1             | 69,5                                                                         | 6,80                                                                                                     |
| 1 900            | 2,0                                             | 39,7            | 20,5             | 72,1                                                                         | 6,60                                                                                                     |
| 1 950            | 2,0                                             | 40,5            | 20,9             | 72,7                                                                         | 6,60                                                                                                     |
| 2 000            | 2,0                                             | 41,1            | 21,1             | 74,6                                                                         | 6,50                                                                                                     |
| 2 450            | 2,0                                             | 52,4            | 24,0             | 104                                                                          | 7,70                                                                                                     |
| 2 585            | 2,0                                             | 55,9            | 24,4             | 119                                                                          | 7,90                                                                                                     |
| 2 600            | 2,0                                             | 55,3            | 24,6             | 113                                                                          | 8,29                                                                                                     |
| 3 000            | 2,0                                             | 63,8            | 25,7             | 140                                                                          | 9,50                                                                                                     |
| 3 500            | 2,0                                             | 67,1            | 25,0             | 169                                                                          | 12,1                                                                                                     |
| 3 700            | 2,0                                             | 67,4            | 24,2             | 178                                                                          | 12,7                                                                                                     |
| 5 000            | 2,0                                             | 77,9            | 22,1             | 305                                                                          | 15,1                                                                                                     |
| 5 200            | 2,0                                             | 76,5            | 21,6             | 310                                                                          | 15,9                                                                                                     |
| 5 500            | 2,0                                             | 83,3            | 23,4             | 349                                                                          | 18,1                                                                                                     |
| 5 800            | 2,0                                             | 78,0            | 21,9             | 341                                                                          | 20,3                                                                                                     |

NOTE 1 Les dimensions mécaniques des dipôles de référence spécifiées en Annexe D doivent être utilisées. Les valeurs supérieures à 3 GHz dépendent de l'écarteur et de la construction détaillée des dipôles. Elles peuvent varier jusqu'à  $\pm 10\%$ . Ceci est dû aux courtes dimensions des dipôles par rapport au diamètre du bras et aux dimensions de l'écarteur, c'est-à-dire que les valeurs de référence numériques ne sont pas génériques et ont besoin d'être déterminées pour une configuration en particulier.

NOTE 2 Les dimensions de fantôme spécifiées en 5.2.2 doivent être utilisées. Les valeurs supérieures à 3 GHz dépendent de l'écarteur des dipôles et peuvent varier jusqu'à  $\pm 10\%$ .

NOTE 3 Si les valeurs de DAS dérivées de la puissance directe des dipôles sont supérieures à la plage dynamique de la sonde, il convient d'utiliser des puissances plus faibles pour ne pas introduire une incertitude de mesure supplémentaire ou endommager la sonde.

Le Tableau B.2 présente les valeurs de DAS de référence pour l'essai de validation du système effectué à l'aide des sources à guides d'ondes normalisées décrites à l'Annexe D. Les valeurs de DAS de référence du Tableau B.2 ont été calculées à l'aide de la méthode des différences finies dans le domaine temporel [53]. Le guide d'ondes utilisé dans les simulations a été modélisé comme un conducteur électrique parfait présentant les dimensions spécifiées dans l'Annexe D. Le fantôme utilisé dans les simulations a une hauteur de 216 mm, une largeur de 152 mm, une profondeur de 80 mm, une épaisseur d'enveloppe de 2 mm et une permittivité relative d'enveloppe de 2,56. Les paramètres diélectriques du liquide sont tels que définis dans le Tableau 1.

**Tableau B.2 – Valeurs numériques du DAS de référence pour les guides d'ondes adaptés de référence en contact avec le fantôme plan (de la référence [53])**

| Fréquence (MHz)                                                                                                                                                                                                                                             | DAS 1 g (W/kg/W) | DAS 10 g (W/kg/W) | DAS du point en fonction de la distance, $d$ (mm) dans le fantôme le long de sa ligne centrale |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5 200                                                                                                                                                                                                                                                       | 159,0            | 56,9              | $548,4 \exp(-2d/6,25)$                                                                         |
| 5 800                                                                                                                                                                                                                                                       | 181,2            | 61,5              | $682,0 \exp(-2d/5,57)$                                                                         |
| NOTE 1 Toutes les valeurs de DAS sont normalisées à la puissance directe de 1 W.                                                                                                                                                                            |                  |                   |                                                                                                |
| NOTE 2 Les valeurs du DAS de référence sur 1 g et 10 g ne sont valables que pour la procédure de validation du système, utilisant des guides d'ondes normalisés présentant des dimensions telles que définies dans l'Annexe D.                              |                  |                   |                                                                                                |
| NOTE 3 Si les valeurs de DAS dérivées de la puissance directe sont supérieures à la plage dynamique de la sonde, il convient d'utiliser des puissances plus faibles pour ne pas introduire une incertitude de mesure supplémentaire ou endommager la sonde. |                  |                   |                                                                                                |

## **Annexe C** **(informative)**

### **Essais de DAS rapides**

#### **C.1 Généralités**

La présente annexe spécifie une approche possible, portant sur des techniques d'évaluation rapide du DAS destinées à réduire le temps de mesure, afin d'identifier les conditions d'essai de DAS impliquant les valeurs les plus élevées. Les techniques de mesure rapide du DAS peuvent être classées en trois catégories, décrites dans les paragraphes suivants.

#### **C.2 Méthodes d'évaluation rapide du DAS, fondées sur des procédures de mesure et des techniques de post-traitement spécifiques**

Une première catégorie de techniques d'évaluation rapide du DAS est fondée sur une procédure de mesure modifiée et des algorithmes de post-traitement. En pratique, ces méthodes nécessitent un logiciel spécial, mais mettent en œuvre un système de mesure satisfaisant aux spécifications de l'Article 5. Ce type d'approche consiste généralement à diminuer la durée utilisée pour les mouvements mécaniques de la sonde en réduisant significativement le nombre de points de mesure et en appliquant des processus d'interpolation et d'extrapolation adaptés [4], [9], [42], [43], [54], [55], [58]. En particulier, certaines de ces méthodes, par exemple les méthodes [9], [43], [54], nécessitent uniquement un balayage de zone à grosse maille et procèdent à l'extrapolation de toutes les données volumétriques.

Par définition, les contributions des contraintes mécaniques au bilan d'incertitude (7.2.3) demeurent inchangées lorsque ces techniques sont utilisées. Cependant, la contribution à l'incertitude du post-traitement (7.2.5) peut s'avérer différente. En particulier, les incertitudes dans la position du DAS crête et le calcul du DAS moyen sur la masse doivent être déterminées. Cependant, étant donné que l'étape du balayage-zoom est omise dans la plupart des techniques disponibles, les évaluations 7.2.5.3.1 et 7.2.5.3.2 doivent être envisagées d'une façon différente. Pour certaines méthodes, par exemple la méthode [9], les paramètres physiques (7.2.4) peuvent également influencer le bilan d'incertitude si les valeurs de DAS extrapolées dépendent de façon spécifique des paramètres diélectriques des liquides équivalant aux tissus.

#### **C.3 Méthodes d'évaluation rapide du DAS fondées sur des systèmes d'évaluation du DAS spécifiques**

La deuxième catégorie de techniques d'évaluation rapide du DAS comprend une diversité de techniques, qui mettent toutefois en œuvre des systèmes d'évaluation du DAS satisfaisant généralement aux spécifications de l'Article 5.

La plupart des techniques existantes et connues se concentrent également sur la réduction des mouvements de la sonde, notamment en utilisant plusieurs sondes ou un ensemble de sondes [8], [11], [36], [45], [57]. Des sondes de différents types peuvent être utilisées (par exemple, des sondes mesurant uniquement deux composantes de champ tangentiel, des sondes thermiques...), ainsi que différents types de fantômes (solides, remplis de gel...). Certains des systèmes, par exemple le système en [8], mettent en œuvre des technologies de sondes et un matériel électronique spécifiques qui permettent d'évaluer la phase du champ électrique dans un plan donné. Différents types d'algorithmes de post-traitement dédiés [8], [45] peuvent alors être utilisés pour reconstruire les données volumétriques à l'intérieur du fantôme.

En ce qui concerne le bilan d'incertitude, les contributions dues aux procédures de mesure et aux méthodes de post-traitement pour ces systèmes d'évaluation spécifiques peuvent être traitées comme en C.2. Toutefois, l'Article 7 peut ne pas suffire pour déterminer le bilan d'incertitude complet de toute méthode d'évaluation rapide du DAS. En effet, étant donné que cette classe de techniques met en œuvre du matériel spécifique, certaines contributions à l'incertitude dépendent du matériel. Un bilan d'incertitude adapté doit donc être évalué, suivant des justifications scientifiques ou techniques explicites.

## **C.4 Méthodes d'évaluation rapide du DAS fondées sur la recherche théorique des conditions d'essais de DAS impliquant les valeurs les plus élevées**

### **C.4.1 Généralités**

Un dispositif peut être utilisable avec plusieurs options d'antenne, de batteries et d'accessoires et le nombre de combinaisons possibles peut être très grand. Trois méthodes d'expérimentation classiques sont présentées ci-après. Ces méthodes peuvent présenter des inconvénients comparés à l'approche des plans d'expérience (DOE) décrite en 6.2.2.

### **C.4.2 Recherche d'un facteur à la fois (OFAT)**

Selon cette méthode, la personne qui réalise l'essai démarre avec une condition d'essai de référence, puis varie successivement les facteurs, à raison d'un facteur à la fois, tout en conservant l'ensemble des autres facteurs constants. Par exemple, cette condition peut être obtenue en variant d'abord les configurations d'antenne, puis les types de batteries, les types d'accessoires portables, et enfin les types d'accessoires audio. A la fin de chaque étape, le facteur qui fournit le DAS le plus élevé est sélectionné pour les étapes suivantes. L'inconvénient majeur de cette approche est qu'elle ne tient pas compte des interactions entre les différents types d'accessoires (par exemple l'interaction de la batterie et de l'antenne sur le DAS, qui n'est pas expliquée par les influences individuelles de chaque facteur). En cas d'interactions, l'approche OFAT peut ne pas permettre de trouver la solution optimale (c'est-à-dire le DAS le plus élevé).

### **C.4.3 Analyse des données non structurées**

Les données historiques constituent une source habituelle de données non structurées. Il s'agit généralement de données recueillies sans objectif spécifique ou à des fins différentes de celles de l'expérimentation en cours. Ces données peuvent être utiles pour identifier des tendances, cependant l'obtention d'une confiance élevée dans les résultats peut s'avérer très difficile.

Pour cette raison, il convient de vérifier tous les résultats de l'analyse des données non structurées (en utilisant par exemple un plan d'expérience (DOE)).

### **C.4.4 Hypothèse la plus probable**

L'approche de l'hypothèse la plus probable consiste à utiliser des connaissances techniques ou théoriques du DUT pour déterminer la façon dont il convient de procéder à l'expérimentation. Cette approche présente l'inconvénient que si la meilleure hypothèse de départ ne produit pas les résultats escomptés, la personne qui réalise l'expérimentation doit effectuer une nouvelle hypothèse et ce, sans garantie de succès. Pour cette raison, cette approche n'est pas adaptée à l'évaluation de la conformité du DAS.

## **Annexe D** **(informative)**

### **Sources et fantômes normalisés pour la validation du système**

#### **D.1 Dipôles**

Pour l'exposition d'un fantôme plan, il convient d'utiliser un dipôle de référence pour la fréquence requise. Les dipôles de référence sont définis pour les paramètres diélectriques spécifiques et l'épaisseur de l'enveloppe du fantôme indiquée dans le Tableau D.1. Il convient que le dipôle de référence soit positionné sous le bas du fantôme et centré avec son axe parallèle à la dimension la plus longue du fantôme. Un écarteur de faible perte et de faible permittivité relative peut être utilisé pour établir la distance correcte entre la surface haute du dipôle de référence et la surface du bas du fantôme. Il convient que l'écarteur ne modifie pas les valeurs de DAS moyen sur 1 g et 10 g de plus de 1 %. La distance entre la surface du bas du fantôme rempli de liquide et le centre du dipôle de référence, ( $s$ ), est spécifiée avec une tolérance de 0,2 mm pour chaque fréquence d'essai. Il convient que le dipôle de référence ait un affaiblissement de réflexion (mesuré dans le système d'essai) meilleur que -20 dB à la fréquence d'essai, afin de réduire l'incertitude sur la mesure de puissance. Pour tenir cette exigence, il est accepté de régler finement les dipôles de référence en utilisant des éléments de réglage en matériau diélectrique à faible perte ou métallique aux extrémités du dipôle. Voir la Figure D.1 et le Tableau D.1 pour les dimensions mécaniques du dipôle.

À des fréquences supérieures à 3 GHz, l'influence de l'écarteur sur l'impédance du dipôle peut être importante; en d'autres termes, l'écarteur n'est pas indépendant mais doit être considéré comme faisant partie intégrante du dipôle. De ce fait, le même écarteur, pour lequel le dipôle a été optimisé, doit toujours être utilisé. L'effet du changement de position de l'écarteur par rapport au point d'alimentation doit être évalué et pris en compte dans le bilan d'incertitude du dipôle (7.2.6).

#### **D.2 Valeurs de DAS cibles**

##### **D.2.1 Valeurs de DAS cibles en dessous de 3 GHz**

Les dimensions mécaniques des dipôles doivent être respectées, avec une tolérance meilleure que  $\pm 2$  %. Les valeurs cibles sont indiquées dans le Tableau B.1. Il est important de démontrer par des moyens numériques que cet écarteur ne modifie pas de plus de 1 % les valeurs de DAS moyen sur 1 g et 10 g.

##### **D.2.2 Valeurs de DAS cibles au-dessus de 3 GHz**

Contrairement aux valeurs cibles en dessous de 3 GHz, il n'est pas possible de fournir des valeurs cibles universelles au-dessus de 3 GHz, en raison de la plus grande influence de l'écarteur, du fond du fantôme et des tolérances mécaniques. Par conséquent, les valeurs cibles peuvent être différentes d'un dipôle à l'autre. Il est important de fournir une analyse entièrement documentée, fondée sur des simulations numériques, pour chaque dipôle utilisé pour la validation du système. Cette analyse doit comprendre une analyse de la sensibilité des tolérances mécaniques, la modélisation du point d'alimentation et les propriétés du fantôme.

**Tableau D.1 – Dimensions mécaniques des dipôles de référence**

| Fréquence | Épaisseur de l'enveloppe du fantôme | $L$   | $h$   | $d_1$ | $d_2$ |
|-----------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| MHz       | mm                                  | mm    | mm    | mm    | mm    |
| 300       | 6,3                                 | 396,0 | 250,0 | 6,35  |       |
| 300       | 2,0                                 | 420,0 | 250,0 | 6,35  |       |
| 450       | 6,3                                 | 270,0 | 166,7 | 6,35  |       |
| 450       | 2,0                                 | 290,0 | 166,7 | 6,35  |       |
| 750       | 2,0                                 | 176,0 | 100,0 | 6,35  |       |
| 835       | 2,0                                 | 161,0 | 89,8  | 3,6   |       |
| 900       | 2,0                                 | 149,0 | 83,3  | 3,6   |       |
| 1 450     | 2,0                                 | 89,1  | 51,7  | 3,6   |       |
| 1 800     | 2,0                                 | 72,0  | 41,7  | 3,6   |       |
| 1 900     | 2,0                                 | 68,0  | 39,5  | 3,6   |       |
| 1 950     | 2,0                                 | 66,3  | 38,5  | 3,6   |       |
| 2 000     | 2,0                                 | 64,5  | 37,5  | 3,6   |       |
| 2 450     | 2,0                                 | 51,5  | 30,4  | 3,6   |       |
| 2 585     | 2,0                                 | 49,1  | 29,0  | 3,6   |       |
| 2 600     | 2,0                                 | 48,5  | 28,8  | 3,6   |       |
| 3 000     | 2,0                                 | 41,5  | 25,0  | 3,6   |       |
| 3 500     | 2,0                                 | 37,0  | 26,4  | 3,6   |       |
| 3 700     | 2,0                                 | 34,7  | 26,4  | 3,6   |       |
| 5 000     | 2,0                                 | 20,6  | 40,3  | 3,6   | 2,1   |
| 6 000     | 2,0                                 | 20,6  | 40,3  | 3,6   | 2,1   |

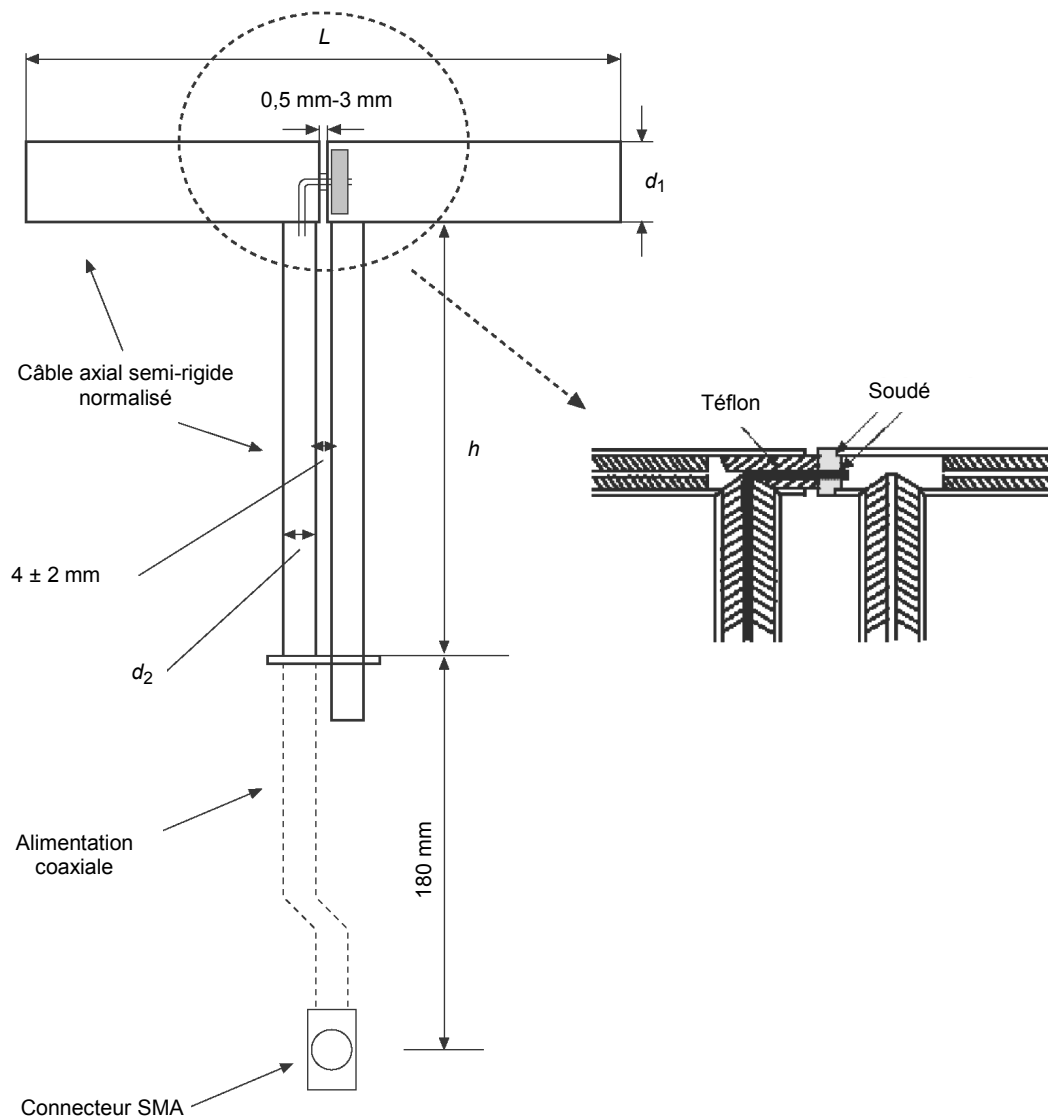
NOTE 1 Il convient que la tolérance de longueur  $L$ , de hauteur  $h$  et de profondeur  $d$  soit de l'ordre de  $\pm 2\%$

NOTE 2 Les valeurs pour la plage de 5 000 MHz à 6 000 MHz sont valables pour une épaisseur d'enveloppe de fantôme de 2 mm. L'affaiblissement de réflexion doit être supérieur à 20 dB (meilleur que -20 dB).

Pour les dipôles de référence décrits dans la présente annexe, la distance d'écartement  $s$  est donnée par:

- a)  $s = 15 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$  pour  $300 \text{ MHz} \leq f \leq 1\,000 \text{ MHz}$ ,
- b)  $s = 10 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$  pour  $1\,000 \text{ MHz} < f \leq 6\,000 \text{ MHz}$ .

Les bras du dipôle de référence doivent être parallèles à la surface plane du fantôme avec une tolérance de  $\pm 2^\circ$  ou moins (voir Figure D.2). Ceci peut être assuré en positionnant avec précaution le fantôme vide et le dipôle de référence dans le plan horizontal en utilisant un niveau à bulle.



### Légende

|       |                             |
|-------|-----------------------------|
| $L$   | longueur du dipôle          |
| $d_1$ | diamètre des bras du dipôle |
| $d_2$ | diamètre de l'embase        |
| $h$   | longueur du symétriseur     |

**Figure D.1 – Détails mécaniques du dipôle de référence**

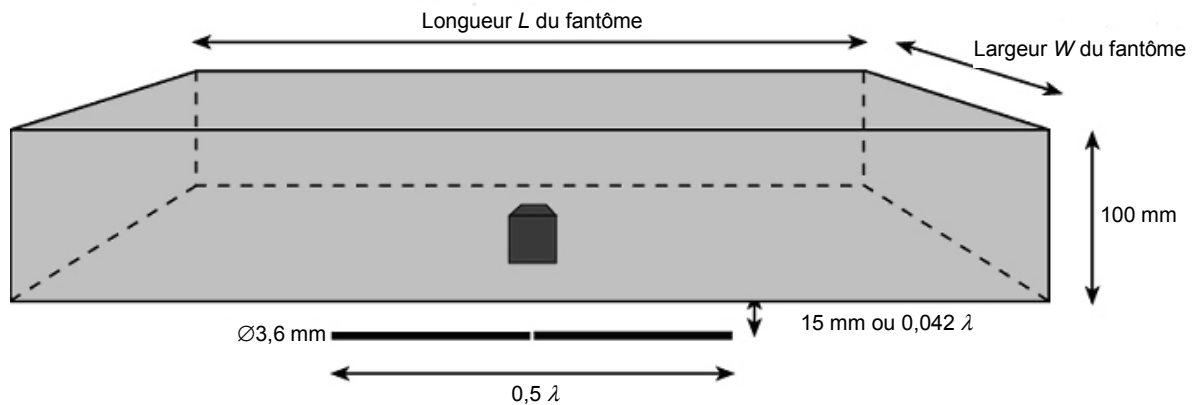
### D.3 Fantôme plan

L'influence des dimensions du fantôme plan (voir Figure D.2) sur l'énergie absorbée dans un cube de 10 g du fantôme liquide (sans son enveloppe) a été évaluée numériquement en utilisant un code FDTD du commerce. Le fantôme était illuminé avec une antenne dipôle adaptée à une distance de 15 mm ( $0,042 \lambda$  à 840 MHz). Les dimensions du fantôme ( $W$  et  $L$ ) variaient entre  $0,4 \lambda$  et  $3 \lambda$ . La puissance absorbée dans le cube a été alternativement normalisée à un courant au point d'alimentation de 1 A et à une puissance au point d'alimentation de 1 W. Bien que des écarts apparaissent pour la puissance absorbée dans le cube quand elle est normalisée soit à la puissance, soit au courant au point d'alimentation, les dimensions minimales pour maintenir l'incertitude en dessous de 1 % ont été déterminées pour les deux méthodes de normalisation. Les conditions ci-dessus sont respectées pour des

dimensions du fantôme plan supérieures à  $0,6 \lambda$  en longueur et supérieures à  $0,4 \lambda$  en largeur, comme illustré à la Figure D.3. L'influence de la largeur du fantôme n'est pas très forte. Cependant, il convient que la largeur ne soit pas inférieure à  $0,4 \lambda$  afin de maintenir l'écart de la puissance absorbée dans la limite de 1 %. Les dimensions du montage du fantôme peuvent être mises à l'échelle en termes de longueur d'onde dans l'espace libre. La dépendance par rapport aux propriétés du liquide n'est pas très critique tant que celui-ci a des pertes relativement élevées.

Les effets se traduisant par des différences dépendent des perturbations sur l'amplitude et la distribution spatiale du courant du dipôle. Puisque les dimensions du dipôle sont grandes par rapport aux volumes d'intégration du DAS, les perturbations croissent avec le volume. Bien que la profondeur utilisée dans cette étude soit de 100 mm au lieu de 150 mm, comme exigé pour le fantôme plan dans la présente annexe, elle est égale à 2,57 fois la profondeur de pénétration à 840 MHz. Par conséquent, la puissance réfléchiée à la surface du liquide est négligeable (moins de 1 %).

NOTE Du fait de ses grandes dimensions, un cube d'intégration de 10 g sera plus sensible aux modifications de dimensions, c'est-à-dire que l'incertitude associée à un cube d'intégration de 1 g est plus faible que celle associée à un cube d'intégration de 10 g.



#### Légende

$\lambda$  longueur d'onde dans l'espace libre

NOTE Un cube de 10 g est illustré au centre de la base du fantôme plan.

**Figure D.2 – Dimensions du montage du fantôme plan utilisé pour déduire les dimensions minimales pour  $W$  et  $L$**

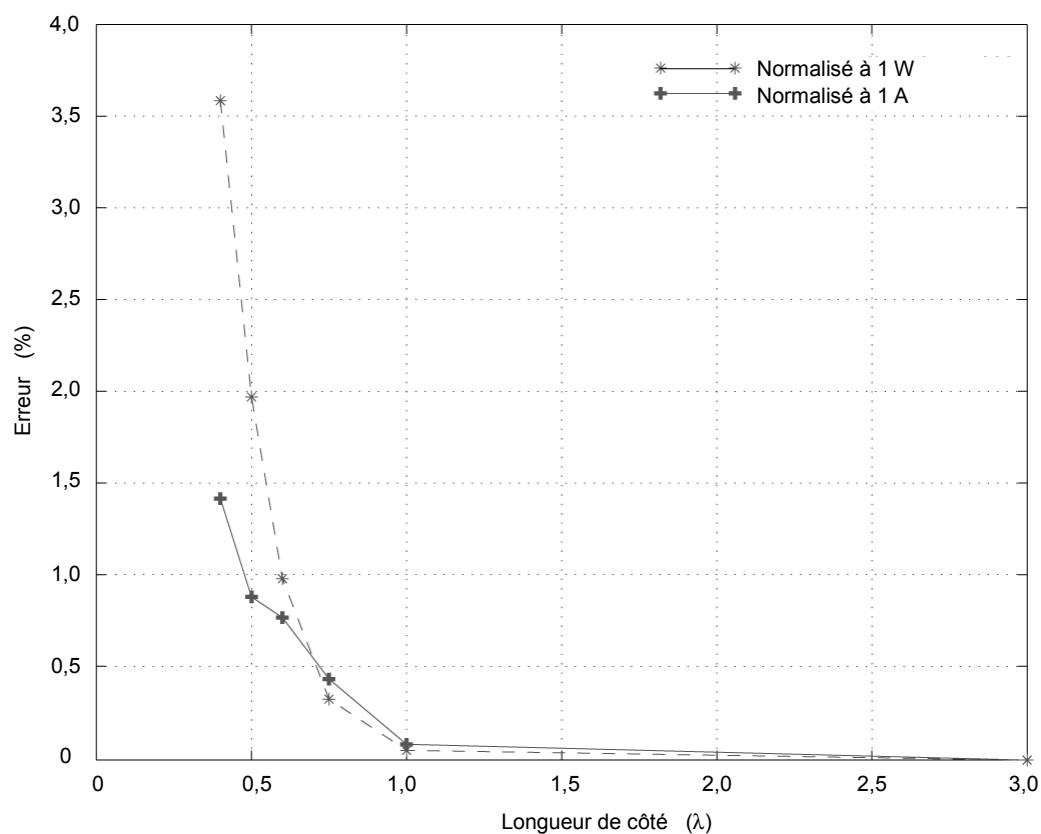


**Figure D.3 – Incertitude prédite par l'utilisation d'un code FDTD pour un DAS crête spatial moyen sur 10 g, en fonction des dimensions du fantôme plan comparativement à un fantôme plan infini**

**Tableau D.2 – Paramètres utilisés pour calculer les valeurs de DAS de référence du Tableau B.1**

| Fréquence<br>MHz | Épaisseur de<br>l'enveloppe du<br>fantôme<br>mm | Permittivité de<br>l'enveloppe du<br>fantôme | Dimensions de<br>fantôme utilisées<br>pour les modèles<br>FDTD<br>mm<br>x, y, z | Distance entre le<br>dipôle de référence<br>s et le liquide<br>mm |
|------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 300              | 6,3                                             | 3,7                                          | 1 000, 800, 170                                                                 | 15                                                                |
| 450              | 6,3                                             | 3,7                                          | 700, 600, 170                                                                   | 15                                                                |
| 750              | 2,0                                             | 3,7                                          | 700, 600, 170                                                                   | 15                                                                |
| 835              | 2,0                                             | 3,7                                          | 360, 300, 150                                                                   | 15                                                                |
| 900              | 2,0                                             | 3,7                                          | 360, 300, 150                                                                   | 15                                                                |
| 1 450            | 2,0                                             | 3,7                                          | 240, 200, 150                                                                   | 10                                                                |
| 1 800            | 2,0                                             | 3,7                                          | 220, 160, 150                                                                   | 10                                                                |
| 1 900            | 2,0                                             | 3,7                                          | 220, 160, 150                                                                   | 10                                                                |
| 1 950            | 2,0                                             | 3,7                                          | 220, 160, 150                                                                   | 10                                                                |
| 2 000            | 2,0                                             | 3,7                                          | 160, 140, 150                                                                   | 10                                                                |
| 2 450            | 2,0                                             | 3,7                                          | 180, 120, 150                                                                   | 10                                                                |
| 2 585            | 2,0                                             | 3,7                                          | 180, 120, 150                                                                   | 10                                                                |
| 2 600            | 2,0                                             | 3,7                                          | 180, 120, 150                                                                   | 10                                                                |
| 3 000            | 2,0                                             | 3,7                                          | 220, 160, 150                                                                   | 10                                                                |

| Fréquence<br>MHz | Épaisseur de<br>l'enveloppe du<br>fantôme<br>mm | Permittivité de<br>l'enveloppe du<br>fantôme | Dimensions de<br>fantôme utilisées<br>pour les modèles<br>FDTD<br>mm<br>x, y, z | Distance entre le<br>dipôle de référence<br>s et le liquide<br>mm |
|------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 3 500            | 2,0                                             | 3,7                                          | 174, 110, 150                                                                   | 10                                                                |
| 3 700            | 2,0                                             | 3,7                                          | 174, 110, 150                                                                   | 10                                                                |
| 5 000            | 2,0                                             | 3,7                                          | 90, 80, 35                                                                      | 10                                                                |
| 6 000            | 2,0                                             | 3,7                                          | 90, 80, 35                                                                      | 10                                                                |

NOTE Ce tableau représente les paramètres utilisés pour la modélisation numérique FDTD.

#### D.4 Dimensions mécaniques de la source à guide d'ondes normalisé

La source à guide d'ondes normalisé de la Figure D.4, avec les dimensions mécaniques indiquées dans le Tableau D.3 (correspondant au WR159 ou UK WG-13) produira les valeurs de DAS indiquées au Tableau B.2 lorsque l'essai de validation du système en B.3 est appliqué. Si les guides d'ondes utilisés ont des paramètres différents de ceux indiqués dans le Tableau D.3, ou si les guides d'ondes sont utilisés à des fréquences différentes de celles spécifiées dans le Tableau D.3, il convient que les valeurs de DAS de référence pour ces sources soient documentées et vérifiées de façon indépendante (par exemple, en comparant les simulations numériques aux mesures).

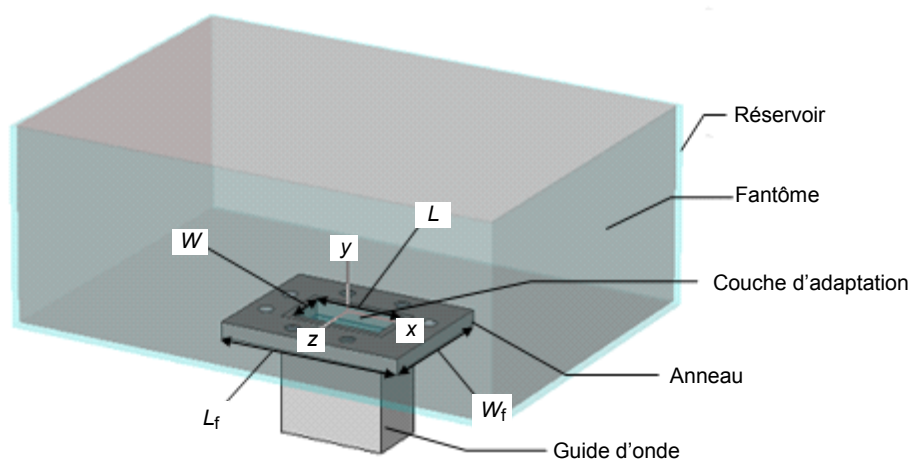


Figure D.4 – Source à guide d'ondes normalisé

**Tableau D.3 – Dimensions mécaniques du guide d'ondes normalisé**

| Fréquence                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Épaisseur de l'enveloppe du fantôme | $L$   | $W$   | $L_f$ | $W_f$ | $T$ | $\varepsilon_r$ |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-----|-----------------|
| MHz                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | mm                                  | mm    | mm    | mm    | mm    | mm  |                 |
| 5 200                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 2                                   | 40,39 | 20,19 | 81,03 | 61,98 | 5,3 | 6               |
| 5 800                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 2                                   | 40,39 | 20,19 | 81,03 | 61,98 | 4,3 | 6               |
| <p>NOTE <math>L</math> et <math>W</math> sont la longueur et la largeur internes du guide d'ondes, et <math>t</math> et <math>\varepsilon_r</math> sont l'épaisseur et la permittivité relative de la couche d'adaptation. <math>L_f</math> et <math>W_f</math> sont la longueur et la largeur externes de l'anneau. La couche d'adaptation est une plaque de séparation diélectrique sans perte qui remplit la section transversale <math>L \times W</math> du guide d'ondes. Le guide d'ondes et la couche d'adaptation sont en contact direct avec l'enveloppe du fantôme.</p> |                                     |       |       |       |       |     |                 |

## Annexe E (informative)

### Exemple de formulations pour les liquides équivalant aux tissus

#### E.1 Généralités

Les propriétés diélectriques du liquide utilisé dans le fantôme doivent être celles énumérées dans le Tableau 1. Pour les propriétés diélectriques du liquide équivalant aux tissus à d'autres fréquences de la gamme de fréquences, une méthode d'interpolation linéaire doit être utilisée. Le Tableau E.1 suggère des exemples de formulations pour des liquides ayant les paramètres définis au Tableau 1.

L'Annexe I de la CEI 62209-1:2005 fournit d'autres exemples de formulations.

#### ATTENTION

Pour assurer la sécurité des personnes, les utilisateurs doivent suivre les instructions fournies dans les feuilles de données de sécurité des matériaux (MSDS) pour chaque matériau et/ou toute réglementation locale.

#### E.2 Constituants

Les constituants suivants sont utilisés pour produire les liquides équivalant aux tissus:

- a) Saccharose (sucre) (pureté >98 %)
- b) Chlorure de sodium (sel) (pureté >99 %)
- c) Eau déionisée (résistivité minimum de 16 MΩ cm)
- d) Hydroxyéthyl cellulose (HEC)
- e) Bactéricide
- f) Diéthylène Glycol Butyl Ether (DGBE) (pureté >99 %)
- g) Ether de Diéthylène Glycol monohexyl
- h) Polyéthylène glycol mono [4-(1,1,3,3-tétraméthylbutyl)phényl'éther]. Disponible sous l'appellation "Triton X-100". Le grade du Triton X-100 doit être "ultra pur" pour simuler la composition du sel.
- i) Diacétine
- j) 1,2-Propanediol
- k) Monolaurate de polyoxyéthylène-20-sorbitan (Tween 20)
- l) Émulsifiants
- m) Huile minérale

NOTE 1 Il convient que la viscosité des liquides équivalant aux tissus basés sur le HEC soit suffisamment faible pour ne pas affecter les mouvements de la sonde de champ E.

NOTE 2 Ajouter le sel à l'eau pour faire la solution saline, puis ajouter le Triton X-100.

NOTE 3 Les résultats réels et les pourcentages des mélanges peuvent s'écarter de ceux indiqués, selon le grade et le type de constituants utilisés.

NOTE 4 Les formulations contenant du Triton X-100 sont en révision et vérification.

E.3 Formules de liquides équivalent aux tissus (permittivité/conductivité)

Tableau E.1 – Formulations suggérées pour obtenir les paramètres diélectriques cibles

| Fréquence (MHz)                            | 30    | 50    |       | 144   |       | 450   |      | 835   | 900   |      |
|--------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|
| Numéro de la source de formulation         | 3     | 3     | 2     | 2     | 3     | 2     | 4    | 2     | 2     | 4    |
| Constituants (% en poids)                  |       |       |       |       |       |       |      |       |       |      |
| Eau déionisée                              | 48,30 | 48,30 | 53,53 | 55,12 | 48,30 | 48,53 | 56   | 50,36 | 50,31 | 56   |
| Tween                                      |       |       | 44,70 | 43,31 |       | 49,51 |      | 48,39 | 48,34 |      |
| Huile minérale oxydée                      |       |       |       |       |       |       | 44   |       |       | 44   |
| Éther de Diéthylène Glycol monohexyl       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |      |
| Triton X-100                               |       |       |       |       |       |       |      |       |       |      |
| Diacétine                                  | 50,00 | 50,00 |       |       | 50,00 |       |      |       |       |      |
| DGBE                                       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |      |
| NaCl                                       | 1,60  | 1,60  | 1,77  | 1,57  | 1,60  | 1,96  |      | 1,25  | 1,35  |      |
| Additifs et sel                            | 0,10  | 0,10  |       |       | 0,10  |       |      |       |       |      |
| Paramètres diélectriques mesurés           |       |       |       |       |       |       |      |       |       |      |
| $\epsilon_r'$                              | 54,2  | 53,1  | 54,54 | 52,81 | 51,0  | 43,29 | 42,3 | 41,6  | 41,0  | 40,6 |
| $\sigma$ (S/m)                             | 0,75  | 0,75  | 0,76  | 0,76  | 0,77  | 0,88  | 0,84 | 0,90  | 0,98  | 0,98 |
| Temp. (°C)                                 |       |       | 21    | 21    |       | 21    | 20   | 21    | 21    | 20   |
| $\epsilon_{temp\_liquid\_incertitude}$ (%) | 0,8   | 0,1   |       |       | 0,1   | 0,1   |      | 0,04  | 0,04  |      |
| $\sigma_{temp\_liquid\_incertitude}$ (%)   | 2,8   | 2,8   |       |       | 2,6   | 4,2   |      | 1,6   | 1,6   |      |
| Valeurs cibles (du Tableau 1)              |       |       |       |       |       |       |      |       |       |      |
| $\epsilon_r'$                              | 55,0  | 54,5  |       | 52,4  |       | 43,5  |      | 41,5  |       | 41,5 |
| $\sigma$ (S/m)                             | 0,75  | 0,75  |       | 0,76  |       | 0,87  |      | 0,90  |       | 0,97 |

**Tableau E.1 (suite)**

| Fréquence (MHz)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 1 800 |      | 2 450 | 4 000 | 5 000 | 5 200 | 5 800 | 6 000 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Numéro de la source de formulation                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 2     | 4    | 4     | 4     | 4     | 1     | 1     | 4     |
| <b>Constituants (% en poids)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |       |      |       |       |       |       |       |       |
| Eau déionisée                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 54,23 | 56   | 56    | 56    | 56    | 65,53 | 65,53 | 56    |
| Tween                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 45,27 |      |       |       |       |       |       |       |
| Huile minérale oxydée                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |       | 44   | 44    | 44    | 44    |       |       | 44    |
| Éther de diéthylène glycol monohexyl                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |       |      |       |       |       | 17,24 | 17,24 |       |
| Triton X-100                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |       |      |       |       |       | 17,24 | 17,24 |       |
| Diacétine                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |       |      |       |       |       |       |       |       |
| DGBE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |       |      |       |       |       |       |       |       |
| NaCl                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0,50  |      |       |       |       |       |       |       |
| Additifs et sel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |       |      |       |       |       |       |       |       |
| <b>Paramètres diélectriques mesurés</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |       |      |       |       |       |       |       |       |
| $\epsilon_r'$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 40,2  | 38,9 | 37,9  | 35,8  | 34    | 36,8  | 35,2  | 32,2  |
| $\sigma$ (S/m)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 1,41  | 1,42 | 1,83  | 3,18  | 4,29  | 4,60  | 5,29  | 5,44  |
| Temp. (°C)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 21    | 20   | 20    | 20    | 20    | 22    | 22    | 20    |
| $\epsilon_{\text{temp\_liquid}}'_{\text{incertitude}}$ (%)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 0,4   |      |       |       |       | 1,7   | 1,8   |       |
| $\sigma_{\text{temp\_liquid}}'_{\text{incertitude}}$ (%)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 2,3   |      |       |       |       | 2,7   | 2,6   |       |
| <b>Valeurs cibles (du Tableau 1)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |       |      |       |       |       |       |       |       |
| $\epsilon_r'$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 40,0  |      | 39,2  | 37,4  | 36,2  | 36,0  | 35,3  | 35,3  |
| $\sigma$ (S/m)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 1,40  |      | 1,8   | 3,43  | 4,45  | 4,66  | 5,07  | 5,27  |
| NOTE 1 Des colonnes multiples sous une fréquence unique indiquent des formulations optionnelles.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |       |      |       |       |       |       |       |       |
| NOTE 2 Numéro de formule, référence:, 1 [vérifié par différents laboratoires], 2 [20], 3 [64], 4 [65].                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |       |      |       |       |       |       |       |       |
| NOTE 3 Les valeurs de $\epsilon_{\text{temp\_liquid}}'_{\text{incertitude}}$ et $\sigma_{\text{temp\_liquid}}'_{\text{incertitude}}$ sont les incertitudes de la température du liquide décrites en 7.2.4.4, fondées sur les mesures des formulations de liquides applicables indiquées ci-avant. Ces valeurs ne sont pas indiquées dans les publications d'origine mais ont été développées par la suite par l'équipe projet. |       |      |       |       |       |       |       |       |

## Annexe F (normative)

### Correction de DAS pour les écarts de permittivité complexe par rapport aux cibles

#### F.1 Généralités

Dans la présente norme, les paramètres diélectriques du liquide équivalant aux tissus utilisés pour la mesure du DAS sont choisis afin de déterminer une valeur de DAS conservatrice en ce qui concerne l'exposition d'une personne. Les écarts des paramètres diélectriques par rapport aux valeurs cibles peuvent conduire à une incertitude de mesure. Cette dernière peut être réduite en conservant les paramètres diélectriques des liquides équivalant aux tissus dans une tolérance serrée des cibles (par exemple, de l'ordre de  $\pm 5\%$ ). Cependant, il peut s'avérer difficile de trouver des formulations de liquides adaptées et stables dont les paramètres diélectriques sont proches des cibles, en particulier à des fréquences supérieures à 2 GHz. Ce problème peut être résolu des trois façons suivantes:

- a) en modifiant les paramètres diélectriques cibles pour qu'ils correspondent à ceux des formulations de liquides disponibles;
- b) en élargissant la tolérance (sans corriger le DAS compte tenu de l'écart des paramètres diélectriques);
- c) en élargissant la tolérance et en corrigeant la valeur de DAS compte tenu de l'écart des paramètres diélectriques mesurés par rapport aux valeurs cibles.

La troisième solution est la meilleure parce que la modification des cibles peut restreindre la norme à des formulations de liquides données et parce que le simple élargissement de la tolérance augmente l'incertitude de mesure.

La méthodologie utilisée pour déterminer la correction du DAS est décrite dans [13] et [14]. La méthodologie a été appliquée sur une gamme de fréquences de 30 MHz à 6 000 MHz. Elle a également été étudiée pour des plages de permittivité et de conductivité de  $\pm 20\%$  par rapport aux valeurs cibles indiquées dans le Tableau 1, mais des plages de  $\pm 10\%$  ont été choisies pour la présente norme, comme décrit en 6.1.1. Étant donné que la modification des paramètres diélectriques influence le facteur de conversion de la sonde, cette influence sera faible si une plage de  $\pm 10\%$  est utilisée (voir [13]).

#### F.2 Formule de correction du DAS

À partir des publications [13] et [14], une relation linéaire a été identifiée entre la variation de pourcentage du DAS (désigné  $\Delta DAS$ ) et la variation de pourcentage de la permittivité et de la conductivité par rapport aux valeurs cibles indiquées dans le Tableau 1 (respectivement  $\Delta \epsilon_r$  et  $\Delta \sigma$ ). Cette relation linéaire concorde avec les résultats de Kuster et Balzano [48] et ceux de Bit-Babik et al. [2]. La relation est donnée par l'équation suivante:

$$\Delta DAS = c_\epsilon \Delta \epsilon_r + c_\sigma \Delta \sigma \quad (F.1)$$

où

- |                                                               |                                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $c_\epsilon = \partial(\Delta DAS)/\partial(\Delta \epsilon)$ | donne les coefficients représentant la sensibilité du DAS à la permittivité lorsque le DAS est normalisé à la puissance de sortie; |
| $c_\sigma = \partial(\Delta DAS)/\partial(\Delta \sigma)$     | donne les coefficients représentant la sensibilité du DAS à la conductivité lorsque le DAS est normalisé à la puissance de sortie. |

Les valeurs de  $c_\varepsilon$  et  $c_\sigma$  ont une relation simple avec la fréquence, qui peut être décrite par des équations polynomiales. Pour le DAS moyen sur 1 g, les variables  $c_\varepsilon$  et  $c_\sigma$  sont données par:

$$c_\varepsilon = -7,854 \times 10^{-4} f^3 + 9,402 \times 10^{-3} f^2 - 2,742 \times 10^{-2} f - 0,202 \ 6 \quad (\text{F.2})$$

$$c_\sigma = 9,804 \times 10^{-3} f^3 - 8,661 \times 10^{-2} f^2 + 2,981 \times 10^{-2} f + 0,782 \ 9 \quad (\text{F.3})$$

où

$f$  est la fréquence en GHz.

Pour le DAS moyen sur 10 g, les variables  $c_\varepsilon$  et  $c_\sigma$  sont données par:

$$c_\varepsilon = 3,456 \times 10^{-3} f^3 - 3,531 \times 10^{-2} f^2 + 7,675 \times 10^{-2} f - 0,186 \ 0 \quad (\text{F.4})$$

$$c_\sigma = 4,479 \times 10^{-3} f^3 - 1,586 \times 10^{-2} f^2 - 0,197 \ 2 f + 0,771 \ 7 \quad (\text{F.5})$$

où

$f$  est la fréquence en GHz.

### F.3 Incertitude de la formule de correction

L'incertitude de puissance moyenne des équations données à l'Article F.2, définie dans [13] comme l'erreur quadratique entre l'écart de DAS prédit par les formules et l'écart simulé sur 440 cas analysés, est indiquée au Tableau F.1 pour le DAS crête spatial moyen sur 1 g et le DAS crête spatial moyen sur 10 g. Le Tableau F.1 montre l'accroissement de l'erreur de puissance moyenne à mesure qu'augmente la valeur maximale admissible de  $\Delta\varepsilon_r$  et  $\Delta\sigma$ . Il a également été montré dans [13] que ces corrections sont valables pour des modèles de combinés sans fil réalistes.

**Tableau F.1 – Erreur quadratique moyenne (EQM) des Equations (F.1) à (F.3) en fonction de la variation maximale de permittivité ou de conductivité [13]**

| Variation max.<br>$\varepsilon_r$ ou $\sigma$ | Incertitude EQM<br>pour le<br>DAS <sub>1g</sub><br>% | Incertitude EQM<br>pour le<br>DAS <sub>10g</sub><br>% |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| ± 5 %                                         | 1,2                                                  | 0,97                                                  |
| ± 10 %                                        | 1,9                                                  | 1,6                                                   |

A l'aide de cette approche, l'incertitude de mesure est moins grande, étant donné que cette correction élimine le besoin en éléments d'incertitude qui expliquent l'écart des paramètres diélectriques par rapport aux cibles. Au lieu de cela, il existe un élément d'incertitude qui représente l'erreur de la formule de correction. La valeur de cet élément d'incertitude est indiquée dans le Tableau F.1. Pour un écart de permittivité et de conductivité de ± 10 %, entrer respectivement 1,9 % et 1,6 % dans le bilan d'incertitude pour le DAS moyen sur 1 g et 10 g. Il convient que ces valeurs d'incertitude soient entrées dans les lignes des Tableaux 5, 6 et 7 qui conviennent, en partant de l'hypothèse d'une distribution de probabilité normale.

## **Annexe G** (informative)

### **Essais des kits mains libres**

#### **G.1 Concept**

La présente annexe se base sur la publication [3] qu'il convient de consulter pour de plus amples informations.

L'annexe suivante décrit une procédure adaptée à l'évaluation du DAS dans la tête, à partir d'un kit mains libres à oreillettes avec fil. Il est à remarquer que d'autres procédures respectant les mêmes principes de base seront également adaptées.

Il convient d'utiliser un montage expérimental conçu selon les principes exposés dans la CEI 62209-1:2005 et dans la présente norme. Il convient d'utiliser une sonde miniature isotrope de champ E pour procéder aux mesures du champ électrique dans le liquide équivalant aux tissus de la tête, en suivant les procédures normalisées reconnues.

Il convient d'utiliser les configurations présentées dans les Figures G.1 et G.2 pour effectuer une comparaison correcte.

Bien que la présente norme adopte le fantôme plan, les essais des kits mains libres utilisant le fantôme plan n'ont pas été établis. En outre, il n'a pas été fourni de forme et taille exactes du fantôme avec le torse. La présente annexe indique seulement comment effectuer une évaluation à bon escient des kits mains libres.



**Figure G.1 – Configuration avec kit mains libres à oreillettes avec fil**



**Figure G.2 – Configuration sans kit mains libres à oreillettes avec fil**

Il convient d'utiliser le liquide simulant les tissus de la tête à la fréquence de fonctionnement appropriée, tel que défini dans la CEI 62209-1:2005.

Les deux conditions à soumettre à essai sont les suivantes:

- le modèle en fibre de verre est rempli de liquide simulant les tissus uniquement dans la région de la tête;
- l'ensemble du fantôme est rempli.

Dans les deux configurations, il convient que le téléphone soit placé à proximité de l'oreille, puis à la taille, les oreillettes étant reliées au téléphone par des fils et placées au niveau des oreilles. Le balayage doit se concentrer sur une zone de 32 mm × 32 mm au niveau de l'oreille. Cette zone a été choisie pour l'identification des changements de DAS à proximité de l'oreille. Il convient que le DAS maximal dans la tête soit également mesuré.

Il convient que les fantômes humains, utilisés pour des mesures impliquant un accessoire «mains libres» comprennent le torse, en d'autres termes, les mesures ne doivent pas être effectuées uniquement sur un fantôme de tête.

Cette condition a une influence importante sur les résultats car l'énergie RF couplée dans les fils des accessoires mains libres est fortement atténuée par le corps.

## **G.2 Exemples de résultats**

Cas du fantôme partiellement rempli de liquide simulant les tissus, haut-parleur du téléphone centré au niveau de l'oreille du fantôme. Le DAS crête spatial moyen sur 1 g de 1,2 W/kg était situé au-dessous de l'oreille. Le DAS crête spatial moyen sur 1 g à l'emplacement de l'oreille était d'environ 0,4 W/kg. Aucune modification importante n'a été constatée dans les résultats de cette mesure lorsque le torse a été également rempli de liquide simulant les tissus, étant donné que le téléphone interagit principalement avec la tête. L'accessoire comprenant les oreillettes a ensuite été mesuré. L'oreillette a été centrée au niveau du conduit auditif du fantôme et le téléphone a été placé à la ceinture (voir la Figure G.1). Dans ce cas (avec le torse vide), le DAS crête spatial moyen sur 1 g, mesuré à l'oreille (32 mm × 32 mm), était de 0,05 W/kg, affichant une réduction de 87 % (9 dB) par rapport au niveau du téléphone placé à l'oreille. La même configuration que dans le deuxième cas, mais avec le torse du fantôme complètement rempli de liquide simulant les tissus, a produit un DAS crête spatial moyen sur 1 g de 0,02 W/kg à proximité de l'oreille ou une réduction de 95 % (13 dB) par rapport au cas où le téléphone était placé à l'oreille.

### G.3 Commentaires

A partir de ces mesures, il est clair que: 1) le DAS à proximité de l'oreille, à l'endroit où était placée l'oreillette, est faible, comparé au DAS maximal produit par le téléphone; 2) le DAS maximal global ne se situe pas à proximité de l'oreille lorsque l'accessoire à oreillettes est utilisé; 3) la présence du torse atténue le champ provenant de l'accessoire à oreillettes, produisant un DAS inférieur, comparé à celui mesuré sans le torse. Il convient de noter que dans les situations ci-avant, le couplage entre le téléphone et l'accessoire à oreillettes était très fort, comme l'a montré la mesure supplémentaire du DAS maximal global dans la tête, en provenance de l'oreillette et sans la présence du torse (la même configuration que celle décrite ci-avant, pour la deuxième série de mesures). Ces mesures ont établi un DAS crête spatial moyen sur 1 g de 0,9 W/kg. De nouveau, il convient de noter que l'emplacement de ce DAS maximal ne se situe pas à proximité de l'oreillette, mais qu'il se déplace vers le bas pour se trouver sur la joue, où le courant correspondant dans le fil de l'oreillette est le plus fort. Ces résultats sont proches des résultats des calculs effectués avec le meilleur couplage entre le fil et la source RF, qui ont indiqué que la présence du torse induit une forte diminution du DAS maximal global dans la tête, même lorsque le fil est fortement couplé à la source RF (combiné).

La détermination expérimentale a également montré que le DAS produit par les accessoires à oreillettes placés à proximité de l'oreillette est toujours inférieur à celui produit par le téléphone placé à proximité de la tête. Il convient de noter que si la source RF principale est retirée de l'oreille, l'émetteur secondaire (oreillette) produit une exposition très inférieure à cet emplacement.

Bien que l'effet d'atténuation du corps puisse varier selon la position du fil par rapport au corps, si une grande partie du fil du kit mains libres est proche du corps de l'utilisateur, le DAS mesuré dans la région de l'oreille peut être inférieur de plus de 10 dB par rapport au DAS mesuré à partir du combiné seul, placé à proximité de la tête.

## Annexe H (informative)

### Facteur d'amplification de la peau

NOTE L'équipe projet est consciente du fait que le champ d'application consiste à élaborer une norme de mesure. Il n'est pas de la compétence de la CEI de définir des limites d'exposition. Le paramètre appliqué actuellement pour les restrictions de base entre 100 kHz et 10 GHz est le DAS. Afin d'obtenir une clarification à propos de la question soulevée dans la présente annexe, l'équipe projet 62209 a sollicité des conseils et des commentaires techniques auprès de la CIPRNI et de l'IEEE ICES.

#### H.1 Contexte

Au cours de l'élaboration de la présente norme de mesure, plusieurs études ([6], [7], [71]) ont indiqué que les mesures effectuées dans un fantôme homogène peuvent produire des valeurs de DAS local inférieures aux valeurs maximales dans un modèle de corps hétérogène et réaliste sur le plan anatomique à 1 900 MHz. Depuis lors, un certain nombre de projets de recherche et de simulations ont été entrepris au sein du Comité d'études 106 de la CEI pour vérifier ces résultats. Des simulations ont été effectuées avec des fantômes homogènes et des modèles constitués de couches simulant les muscles et la graisse cutanée. Les résultats de Christ ont été confirmés dans les simulations pour le paramètre de DAS.

La norme d'exposition de l'IEEE ICES C95.1 et les recommandations de la CIPRNI sont conçues pour protéger contre les effets indésirables établis sur la santé. La CIPRNI énonce dans [10], page 17: «*Established biological and health effects in the frequency range 10 MHz to a few GHz are consistent with responses to a body temperature rise of more than 1 °C.*» (Les effets biologiques et sanitaires établis dans la gamme de fréquences entre 10 MHz et quelques GHz sont cohérents avec les réponses à une augmentation de la température du corps de plus de 1 °C.). Néanmoins, des simulations de températures entraînent des distributions différentes comparées aux distributions de DAS (voir la Figure H.1), la distribution de l'augmentation de température étant beaucoup plus douce que la distribution de DAS correspondante. Ce résultat indique que les améliorations locales du DAS ne produisent pas en général une amélioration équivalente de l'augmentation de température en raison de la nature différente des phénomènes physiques sous-jacents: phénomènes ondulatoires pour le DAS et phénomènes de diffusion pour la température.

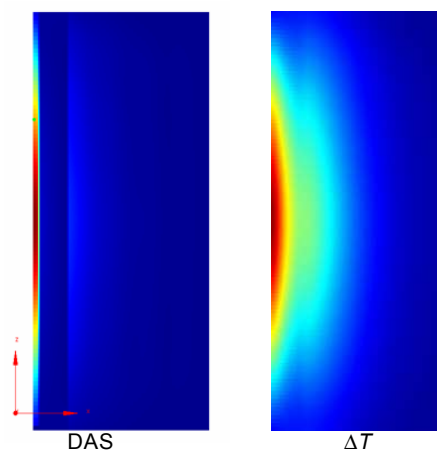


Figure H.1 – Distributions du DAS et de l'augmentation de température ( $\Delta T$ ) simulées pour un modèle de torse plan à trois couches (peau, graisse, muscle)

## H.2 Justification

Les valeurs de DAS local plus élevées dans du tissu hétérogène sont dues aux effets des ondes stationnaires pouvant se produire dans des conditions d'exposition semblables à un champ éloigné si une couche de tissu avec une faible teneur en eau (telle que de la graisse, des os ou du tissu mammaire) est enfermée entre deux tissus à teneur en eau élevée (tels que le muscle, la peau, la plupart des organes internes, etc.). La structure la plus courante est constituée d'une couche de graisse entre la peau et le muscle. Les ondes incidentes qui traversent la peau ne subissent quasiment aucune atténuation dans la couche de tissu adipeux suivante. Si l'épaisseur de la couche de graisse correspond à peu près à  $\lambda/4$ , la phase de l'onde réfléchie dans la couche de muscle générera une onde stationnaire avec son maximum dans la couche de peau. Cela entraînera une augmentation significative du DAS local dans la peau. Même si le DAS est intégré sur un volume cubique, ce qui dans ce cas donnera une proportion comparativement importante de tissu gras, le DAS mesuré dans le même volume de liquide équivalant au tissu homogène ne donnera pas une estimation conservatrice de l'exposition. Cet effet fait l'objet d'un débat et d'une quantification détaillés dans [6], [7].

## H.3 Simulations

L'équipe projet a étudié la littérature existante par rapport à l'âge, au sexe, à la race et aux sujets suivants:

- distribution statistique de l'épaisseur de l'épiderme plus le derme;
- distribution statistique de l'épaisseur de la couche de graisse;
- épaisseur donnée par l'écart moyen et l'écart type.

L'anatomie et la physiologie de la peau subissent des modifications tout au long de la vie. Diller [12] suppose que l'épaisseur de la peau des enfants correspond à 72 % de l'épaisseur de la peau des adultes.

Des positions d'appareils portés près du corps ont été choisies conformément à un rapport de l'Université Carnegie Mellon [26]. Ce rapport de l'Université Carnegie Mellon a identifié les régions du corps humain autour desquelles il est possible de porter des radios sans que les mouvements de la personne n'en soient gênés. La portabilité dynamique est limitée aux positions du corps suivantes:

- bras – triceps;
- avant-bras;
- haut du torse;
- dos – sous-scapulaire;
- dos – au-dessus du bassin;
- cheville;
- jambe – mollet;
- cuisse – devant;
- taille – latéralement.

L'épaisseur des tissus du corps varie selon les personnes. Les différentes épaisseurs ont une distribution de probabilité. Le DAS pour une peau et un tissu adipeux donnés ( $t_s$ ,  $t_f$ ) est pondéré conformément à  $p(t_s) p(t_f)$  par la probabilité d'épaisseur.

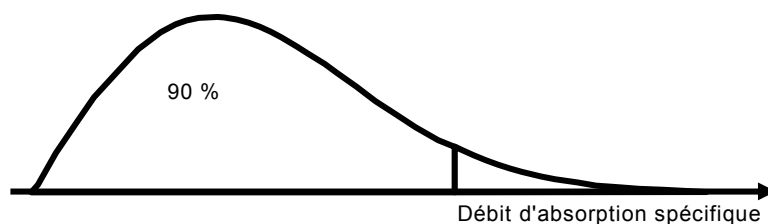


**Figure H.2 – Approche statistique pour protéger 90 % de la population**

Des simulations ont été effectuées pour les différentes zones de portabilité avec les données provenant des études des ouvrages de référence sur l'épaisseur de la peau et du tissu adipeux du corps humain [81]. Des antennes de longueurs électriques égales à  $0,5 \lambda$ ,  $0,47 \lambda$ ,  $0,35 \lambda$ ,  $0,23 \lambda$ ,  $0,10 \lambda$  et  $0,05 \lambda$  ont été analysées à des fréquences comprises entre 30 MHz et 6 GHz.

Le DAS augmenté a également varié avec la distance entre l'antenne et le corps. Cette distance dépend de la fréquence.

#### H.4 Recommandation

Les résultats de toutes les simulations des différentes épaisseurs de la peau, des différentes épaisseurs des couches adipeuses, des différents paramètres diélectriques, des différentes antennes et des différentes distances avec le corps ont été analysés. À partir de toutes les simulations, en adoptant un facteur d'élargissement protecteur de 90 % de la population (Figure H.2), des facteurs d'amplification de la peau peuvent être dérivés comme montré au Tableau H.1 et à la Figure H.3.

**Tableau H.1 – Facteurs de correction du DAS moyen**

| Bande de fréquence       | Distance appareil-fantôme | Facteur d'amplification de la peau <sup>a</sup> |
|--------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------|
| de 300 MHz à 800 MHz     | de 0 mm à 200 mm          | 1,0                                             |
| de 800 MHz à 1 000 MHz   | de 0 mm à 40 mm           | 1,0                                             |
|                          | de 40 mm à 45 mm          | interpolation linéaire entre 1,0 et 1,1         |
|                          | de 45 à 200 mm            | 1,1                                             |
| de 1 700 MHz à 3 000 MHz | de 0 mm à 20 mm           | 1,0                                             |
|                          | de 20 mm à 35 mm          | interpolation linéaire entre 1,0 et 1,5         |
|                          | de 35 mm à 200 mm         | 1,5                                             |
| de 5 000 MHz à 6 000 MHz | de 0 mm à 200 mm          | 1,0                                             |

<sup>a</sup> Pour toutes les autres fréquences et distances, utiliser l'interpolation linéaire.

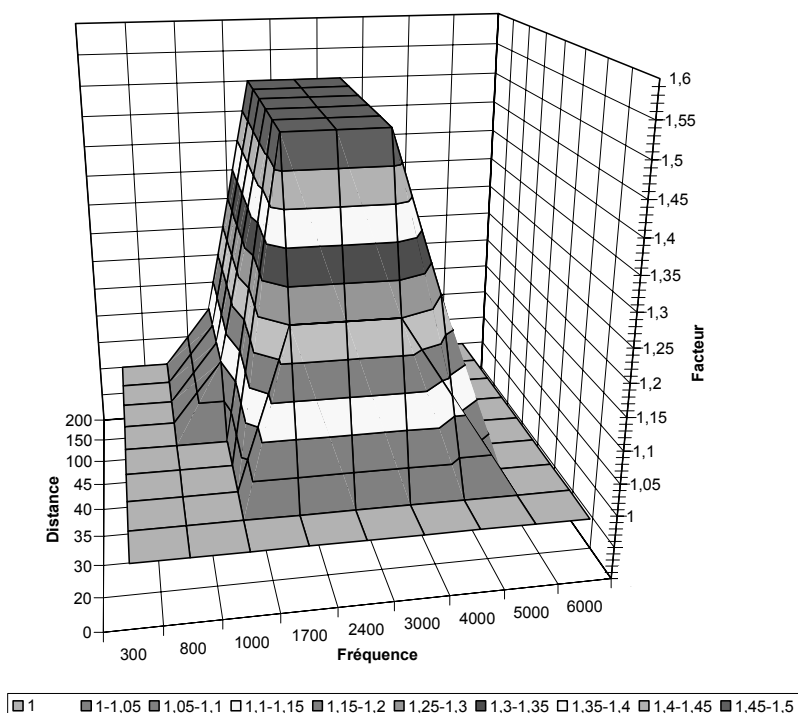


**Figure H.3 – Facteurs d'amélioration pour la peau du DAS moyen**

L'équipe de projet a demandé conseil à la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants et au Comité international pour la sécurité électrique afin de déterminer si ce facteur était nécessaire à l'évaluation de l'exposition. Le Comité international pour la sécurité électrique est arrivé à un consensus très clair:

- Il n'est pas nécessaire d'appliquer un facteur d'échelle pour limiter le DAS de la peau.
- La mesure du DAS dans un fantôme non homogène sans facteur d'échelle est adaptée pour protéger le public.

La Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants a répondu que ce point sera pris en compte dans la révision générale des recommandations RF.

Afin de quantifier l'éventuelle sous-estimation du DAS et de spécifier les conditions dans lesquelles cette sous-estimation va se produire, la présente annexe est conservée comme partie informative de la présente norme.

## Annexe I (informative)

### Mesures des propriétés diélectriques du liquide équivalent aux tissus et estimation de l'incertitude de mesure

L'Annexe J de la CEI 62209-1:2005 s'applique pour la mesure des propriétés diélectriques des liquides et l'estimation de l'incertitude. Pour la gamme de fréquences de 30 MHz à 6 GHz, les Tableaux I.1 et I.2 doivent être utilisés à la place des Tableaux J.1 et J.2 de la CEI 62209-1:2005.

**Tableau I.1 – Paramètres pour le calcul des propriétés diélectriques  
de différents liquides de référence**

| Liquide de référence                                                                                                                                                                                   | Temp.<br>°C | Réf.              | Modèle        | $\epsilon_s$ | $\epsilon_\infty$ | $\tau$ (ps) | $\beta$ |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------|---------------|--------------|-------------------|-------------|---------|
| Eau déionisée                                                                                                                                                                                          | 20          | [29]              | Debye         | 80,21        | 5,6               | 9,36        | 1       |
| Eau déionisée                                                                                                                                                                                          | 25          | [29]              | Debye         | 78,36        | 5,2               | 8,27        | 1       |
| DMS                                                                                                                                                                                                    | 20          | [28] <sup>a</sup> | Debye         | 47,13        | 7,13              | 21,27       | 1       |
| DMS                                                                                                                                                                                                    | 25          | [28] <sup>a</sup> | Debye         | 46,48        | 6,63              | 19,18       | 1       |
| DMS                                                                                                                                                                                                    | 25          | [29]              | Cole-Davidson | 47,0         | 3,9               | 21,1        | 0,878   |
| Éthanediol                                                                                                                                                                                             | 20          | [23] <sup>b</sup> | Cole-Davidson | 41,5         | 3,8               | 157,18      | 0,82    |
| Éthanediol                                                                                                                                                                                             | 20          | [23] <sup>c</sup> | Cole-Davidson | 41,9         | 5,02              | 161,4       | 0,88    |
| Méthanol                                                                                                                                                                                               | 20          | [23]              | Debye         | 33,90        | 4,70              | 53,20       | 1       |
| Méthanol                                                                                                                                                                                               | 20          | [20]              | Debye         | 33,7         | 4,8               | 53,8        | 1       |
| Méthanol                                                                                                                                                                                               | 20          | [28] <sup>a</sup> | Debye         | 33,64        | 5,68              | 56,6        | 1       |
| Méthanol                                                                                                                                                                                               | 25          | [28] <sup>a</sup> | Debye         | 32,67        | 5,58              | 50,8        | 1       |
| <sup>a</sup> Données provenant de mesures à 5 GHz seulement.<br><sup>b</sup> Formulation valide dans la gamme de 130 MHz à 20 GHz.<br><sup>c</sup> Formulation valide dans la gamme de 30 MHz à 5 GHz. |             |                   |               |              |                   |             |         |

**Tableau I.2 – Propriétés diélectriques de liquides de référence à 20 °C**

| Fréquence                                                    | Méthanol<br>[21] |          | DMS<br>[28]        |                   | Eau déionisée<br>[37] |          | Éthanediol<br>[51] |          |
|--------------------------------------------------------------|------------------|----------|--------------------|-------------------|-----------------------|----------|--------------------|----------|
| MHz                                                          | $\varepsilon_r'$ | $\sigma$ | $\varepsilon_r'$   | $\sigma$          | $\varepsilon_r'$      | $\sigma$ | $\varepsilon_r'$   | $\sigma$ |
| 30                                                           | 33,64            | 0,000 50 | 47,13              | 0,000 27          | 80,2                  | 0,000 22 | 41,87              | 0,001 6  |
| 150                                                          | 33,56            | 0,012    | 47,11              | 0,006 7           | 80,2                  | 0,005 5  | 40,89              | 0,038    |
| 300                                                          | 33,33            | 0,049    | 47,07              | 0,027             | 80,19                 | 0,02     | 39,21              | 0,14     |
| 450                                                          | 32,94            | 0,11     | 46,99              | 0,060             | 80,16                 | 0,05     | 36,78              | 0,29     |
| 750                                                          | 31,95            | 0,29     | 46,73              | 0,17              | 80,07                 | 0,14     | 30,73              | 0,66     |
| 835                                                          | 31,37            | 0,35     | 46,64              | 0,20              | 80,03                 | 0,17     | 29,53              | 0,76     |
| 900                                                          | 31,04            | 0,41     | 46,56              | 0,24              | 80,00                 | 0,20     | 28,38              | 0,83     |
| 1 450                                                        | 27,77            | 0,92     | 45,68              | 0,60              | 79,67                 | 0,51     | 20,63              | 1,36     |
| 1 800                                                        | 25,51            | 1,27     | 44,94              | 0,91              | 79,38                 | 0,78     | 17,38              | 1,61     |
| 1 900                                                        | 24,88            | 1,37     | 44,71              | 1,01              | 79,29                 | 0,87     | 16,64              | 1,66     |
| 2 000                                                        | 24,25            | 1,47     | 44,46              | 1,11              | 79,19                 | 0,96     | 15,96              | 1,72     |
| 2 450                                                        | 21,57            | 1,89     | 43,25              | 1,61              | 78,69                 | 1,44     | 13,53              | 1,92     |
| 2 600                                                        | 21,11            | 2,07     | 42,82              | 1,79              | 78,51                 | 1,61     | 12,88              | 1,94     |
| 3 000                                                        | 18,76            | 2,33     | 41,59              | 2,31              | 77,96                 | 2,13     | 11,53              | 2,11     |
| 4 000                                                        | 15,17            | 3,12     | 38,24              | 3,70              | 76,30                 | 3,70     | 9,36               | 2,34     |
| 5 000                                                        | 12,40            | 3,58     | 34,78              | 5,14              | 74,27                 | 5,62     | 8,12               | 2,51     |
| 6 000                                                        | 10,51            | 3,89     | 31,48 <sup>a</sup> | 6,52 <sup>a</sup> | 71,95                 | 7,81     | 7,33               | 2,64     |
| <sup>a</sup> Données provenant de mesures à 5 GHz seulement. |                  |          |                    |                   |                       |          |                    |          |

## **Annexe J** (informative)

### **Essais de conformité pour l'exposition de la main**

#### **J.1 Objet**

La présente annexe informe l'utilisateur de la présente norme de l'état de développement des protocoles de mesure du DAS pour les appareils tenus à la main tels que définis en 3.11.

En ce qui concerne la modélisation de la main, il est difficile, sur le plan pratique, de spécifier une position unique de main tenant un téléphone mobile, qui soit applicable à tous les appareils. De plus, des études dosimétriques suggèrent qu'exclure la main de la modélisation constitue un scénario de cas conservateur pour le DAS dans la tête [26]. Pour ces raisons, dans la présente norme, l'appareil en essai ne correspond pas à un modèle tenu dans la main pendant les évaluations du DAS effectuées dans une plage de distance de 200 mm à partir de la tête et du torse. En ce qui concerne exclusivement l'exposition de la main à des distances supérieures à 200 mm de la tête ou du torse, voir l'Article J.3.

#### **J.2 Généralités**

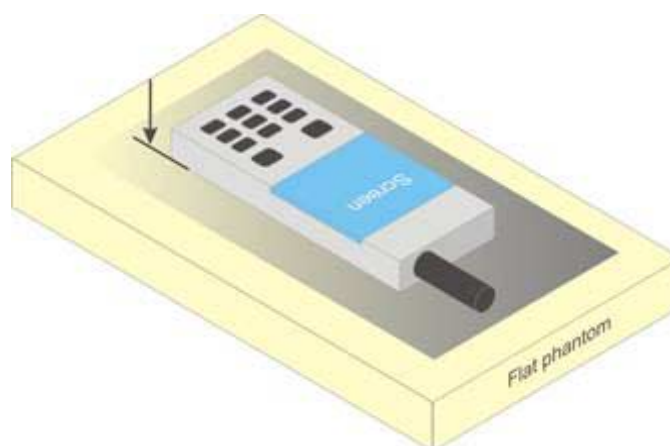
La main comporte un grand nombre d'os, de ligaments, de muscles, de nerfs et de vaisseaux sanguins.

Le DAS de la main provoqué par un appareil sans fils tenu à la main est supposé inférieur au DAS provoqué dans le tissu humide approchant le fantôme plat homogène; cependant les données des études corroborant cette hypothèse ne sont pas encore disponibles.

Exemple type d'appareil tenu à la main: un assistant numérique personnel sans fils avec module RF intégré destiné à être tenu à la main à une distance supérieure à 200 mm de la tête et du corps pendant son utilisation. Cette procédure ne s'applique pas aux appareils destinés à être tenus à la main pour pouvoir les utiliser près de l'oreille (voir la CEI 62209-1:2005) ou portés près du corps pendant l'émission.

#### **J.3 Procédure**

L'appareil doit être placé directement contre le fantôme plan comme illustré à la Figure J.1, pour les côtés de l'appareil qui sont en contact avec la main pendant l'utilisation prévue.



| Anglais      | Français     |
|--------------|--------------|
| Screen       | Écran        |
| Flat phantom | Fantôme plan |

**Figure J.1 – Position d'essai des appareils tenus à la main, pas utilisés sur la tête ou le torse**

#### **J.4 Justification relative à l'évaluation des mesures des appareils tenus à la main**

Les méthodes de mesure décrites en 6.1.4.9 utilisent les mêmes fantômes et simulateurs de tissus pour la mesure du DAS que nous supposons conservatrice. L'élaboration de méthodes de mesure du DAS pour les mains est une tâche exigeante qui nécessite davantage de temps et de ressources. Pour ces raisons, ces méthodes seront révisées par les futurs amendements de la présente norme.

## Annexe K (informative)

### Réduction d'essai

#### K.1 Généralités

Le CE 106 est chargé d'établir des normes internationales relatives aux méthodes de mesure et de calcul destinées à évaluer l'exposition humaine aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques. Cette tâche consiste également à établir des méthodes d'évaluation de l'exposition produite par des sources spécifiques. Elle s'applique aux restrictions de base et aux niveaux de référence. Cependant, l'établissement de limites d'exposition n'entre pas dans le domaine d'application du CE 106.

Il est noté que cet établissement diffère des normes CEI sur la compatibilité électromagnétique de la perturbation rayonnée qui définissent des limites.

La présente norme fournit une méthode de mesure reproductible et conservatrice pour la mesure du DAS des appareils de communication sans fil tenus à la main et portés près du corps; cette méthode peut être utilisée pour déterminer la conformité d'un tel équipement aux restrictions de base de l'exposition humaine. Cette méthode est clairement utile lorsque la puissance générée par les appareils sans fils atteint un niveau qui rend impossible le dépassement de la restriction de base. Dans ce cas, les mesures conformes à la procédure de la présente norme peuvent s'avérer inutiles.

#### K.2 Procédure de réduction des essais

##### K.2.1 Généralités

Certains DUT génèrent un niveau de puissance qui rend impossible le dépassement de la restriction de base définie dans les recommandations d'exposition concernées. Ce niveau peut être déterminé par diverses techniques ne nécessitant pas la mesure du niveau d'exposition réel. La détermination de ce niveau accélérerait le processus sans compromettre la précision technique. La CEI 62479 propose des techniques pour atteindre cet objectif et peut être appliquée.

##### K.2.2 Exemple 1

Le niveau de puissance maximale,  $P_{\max,m}$ , pouvant être émis par un appareil avant que le DAS moyen sur une masse,  $m$ , ne dépasse une limite donnée,  $\text{DAS}_{\text{lim}}$ , peut être défini. Tout appareil émettant à des niveaux de puissance inférieurs à  $P_{\max,m}$  peut alors être exclu des essais du DAS. La valeur la plus basse possible pour  $P_{\max,m}$  est:

$$P_{\max,m} = \text{DAS}_{\text{lim}} \times m$$

Par exemple, une limite d'exposition  $\text{DAS}_{\text{lim}} = 2 \text{ W/kg}$  et une masse d'intégration  $m = 10 \text{ g}$  donnent une puissance d'émission totale  $P_{\max,m} = 20 \text{ mW}$  qui satisfait de manière conservatrice à cette limite d'exposition. Une limite d'exposition  $\text{DAS}_{\text{lim}} = 1,6 \text{ W/kg}$  et une masse d'intégration  $m = 1 \text{ g}$  donnent une puissance d'émission totale  $P_{\max,m} = 1,6 \text{ mW}$  qui satisfait de manière conservatrice à la limite d'exposition. Cette évaluation est basée sur la supposition irréaliste que toute la puissance conduite est rayonnée par l'antenne, puis absorbée dans le corps (c'est-à-dire qu'aucune puissance n'est émise pour la communication) et que toute la puissance absorbée est concentrée dans la masse d'intégration. La CEI 62479 définit des seuils de puissance moins restrictifs pouvant être appliqués dans certains cas.

### K.2.3 Exemple 2

Une transmission multibande simultanée signifie que l'appareil peut émettre dans de multiples modes de transmission en même temps, par exemple, une transmission en accès multiple par répartition en code à large bande (W-CDMA) à 2 GHz et une transmission en réseau local sans fils (WLAN) à 2,45 GHz. La puissance de sortie moyenne dans le temps d'un émetteur secondaire (c'est-à-dire l'émetteur de puissance moins élevée, par exemple Bluetooth, WLAN) peut être bien inférieure à celle de l'émetteur principal (c'est-à-dire l'émetteur de puissance plus élevée, par exemple, W-CDMA). Dans certains cas, l'émetteur secondaire peut être exclu des essais du DAS lorsqu'il est utilisé seul (par exemple, Exemple 1). Toutefois, lorsque les émetteurs principal et secondaire sont utilisés ensemble, la limite du DAS peut toujours être dépassée. Il est nécessaire de trouver un moyen pour déterminer la puissance seuil pour l'émetteur secondaire qui permet de l'exclure des essais de DAS.

Une méthode permettant de déterminer le niveau de puissance seuil disponible pour l'émetteur secondaire ( $P_{\text{disponible}}$ ) est de le calculer à partir du DAS crête spatial moyen mesuré de l'émetteur principal ( $\text{DAS}_1$ ) à l'aide de l'équation:

$$P_{\text{disponible}} = P_{\text{th},m} \times (\text{DAS}_{\text{lim}} - \text{DAS}_1) / \text{DAS}_{\text{lim}}$$

où  $P_{\text{th},m}$  est le niveau de puissance d'exclusion seuil issu de l'Annexe B de la CEI 62479<sup>22</sup> pour la fréquence de l'émetteur secondaire à la distance de séparation utilisée dans les essais.

Si la puissance de sortie de l'émetteur secondaire est inférieure à  $P_{\text{disponible}}$ , une mesure du DAS pour l'émetteur secondaire n'est pas nécessaire.

La formule ci-dessus peut être facilement généralisée au cas dans lequel plus de deux émetteurs communiquent simultanément. S'il y a  $N$  émetteurs simultanés et si le DAS crête spatial moyen des  $N - 1$  premiers émetteurs est connu ( $\text{DAS}_i$ ), le niveau de puissance seuil disponible pour le  $N^{\text{ième}}$  émetteur peut être trouvé à l'aide de

$$P_{\text{disponible}} = P_{\text{max},m} \times (\text{DAS}_{\text{lim}} - \sum_{i=1}^{N-1} \text{DAS}_i) / \text{DAS}_{\text{lim}}$$

Autre solution,  $P_{\text{th},m}$  peut être remplacé par  $P_{\text{max},m}$ , ce qui constitue une approche plus simple mais donne un seuil de puissance plus restrictif.

## Annexe L (normative)

### Procédure de mise à l'échelle de la puissance

#### L.1 Procédure

La mise à l'échelle de la puissance est l'extrapolation du DAS d'un DUT déterminée avec un signal d'essai (modX) pour un DAS du même appareil avec une modulation (modY). La mise à l'échelle de la puissance basée sur des méthodes numériques ou expérimentales pour des signaux de modulation différents est possible si:

- le même étage amplificateur RF est utilisé pour modX et modY;
- la même antenne est utilisée pour modX et modY et aucune technique MIMO n'est appliquée;
- la sonde de DAS a été étalonnée pour le signal de modulation modX et le DAS a été déterminé pour modX;
- le rapport de puissance de sortie RF moyen dans le temps  $R_p$  de modX et modY après les modulations de l'étage amplificateur RF est connu:

$$R_p = \left( \frac{P_{max_{modY}}}{P_{max_{modX}}} \right)$$

- la fréquence porteuse RF de modX est la même pour modY;
- le rapport largeur de bande signal FI ( $R_m$ ) de modX et modY

$$\left| \frac{BW_{modX}}{BW_{modY}} - 1 \right| \leq 30 \%$$

- la largeur de bande de modX et modY  $< 5 \% \times f_c$ .

Si les exigences mentionnées ci-dessus sont satisfaites, une mise à l'échelle du DAS de modX à modY peut être effectuée à l'aide de la formule suivante:

$$DAS_{modY} = R_p \times DAS_{modX}$$

Le facteur  $R_p$  peut être déterminé par un moyen numérique (calcul de  $P_{avg}$  y compris la caractéristique de l'amplificateur et le signal de modulation) ou expérimental (par exemple, mesure de la puissance moyenne). Dans les deux cas, l'effet de l'impédance de l'antenne sur l'étage amplificateur accroît l'incertitude.

Si l'approche de l'Annexe L est utilisée, une justification doit être donnée dans le rapport de mesure.

#### L.2 Modèle d'utilisation

Pour les appareils munis d'un poussoir de conversation, le facteur de charge maximal doit être supposé de 0,5 en fonctionnement devant le visage ou près du corps.

### L.3 Incertitude de la mise à l'échelle de la puissance

Les incertitudes de la mise à l'échelle de la puissance sont associées aux non-linéarités du signal et des étages amplificateurs RF, la largeur de bande du signal de modulation et l'impédance de l'antenne.

L'incertitude de la mise à l'échelle est évaluée par la détermination du DAS de modY à l'emplacement maximal du DAS ( $x_p, y_p, z_p$ ) en utilisant la procédure suivante:

- effectuer un balayage du DAS en 2D avec modX conformément à l'Article 6;
- déplacer la sonde sur l'emplacement maximal du balayage en 2D;
- relever le DAS avec modX;
- basculer l'appareil en modY (sans déplacer l'appareil);
- relever le DAS avec modY;
- calculer le rapport du DAS<sub>modY</sub> mesuré et mis à l'échelle.

$$\text{DAS}_{\text{incertitude de mise à l'échelle}} = \left| \left( \frac{\text{DAS}(x_p, y_p, z_p)_{\text{modY}}}{\text{DAS}(x_p, y_p, z_p)_{\text{modX}} \times R_p} - 1 \right) \times 100 \% \right|$$

- $\text{DAS}_{\text{incertitude de mise à l'échelle}} > 5 \%$ : ne pas effectuer la mise à l'échelle et effectuer l'évaluation du DAS total pour modY.

## Annexe M (informative)

### Justification relative aux paramètres de la sonde

#### M.1 Dimensions de l'extrémité extérieure de la sonde

En général, les sondes dosimétriques sont construites et protégées à l'aide de matériaux (faible perte et paramètres diélectriques faibles) qui diffèrent largement du liquide simulant les tissus (matériau à perte élevée et hautement diélectrique). Cela entraîne une distorsion locale du champ et des champs dispersés. Afin de limiter ces effets, c'est-à-dire les caractéristiques inférieures à la résonance et indépendantes du champ, il convient que le diamètre de l'extrémité de la sonde soit petit par rapport à la longueur d'onde. En général, plus le diamètre de l'extrémité de la sonde est petit, plus les perturbations sont rares. Il est recommandé de limiter le diamètre de l'extrémité de la sonde à un tiers d'une longueur d'onde dans le milieu, comme illustré dans le Tableau M.1. Aux fréquences inférieures ou égales à 2 GHz, le diamètre maximal de l'extrémité de la sonde est de 8 mm.

**Tableau M.1 – Exigences minimales relatives à la sonde en fonction de la fréquence et des paramètres du liquide équivalant aux tissus**

| 1                | 2                        | 3                   | 4                                                           | 5                                                                | 6                         | 7                                                                     | 8                                                 |
|------------------|--------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Fréquence<br>MHz | Permittivité<br>relative | Conductivité<br>S/m | Longueur<br>d'onde<br>dans le<br>milieu ( $\lambda$ )<br>mm | Épaisseur<br>de la peau<br>de l'onde<br>plane ( $\delta$ )<br>mm | Diamètre<br>maximal<br>mm | 50 %<br>Distance<br>pour M1<br>( $z_{50\%} = \delta \ln(2)/2$ )<br>mm | Distance<br>min. pour<br>M1<br>( $z_{M1}$ )<br>mm |
| 300              | 45,3                     | 0,87                | 148,6                                                       | 46,1                                                             | 8,0                       | 16,0                                                                  | 5,0                                               |
| 450              | 43,5                     | 0,87                | 101,1                                                       | 42,9                                                             | 8,0                       | 14,9                                                                  | 5,0                                               |
| 750              | 41,9                     | 0,89                | 61,8                                                        | 39,8                                                             | 8,0                       | 13,8                                                                  | 5,0                                               |
| 835              | 41,5                     | 0,9                 | 55,8                                                        | 38,9                                                             | 8,0                       | 13,5                                                                  | 5,0                                               |
| 900              | 41,5                     | 0,97                | 51,7                                                        | 36,1                                                             | 8,0                       | 12,5                                                                  | 5,0                                               |
| 1 450            | 40,5                     | 1,20                | 32,5                                                        | 28,6                                                             | 8,0                       | 9,9                                                                   | 5,0                                               |
| 1 800            | 40,0                     | 1,40                | 26,4                                                        | 24,3                                                             | 8,0                       | 8,4                                                                   | 5,0                                               |
| 2 000            | 40,0                     | 1,40                | 23,7                                                        | 24,2                                                             | 8,0                       | 8,4                                                                   | 5,0                                               |
| 2 450            | 39,2                     | 1,80                | 19,6                                                        | 18,7                                                             | 6,5                       | 6,5                                                                   | 5,0                                               |
| 2 600            | 39,0                     | 1,96                | 18,5                                                        | 17,2                                                             | 6,2                       | 5,9                                                                   | 5,0                                               |
| 3 000            | 38,5                     | 2,40                | 16,1                                                        | 13,9                                                             | 5,4                       | 4,8                                                                   | 5,0                                               |
| 4 000            | 37,4                     | 3,43                | 12,3                                                        | 9,6                                                              | 4,1                       | 3,3                                                                   | 3,3                                               |
| 5 000            | 36,2                     | 4,45                | 10,0                                                        | 7,3                                                              | 3,3                       | 2,5                                                                   | 2,5                                               |
| 5 200            | 36,0                     | 4,66                | 9,6                                                         | 7,0                                                              | 3,2                       | 2,4                                                                   | 2,4                                               |
| 5 400            | 35,8                     | 4,86                | 9,3                                                         | 6,7                                                              | 3,1                       | 2,3                                                                   | 2,3                                               |
| 5 600            | 35,5                     | 5,07                | 9,0                                                         | 6,4                                                              | 3,0                       | 2,2                                                                   | 2,2                                               |
| 5 800            | 35,3                     | 5,27                | 8,7                                                         | 6,1                                                              | 2,9                       | 2,1                                                                   | 2,1                                               |
| 6 000            | 35,1                     | 5,48                | 8,4                                                         | 5,9                                                              | 2,8                       | 2,0                                                                   | 2,0                                               |

## M.2 Déplacement des capteurs de la sonde

La distribution des champs induite est fonction de l'épaisseur de peau  $\delta$  et de la distribution de champ  $H$  incidente, c'est-à-dire que le champ peut atténuer encore plus rapidement que l'épaisseur de peau par rapport à la distance orthogonale avec la limite du fantôme. En raison de cette forte atténuation, l'extrapolation devient très sensible aux incertitudes des points mesurés, c'est-à-dire les distorsions de champs locaux, les effets de bord, le bruit, etc. Afin de garder les incertitudes dans des limites raisonnables, le point de mesure le plus proche  $M_1$  doit être mesuré à une distance  $z_{50\%} = \delta \ln(2)/2$  dans laquelle le DAS est égal à plus de 50 % du DAS à la surface. Ces distances sont fournies dans la colonne 7 du Tableau M.1, en supposant une atténuation de l'onde plane. L'atténuation est généralement plus forte pour les antennes proches de la surface du fantôme que pour les ondes planes [43], particulièrement à des fréquences inférieures telles que la distance minimale jusqu'à 3 GHz a été définie comme  $z_{M_1} = 5$  mm. Cependant, aux fréquences supérieures à 3 GHz,  $z_{M_1}$  peut être fixé à  $z_{50\%}$ , étant donné que l'épaisseur de la peau est similaire à celle d'une onde plane à des fréquences plus élevées [15]. Étant donné que des résultats précis ne peuvent pas être mesurés lorsque la sonde est en contact direct avec le fantôme, la distance correspond au déplacement des capteurs plus la distance minimale entre l'extrémité de la sonde et la surface du fantôme.

## M.3 Inclinaison de la sonde par rapport à la surface

À des fréquences plus élevées, les sondes ont tendance à être plus grandes que les longueurs d'ondes et les mesures très proches de la surface deviennent plus impératives. Pour obtenir des résultats avec une incertitude acceptable, la sonde doit être placée perpendiculairement à la surface, c'est-à-dire pour des écarts supérieurs à 20°, des précautions et considérations particulières sont requises pour garantir une incertitude acceptable. Les écarts inférieurs à 5° sont préférables du point de vue technique.

## M.4 Incertitude d'extrapolation et d'intégration

Le gradient perpendiculaire à la surface croît abruptement aux fréquences plus élevées. Le nombre de mesures à l'intérieur du volume de balayage-zoom qui est au-dessus du bruit de fond de la sonde, diminue et peut significativement affecter l'extrapolation et l'intégration. Une stratégie permettant de surmonter ce problème consiste à utiliser des mailles nivelées. Néanmoins, l'incertitude peut augmenter abruptement lorsque la sonde n'est pas assez sensible. Dans le Tableau M.2, l'erreur est déterminée en ajoutant un bruit blanc aux fonctions  $f_1$ ,  $f_2$  et  $f_3$ , dont l'amplitude est définie en dB des valeurs à la surface. Le Tableau M.2 permet la détermination de l'erreur d'évaluation par rapport au bruit de fond du système. Les valeurs sont l'écart type après 4 000 itérations.

Par exemple, l'évaluation avec un bruit ( $N_{rms}$ ) de 25 mW/kg entraînera une incertitude de 5 % pour les mailles nivelées (point de mesure le plus proche 1,5 mm, gradation 1,5, 7 × 7 × 5) et de 30 % pour les grilles homogènes (point de mesure le plus proche 4 mm, grille 11 × 11 × 7).

**Tableau M.2 – Incertitude d'extrapolation et d'intégration du DAS crête spatial moyen sur 10 g ( $k=2$ ) pour les mailles homogènes et nivelées**

| S/N   | Grille homogène |                |               |       |      | Grille nivelée |                |               |       |       |
|-------|-----------------|----------------|---------------|-------|------|----------------|----------------|---------------|-------|-------|
|       | $f1_{1crête}$   | $f1_{2p,prim}$ | $f1_{2p,sec}$ | $f2$  | $f3$ | $f1_{1crête}$  | $f1_{2p,prim}$ | $f1_{2p,sec}$ | $f2$  | $f3$  |
| 30 dB | 0,1 %           | 0,0 %          | 0,1 %         | 0,1 % | 17 % | 0,0 %          | 0,1 %          | 0,0 %         | 0,0 % | 1,3 % |
| 20 dB | 0,1 %           | 0,1 %          | 0,1 %         | 0,2 % | 18 % | 0,1 %          | 0,1 %          | 0,1 %         | 0,0 % | 1,9 % |
| 13 dB | 0,6 %           | 0,6 %          | 0,6 %         | 0,4 % | 27 % | 0,5 %          | 0,5 %          | 0,5 %         | 0,3 % | 8,7 % |
| 10 dB | 2,8 %           | 2,7 %          | 2,7 %         | 1,8 % | 69 % | 2,3 %          | 2,4 %          | 2,2 %         | 1,4 % | 39 %  |

## Bibliographie

- [1] Beard B. B., Kainz W., Onishi T., Iyama T., Watanabe S., Fujiwara O., Wang J., Bit-Babik G., Faraone A., Wiart J., Christ A., Kuster N., Lee A.-K., Kroeze H., Siegbahn M., Keshvari J., Abrishamkar H., Simon W., Manteuffel D., Nikoloski N. "Comparisons of Computed Mobile Phone Induced SAR in the SAM Phantom to That in Anatomically Correct Models of the Human Head", *IEEE TRANSACTIONS ON ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY*, May 2006, vol. 48, no. 2, pp:397-407,
- [2] Bit-Babik G., Faraone A., Ballen M., Chou C-K., "Sensitivity of the Spatial-Average Peak SAR to the Dielectric Parameters of Media Used for Compliance Testing in the Frequency Range 0,3 – 3 GHz," *Antennas and Propagation Society International Symposium Digest*, Vol. 3, pp. 722-725, June 2002.
- [3] Bit-Babik G., Chou C. K., Faraone A., Gessner A., Kanda M. and Balzano Q.; Estimation of the SAR in the Human Head and Body due to Radio Frequency Radiation Exposure from Handheld Mobile Phones with Hands-Free Accessories *Radiation Research* 159, 550-557 (2003).
- [4] Bolomey J. C., "Efficient near-field techniques for human exposure evaluation: Applications to mobile and fixed antennas," presented at the Electromagnetic Environment and Human Exposure Evaluation Workshop of EMC, Sorrento, Italy, 2002.
- [5] Christ A, Klingenböck A, Samaras T, Zankl M, and Kuster N, "A Flat Phantom Setup for the Compliance Testing of Wireless Transmitters Operating in the Close Environment of the Human Body for a Frequency Range from 30MHz to 5800MHz", in *Proceedings of the 27th Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society*, p. 444, June 2005, Dublin, Ireland.
- [6] Christ A, Klingenböck A, Samaras T, Goiceanu C, and Kuster N, "The dependence of electromagnetic far-field absorption on body tissue composition in the frequency range from 300 MHz to 6 GHz", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 54, no. 5, pp. 2188–2195, May 2006.
- [7] Christ A, Samaras T, Klingenböck A, and Kuster N, "Characterization of the electromagnetic near-field absorption in layered biological tissue in the frequency range from 30MHz to 6GHz", *Physics in Medicine and Biology*, vol. 51, no. 19, pp. 4951–4965, October 2006.
- [8] Cozza A., Merckel O., Bolomey J.-Ch., "A New Probe-Array Approach for Fast SAR Measurements", *Proc. Int. Workshop Antenna Tech. (IWAT)*, Cambridge, U.K, pp. 157 – 161, March 2007.
- [9] Cozza A., Derat B., Bolomey J.-C., "Theoretical analysis of the exponential approximation for SAR assessment in a flat phantom," *Proc. IEEE Int. Symp. Antennas Propagat.*, Honolulu, Hawaï, pp. 4328 – 4331, June 10 – 15, 2007.
- [10] ICNIRP. Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). *Health Physics* 74 (4): 494-522; 1998.
- [11] Derat B., Cozza A., Merckel O., Bolomey J.-C., "Numerical analysis of a printed E-field probe array used for rapid SAR assessment," *Proc. Appl. Comp. Electrom. Soc. (ACES)*, Verona, Italy, pp. 616 -623, March 2007.
- [12] Diller KR, Adapting adult scald safety standards to children (2006) *J Burn Care Res* 27: 314-22.
- [13] Douglas M.G., Luengas W., Kanda M.Y., Ballen M., and Chou C-K., "An Algorithm for Predicting the Change in Specific Absorption Rate in a Human Phantom due to Deviations in its Complex Permittivity," Submitted to *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, May 2009.
- [14] Douglas M.G., Chou C-K., "Enabling the Use of Broadband Tissue Equivalent Liquids for Specific Absorption Rate Measurements," *IEEE Electromagnetic Compatibility Symposium*, July 2007.
- [15] Douglas M.G., Chou C-K., "Accurate and Fast Estimation of Volumetric SAR from Planar Scans from 30 MHz to 6 GHz," *Bioelectromagnetics Society 29<sup>th</sup> Annual Meeting*, June

2007.

- [16] Drossos, A., Santomaa, V. and Kuster, N., The dependence of electromagnetic energy absorption upon human head tissue composition in the frequency range of 300-3000 MHz. IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Nov. 2000, vol. 48, no. 11, pp. 1988-1995.
- [17] FCC OET Bulletin 65, Supplement C, Additional Information for Evaluating Compliance of Mobile and Portable Devices with FCC Limits for Human Exposure to Radiofrequency Emissions, 2001.
- [18] Francavilla M., Schiavoni A.: "New Reference Function for Post – Processing Uncertainty Evaluation in SAR Compliance Tests" submitted to IEEE Microwave and Wireless Components Letters.
- [19] Fukunaga, K., Watanabe, S., Wake, K., and Yamanaka, Y., Time dependence of tissue-equivalent dielectric liquid materials and its effect on SAR. EMC Europe Symp., Sorrento, Italy, Sep. 2002.
- [20] Fukunaga K., Watanabe S, Hiroyuki A, Sato K; Dielectric Properties of Non-Toxic Tissue-Equivalent Liquids for Radiowaves Safety Tests; Proceedings 2005 IEEE International Conference on Dielectric Liquids, P 425 – 428, 2005.
- [21] Gabriel, C., Chan, T. Y. A., and Grant, E. H., "Admittance models for open ended coaxial probes and their place in dielectric spectroscopy," Physics in Medicine and Biology, vol. 39, no.12, pp. 2183-2200, 1994.
- [22] Gabriel, C., "Compilation of the dielectric properties of body tissues at RF and microwave frequencies", Brooks Airforce Base Technical Report AL/OE-TR-1996-0037, 1996.
- [23] Gabriel, C. and Peyman, A., "Dielectric measurement: error analysis and assessment of uncertainty," Physics in Medicine and Biology, vol. 51, pp. 6033-6046, October 2006.
- [24] Gabriel, S., Lau, R.W. and Gabriel, C., The dielectric properties of biological tissues: 3. Parametric models for the dielectric spectrum of tissues. Phys. Med. Bio., 1996, vol. 41, no. 11, pp. 2271-2293.
- [25] Gimm, Y. M., GENEARL METHOD OF FORMULATING THE HUMAN TISSUE SIMULANT LIQUID FOR SAR MEASUREMENT, 2004 International Symposium on EMC, Sendai, Japan, June 2004, pp. 561-564.
- [26] Gemperle F, Kasabach C, Stivorc J, Bauer M, and Martin R, Design for Wearability, Carnegie Mellon University, PA (USA), Techn. Rep. [online], <http://www.ices.cmu.edu/design/wearability>.
- [27] Gordon, C.C., Churchill, T., Clauser, C.E., Bradtmiller, B., McConville, J.T., Tebbetts I. and Walker, R.A., 1988 Anthropometric Survey of U.S. Army Personnel: Methods and Summary Statistics. Technical Report NATICK/TR-89/044, U.S. Army Natick Research, Development and Engineering Center, Massachusetts: Natick, Sept. 1989.
- [28] Gregory, A. P. and Clarke, R. N., Tables of the Complex Permittivity of Dielectric Reference Liquids at Frequencies up to 5 GHz, NPL Report CETM 33, Centre for Electromagnetic and Time Metrology, National Physical Laboratory, Teddington, England, 2001.
- [29] Gregory A P, Johnson Y; Fukunaga K, Clarke R N, Preece A W; Traceable Dielectric Measurements of New Liquids for Specific Absorption Rate (SAR) Measurement in the Frequency Range 300 MHz to 6 GHz, Proceedings Conference on Precision Electromagnetic Measurements, W2da, pp. 471 – 472, UK, June 2004.
- [30] CEI 62311:2007, *Évaluation des équipements électroniques et électriques en relation avec les restrictions d'exposition humaine aux champs électromagnétiques (0 Hz - 300 GHz)*
- [31] CEI 62479, *Évaluation de la conformité des appareils électriques et électroniques de faible puissance aux restrictions de base concernant l'exposition des personnes aux*

*champs électromagnétiques (10 MHz - 300 GHz)*<sup>23</sup>

- [32] IEEE Std 1528:2003, *IEEE Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate (SAR) in the Human Head from Wireless Communications Devices: Measurement Techniques*
- [33] ISO/CEI Guide 98-3:2008, *Incertitude de mesure – Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995)*
- [34] ISO 10012:2003, *Systèmes de management de la mesure – Exigences pour les processus et les équipements de mesure*
- [35] ISO/CEI Guide 51:1999, *Aspects liés à la sécurité – Principes directeurs pour les inclure dans les normes*
- [36] Iyama T., Onishi T., Tarusawa Y., Uebayashi S., Nojima T., "Novel Specific Absorption Rate (SAR) Measurement Method Using Flat Solid Phantom," IEEE Trans. EMC. vol. 50, no. 1, pp 43-51, February 2008.
- [37] Kaatze, U., Complex permittivity of water as function of frequency and temperature. J. Chem. Engin. Data, 1989, vol. 34, no. 4, pp. 371–374.
- [38] Kaatze, U., Pottel R., and Schafer M, "Dielectric spectrum of dimethyl sulfoxide/water mixtures as a function of composition," J.Physical Chemistry, vol. 93, pp. 5623-5627, 1989.
- [39] Kainz W, Christ A, Kellom T, Seidman S, Nikoloski N, and Kuster N, "Dosimetric comparison of the specific anthropomorphic mannequin (SAM) to 14 anatomical head models using a novel definition for the mobile phone positioning", Physics in Medicine and Biology, vol. 50, no. 14, pp. 3423–3445, July 2005.
- [40] Kanda, M, Analytical and numerical techniques for analyzing an electrically short dipole with a nonlinear load, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Jan 1980, vol. 28, Issue: 1, pp. 71- 78
- [41] Kanda, M.Y., Ballen, M., Chou, C.K., Formulation and characterization of tissue simulating liquids used for SAR measurement (500-2000 MHz). Asia-Pacific Radio Science Conference, Tokyo, Japan, Aug. 1-4, 2001, pp. 274.
- [42] Kanda M. Y., Ballen M., Douglas M. G., Gessner A., Chou C. K., "Fast SAR determination of gram-averaged SAR from 2-D coarse scans", Proc. 25th Ann. Meeting of the Bioelectromagnetics Soc (BEMS), pp. 45-46, Wailea, Maui, USA, June 2003.
- [43] Kanda M.Y., Douglas M.G., Mendivil E.D., Ballen M., Gessner A.V. Chou C-K., "Faster Determination of Mass-Averaged SAR From 2-D Area Scans," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 52, no. 8, pp. 2013-2020, August 2004.
- [44] Keshvari J. , Ahlskog K. , and Toropainen A. . Feasibility Study of Tissue Equivalent Liquids for Body Worn SAR Measurements at 30, 150 and 450 MHz., 25th BEMS TWENTY-FIFTH ANNUAL MEETING.
- [45] Kiminami K., Iyama T., Onishi T., Uebayashi S., "Novel specific absorption rate (SAR) estimation method based on 2-D scanned electric fields," IEEE Tran. Electromag. Comp. vol. 50, no. 4, pp. 828 – 836, Nov. 2008.
- [46] Kuehn S., Kuster N., "Experimental EMF Exposure Assessment" in Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields, Third Edition, Taylor & Francis Group LLC, 0849329523, Frank S. Barnes, Ben Greenebaum, Boca Raton, USA, vol. 2, pp. 381-405, 2006.
- [47] Kuehn S., Kuster N., "Experimental EMF exposure assessment", in Handbook of Biological Effects of Electromagnetics, Eds. Barnes F. S., Greenebaum B., CRC Press, pp. 381 – 409, 2007.
- [48] Kuster N., Balzano Q., "Energy Absorption Mechanism by Biological Bodies in the Near Field of Dipole Antennas Above 300 MHz," IEEE Transactions on Vehicular Technology,

<sup>23</sup> A paraître.

Vol. 41, No. 1, pp. 17–23, Feb. 1992.

- [49] Kuster, N., Balzano, Q. and Lin, J.C., Eds., *Mobile Communications Safety*. London: Chapman & Hall, 1997.
- [50] Ladbury, J.M., Camell, D.G., "Electrically short dipoles with a nonlinear load, a revisited analysis", *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, Feb 2002, vol. 44, Issue: 1, pp 38-44.
- [51] Levin, V. V. and Podlovchenko, T. L., "Dispersion of the dielectric permittivity of ethylene glycol," *Zhurnal Strukturnoi Khimii*, vol. 11, pp. 766-767, 1970.
- [52] Li Q., Gandhi O.P. and Kang G., "An open-ended waveguide system of SAR system validation and/or probe calibration for frequencies above 3 GHz," *Physics in Medicine and Biology*, vol. 49, pp-4173-4186, 2004.
- [53] Loader B., "Computer Simulation of WR159 Waveguide Against a Flat Dielectric Phantom at 5.2 GHz and 5.8 GHz," NPL Report DEM EM 008, 2007.
- [54] Manning M. Massey P., "Rapid SAR testing of mobile phone prototype using a spherical test geometry," in *IEE Tech. on Antenna Measurements and SAR Seminar*, Loughborough, U.K., May 28–29, 2002.
- [55] Merckel O., Fleury G., Bolomey J.-C., "Rapid SAR measurement via parametric modeling," *Proc. 5th International Congress of the European BioElectromagnetics Association (EBEA)*, p. 75-77, Helsinki, Finland, Sep. 2001.
- [56] Merckel O., *Mesure rapide du SAR des téléphones portables au moyen de techniques de champs proches généralisées (Rapid SAR measurements of mobile terminals based on generalized near-field techniques*, Ph. D.) Thèse de doctorat en français, Université de Versailles Saint-Quentin en Yvelines, France, nov. 2002.
- [57] Merckel O., Bolomey J.-Ch., Joisel A., "Near-field approach to Rapid SAR Measurement of Mobile Phones", *Symp. of the Association for Measurement and Testing of Antennas (AMTA 2003)*, Irvine, Denver, USA, Oct. 2003.
- [58] Merckel O., Manning M., Derat B., Bolomey J.-C., Fleury G., "Comparison of fast SAR measurement techniques for mobile phones," *Proc. 2nd Int. Conf. On Electromagnetic Near-field Characterization (ICONIC)*, Barcelona, Spain, p. 439-443, 8-10 June, 2005.
- [59] Montgomery D.C., *Design and Analysis of Experiments* (4th edition), New York: John Wiley and Sons. (1997).
- [60] NIS 81, "The Treatment of Uncertainty in EMC Measurements," Ed.1, NAMAS Executive, National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex, TW11 0LW, England, 1994.
- [61] NIST TN1297, *Guidelines for Evaluating and Expressing the Incertitude of NIST Measurement Results*, Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 1994.
- [62] Onishi T. and Uebayashi S., "Influence of phantom shell on SAR measurement in 3-6 GHz frequency range," *IEICE Trans. Commun.*, vol., E88-B, no. 8, pp. 3257 – 3262, 2005.
- [63] Peyman, A. and Gabriel, C., *Tissue equivalent liquids for SAR measurement at microwave frequencies*. Bioelectromagnetics Society 24th Annual Meeting, Quebec, Canada, June 2002, poster P-53.
- [64] Peyman, A. and Gabriel, C., *Development and characterisation of tissue equivalent materials for the frequency range of 30-300MHz*, *Electronics Letters* 43(5), 2007, 268-270.
- [65] Peyman, A. and Gabriel, C., *Development and characterisation of a broadband tissue equivalent materials for the frequency range of 0.3 - 6 GHz*, Submitted to *Electronics Letters*, 2007.
- [66] Pokovic, K., "Advanced Electromagnetic Probes for Near-Field Evaluations," PhD Thesis, Diss. ETH Nr. 13334, Zurich, 1999
- [67] Porter S J, Capstick M H, Faraci F, Flintoft I D and Marvin A C, *Final Report on "SAR Testing of Hands-Free Mobile Telephones"*, DTI funded project under UK MTHR

programme.

- [68] Porter S J Capstick M H Faraci F Flintoft I D Marvin A C. SAR associated with the use of hands-free mobile telephones. EMC Europe 2004, Eindhoven, PprNo. B10, 6-10 Sept, 2004.
- [69] Porter S J, Capstick M H, Faraci F, Flintoft I D and Marvin A C. SAR and induced current measurements on wired hands-free mobile telephones. IEE Technical Seminar on Antenna Measurements and SAR, University of Loughborough, UK, pp 9-13, 25-26 May, 2004. ISBN: 086341415X
- [70] Porter S.J. and Manning M.I., "Method validates SAR measurement systems," *Microwaves and RF*, vol. 44, no. 4, pp. 70-78, 2005.
- [71] Pradier A., Colas O., Celin P., Sarrebourg T., Laudru D., Wong M.-F., Fouad Hanna V., Wiart J. "Evaluation of the Specific Absorption Rate Induced by the Handset Close to the Body," in BEMS 28th Annual Meeting, 2006.
- [72] Ramo, S., Whinnery, J.R., and Van Duzer, T., "Fields and Waves in Communication Electronics," 1st edition, John Wiley & Sons, 1965.
- [73] Rowley, J. T.; Waterhouse, R. B., Performance of Shorted Microstrip Patch Antennas for Mobile Communications Handsets at 1800 MHz *IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION*, VOL. 47, NO. 5, MAY 1999 815.
- [74] Schmid, T.; Egger, O., and Kuster, N., Automated E-field scanning system for dosimetric assessments, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Jan 1996, vol 44, no. 1, pp. 105-113.
- [75] Toropainen, A., Vainikainen, P., and Drossos, A., Method for accurate measurement of complex permittivity of tissue equivalent liquids. *Electron. Lett.*, 2000, vol. 36, no. 1, pp. 32-34.
- [76] VIGNERAS, V., Elaboration and characterization of biological tissues equivalent liquids in the frequency range 0,9-3 GHz, final report. France: PIOM Laboratory, University of Bordeaux, Nov. 2001.
- [77] Von Hippel, A., *Dielectric Materials and Applications*, Cambridge, MA: MIT Press, 1954.
- [78] Hombach V, Meier, K., Burkhardt, M., Kühn, E., and Kuster, N., "The dependence of EM energy absorption on human head modeling at 900 MHz," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 44, No. 10, pp. 1865–1873, Oct. 1996.
- [79] Meier, K., Hombach, V., Kästle, R., Tay, R. Y. S., and Kuster, N., "The dependence of electromagnetic energy absorption upon human-head modeling at 1800 MHz," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 45, No. 11, pp. 2058–2062, Nov. 1997.
- [80] Schiavoni, A., and Francavilla, M., "Effect of the hand in SAR compliance tests of body worn devices", ACES 2007, Verona 19-23, March 2007.
- [81] Douglas, M., Bit-Babik, G., Nadakuduti, J., Faraone, A., and Chou, C-K., "Modeling of SAR in the User for Body-Worn Wireless Devices," *Proc. 29th Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society (BEMS 2007)*, Kanazawa, Japan, June 11-15, 2007.
- [82] Francavilla, M., and Schiavoni, A., "New Reference Function for Post-Processing Uncertainty Evaluation in SAR Compliance Tests", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 18, No. 5, May 2008.
- [83] Evans, S., and Michelson, S. C., "Intercomparison of dielectric reference materials available for the calibration of an open-ended probe at different temperatures," *Measurement Science and Technology*, Vol. 6, No. 12, pp. 1721–1732, Dec. 1995.
- [84] Jenkins, S., Hodgetts, T. E., Clarke, R. N., and Preece, A. W., "Dielectric measurements on reference liquids using automatic network analysers and calculable geometries," *Measurement Science and Technology*, Vol. 1, No. 7, pp. 691–702, July 1990.
- [85] Migliore, M. D., "Partial self-calibration method for permittivity measurement using truncated coaxial cable," *Electronics Letters*, Vol. 36, No. 15, pp. 1275–1277, July 20, 2000.

- [86] Nyshadham, A., Sibbald, C. L., and Stuchly, S. S., “Permittivity measurements using open-ended sensors and reference liquid calibration—an uncertainty analysis,” *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 40, No. 2, pp. 305–314, Feb. 1992.
  - [87] Luc, J., Butet, R., Lebrusq, E., Toutain, Y., and Gallee, F., “SAR Measurement time reduction via optimization algorithms and interpolation scheme”, Proc. 28th Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society (BEMS 2006), 11-15 juin, 2006, Cancun, Mexico.
  - [88] Guide ISO/CEI 99:2007, *Vocabulaire international de métrologie – Concepts fondamentaux et généraux et termes associés (VIM)*
-





INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

3, rue de Varembé  
PO Box 131  
CH-1211 Geneva 20  
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11  
Fax: + 41 22 919 03 00  
[info@iec.ch](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://www.iec.ch)