

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Determining the peak spatial-average specific absorption rate (SAR) in the human body from wireless communications devices, 30 MHz to 6 GHz – Part 3: Specific requirements for using the finite difference time domain (FDTD) method for SAR calculations of mobile phones

Détermination du débit d'absorption spécifique (DAS) maximal moyenné dans le corps humain, produit par les dispositifs de communication sans fil, 30 MHz à 6 GHz –

Partie 3: Exigences spécifiques pour l'utilisation de la méthode des différences finies dans le domaine temporel (FDTD) pour les calculs de DAS des téléphones mobiles



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2017 IEC, Geneva, Switzerland

Copyright © 2017 IEEE

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 being secured. Requests for permission to reproduce should be addressed to either IEC at the address below or IEC's member National Committee in the country of the requester or from IEEE.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
3 Park Avenue
New York, NY 10016-5997
United States of America
stds.ipr@ieee.org
www.ieee.org

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 the IEEE

IEEE is the world's largest professional association dedicated to advancing technological innovation and excellence for the benefit of humanity. IEEE and its members inspire a global community through its highly cited publications, conferences, technology standards, and professional and educational activities.

About IEC/IEEE publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

65 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Determining the peak spatial-average specific absorption rate (SAR) in the human body from wireless communications devices, 30 MHz to 6 GHz –
Part 3: Specific requirements for using the finite difference time domain (FDTD) method for SAR calculations of mobile phones**

Détermination du débit d'absorption spécifique (DAS) maximal moyenné dans le corps humain, produit par les dispositifs de communication sans fil, 30 MHz à 6 GHz –

Partie 3: Exigences spécifiques pour l'utilisation de la méthode des différences finies dans le domaine temporel (FDTD) pour les calculs de DAS des téléphones mobiles

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 17.220.20

ISBN 978-2-8322-4772-3

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

CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms and definitions	9
4 Abbreviated terms	9
5 Simulation procedure.....	10
5.1 General.....	10
5.2 General considerations	10
5.3 General mesh settings	10
5.4 Simulation parameters	10
5.5 DUT model.....	10
5.5.1 General	10
5.5.2 Antenna.....	12
5.5.3 RF source.....	12
5.5.4 PCB.....	13
5.5.5 Screen.....	13
5.5.6 Battery and other larger metallic components	14
5.5.7 Casing	14
5.6 SAR calculation using phantom models.....	14
5.6.1 General	14
5.6.2 Head phantom model.....	15
5.6.3 Body phantom model	18
5.6.4 Phantom mesh generation	18
5.7 Recording of results.....	18
5.8 Peak spatial-average SAR calculation.....	19
6 Benchmark models	19
6.1 General.....	19
6.2 Generic metallic box phone for 835 MHz and 1 900 MHz	19
6.3 GSM/UMTS mobile phone.....	21
6.4 Generic multi-band patch antenna mobile phone.....	22
6.5 Neo Free Runner mobile phone	24
7 Computational uncertainty	25
7.1 General considerations	25
7.2 Uncertainty of the test setup with respect to simulation parameters	26
7.3 Uncertainty of the developed numerical model of the DUT	26
7.4 Validation of the developed numerical model of the DUT.....	26
7.5 Uncertainty budget.....	26
8 Reporting simulation results	27
8.1 General considerations	27
8.2 DUT	27
8.3 Simulated configurations.....	27
8.4 Numerical simulation tool.....	28
8.5 Results of the benchmark models	28
8.6 Uncertainties.....	28
8.7 SAR results.....	28

Annex A (informative) Additional results for the generic mobile phone with integrated multiband antenna	29
Annex B (informative) Additional results for the Neo Free Runner mobile phone	31
Bibliography.....	35

Figure 1 – An example of a multi-band antenna consisting of two metallic elements for the GSM and UMTS frequency bands	12
Figure 2 – An example of a source gap position that is inserted in replacement of a real-life feeding spring pin.....	13
Figure 3 – An example of a microstrip feed line.....	13
Figure 4 – Orientation of the mobile phone model prior to positioning against the head or the body phantom	15
Figure 5 – Orientation of the SAM phantom prior to positioning against the DUT shown in Figure 4	16
Figure 6 – Suggested steps for the cheek position of the DUT against the SAM phantom	16
Figure 7 – Tilt position of the DUT against the SAM phantom.....	17
Figure 8 – Example of the full model space that includes the DUT and the SAM phantom for the numerical simulations for the right cheek position.....	17
Figure 9 – Example of the model space for the DUT/body phantom calculation setup	18
Figure 10 – The SAM head phantom and the generic metallic box phone	19
Figure 11 – Physical dimensions of the generic metallic box phone	20
Figure 12 – Generic GSM/UMTS mobile phone	21
Figure 13 – Generic mobile phone with integrated multiband patch antenna	23
Figure 14 – CAD model of the Neo Free Runner mobile phone	24
Figure A.1 – Real part of the input impedance of the antenna obtained with three different commercially available software products.....	29
Figure A.2 – Imaginary part of the input impedance of the antenna obtained with three different commercially available software products.....	30
Figure B.1 – Basic version of the Neo Free Runner CAD model	31
Figure B.2 – Intermediate version of the Neo Free Runner CAD model	31
Figure B.3 – Full version of the Neo Free Runner CAD model.....	32
Figure B.4 – Interlaboratory comparison results of the free space reflection coefficient for the basic CAD model	32
Figure B.5 – Interlaboratory comparison results of the free space reflection coefficient for the intermediate CAD model.....	33
Figure B.6 – Interlaboratory comparison results of the free space reflection coefficient for the full CAD model.....	33

Table 1 – Dielectric parameters of the materials of the generic phone.....	20
Table 2 – Peak spatial-average SAR for 1 g and 10 g of the benchmark	21
Table 3 – Dielectric properties of the materials of the generic GSM/UMTS mobile phone	22
Table 4 – Peak 1 g and 10 g SAR results of the GSM/UMTS mobile phone	22
Table 5 – Limits of the output parameters for the generic multi-band mobile phone.....	23
Table 6 – Peak 1 g and 10 g SAR results of the GSM/UMTS mobile phone	24
Table 7 – Dielectric properties of the materials of the Neo Free Runner mobile phone	25

Table 8 – Peak 1 g and 10 g SAR results of the Neo Free Runner mobile phone	25
Table 9 – Overall uncertainty budget.....	27
Table B.1 – Frequency limits of the –6 dB reflection coefficient for the three different versions of the Neo Free Runner mobile phone.....	34

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC/IEEE 62704-3:2017

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

DETERMINING THE PEAK SPATIAL-AVERAGE SPECIFIC ABSORPTION RATE (SAR) IN THE HUMAN BODY FROM WIRELESS COMMUNICATIONS DEVICES, 30 MHz TO 6 GHz –

Part 3: Specific requirements for using the finite difference time domain (FDTD) method for SAR calculations of mobile phones

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.

IEEE Standards documents are developed within IEEE Societies and Standards Coordinating Committees of the IEEE Standards Association (IEEE-SA) Standards Board. IEEE develops its standards through a consensus development process, approved by the American National Standards Institute, which brings together volunteers representing varied viewpoints and interests to achieve the final product. Volunteers are not necessarily members of IEEE and serve without compensation. While IEEE administers the process and establishes rules to promote fairness in the consensus development process, IEEE does not independently evaluate, test, or verify the accuracy of any of the information contained in its standards. Use of IEEE Standards documents is wholly voluntary. *IEEE documents are made available for use subject to important notices and legal disclaimers (see <http://standards.ieee.org/IPR/disclaimers.html> for more information).*

IEC collaborates closely with IEEE in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations. This Dual Logo International Standard was jointly developed by the IEC and IEEE under the terms of that agreement.

- 2) The formal decisions 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. The formal decisions of IEEE on technical matters, once consensus within IEEE Societies and Standards Coordinating Committees has been reached, is determined by a balanced ballot of materially interested parties who indicate interest in reviewing the proposed standard. Final approval of the IEEE standards document is given by the IEEE Standards Association (IEEE-SA) Standards Board.
- 3) IEC/IEEE Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees/IEEE Societies in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC/IEEE Publications is accurate, IEC or IEEE 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 (including IEC/IEEE Publications) transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC/IEEE Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC and IEEE do not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC and IEEE are 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 IEEE or their directors, employees, servants or agents including individual experts and members of technical committees and IEC National Committees, or volunteers of IEEE Societies and the Standards Coordinating Committees of the IEEE Standards Association (IEEE-SA) Standards Board, 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/IEEE Publication or any other IEC or IEEE 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 implementation of this IEC/IEEE Publication may require use of material covered by patent rights. By publication of this standard, no position is taken with respect to the existence or validity of any patent rights in connection therewith. IEC or IEEE shall not be held responsible for identifying Essential Patent Claims for which a license may be required, for conducting inquiries into the legal validity or scope of Patent Claims or determining whether any licensing terms or conditions provided in connection with submission of a Letter of Assurance, if any, or in any licensing agreements are reasonable or non-discriminatory. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any patent rights, and the risk of infringement of such rights, is entirely their own responsibility.

International Standard IEC/IEEE 62704-3 has been prepared by IEC technical committee 106: Methods for the assessment of electric, magnetic, and electromagnetic fields associated with human exposure, in cooperation with International Committee on Electromagnetic Safety of the IEEE Standards Association¹, under the IEC/IEEE Dual Logo Agreement between IEC and IEEE.

This publication is published as an IEC/IEEE Dual Logo standard.

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

FDIS	Report on voting
106/404/FDIS	106/414/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.

International Standards are drafted in accordance with the rules given in the ISO/IEC Directives, Part 2.

This standard contains attached files in the form of CAD models described in Clause 6. These files are available at:

http://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:227:0:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1303,25

A list of all parts in the IEC/IEEE 62704 series, published under the general title *Determining the peak spatial-average specific absorption rate (SAR) in the human body from wireless communications devices, 30 MHz to 6 GHz*, can be found on the IEC website.

The IEC technical committee and IEEE technical committee have decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website 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.

¹ A list of IEEE participants can be found at the following URL:
http://standards.ieee.org/downloads/62704/62704-3-2017/62704-3-2017_wg-participants.pdf.

INTRODUCTION

The increasing complexity of assessing product compliance with exposure standards according to specific absorption rate (SAR) limits calls for new compliance or pre-compliance techniques. Currently standardized experimental SAR compliance assessments of wireless communication devices are time-consuming and costly. Computational techniques have reached a level of maturity which allows their use in the pre-compliance assessments of wireless communication devices such as mobile phones. For example, pre-compliance testing is important for mobile phone manufacturers in their product development phase where this document may be applied. The benefits to the users and manufacturers include standardized and accepted protocols, validation techniques, benchmark results, reporting format and means for estimating the overall uncertainty in order to produce valid, repeatable, and reproducible data.

The results obtained by following the protocols specified in this document represent a conservative estimate of the peak spatial-average SAR induced in the standard human body models due to mobile phones. The protocols set forth herein produce results subject to modelling, simulations and other uncertainties that are defined in this document.

It is not the intent of this document to provide a result representative of the absolute maximum SAR value possible under every conceivable combination of human body and mobile phone usage. The following items are described in detail: simulation concepts, simulation techniques, finite difference time domain (FDTD) numerical method, benchmark results, standardized numerical models of the human body. Procedures for validating the numerical tools used for SAR simulations and assessing the SAR simulation uncertainties are provided. This document is intended primarily for use by engineers and other specialists who are familiar with electromagnetic (EM) theory, numerical methods, and, in particular, FDTD techniques. This document does not recommend specific SAR limit values since these are found in other documents.

IECNORM.COM : Click to view the full text of IEC/IEEE 62704-3:2017

DETERMINING THE PEAK SPATIAL-AVERAGE SPECIFIC ABSORPTION RATE (SAR) IN THE HUMAN BODY FROM WIRELESS COMMUNICATIONS DEVICES, 30 MHz TO 6 GHz –

Part 3: Specific requirements for using the finite difference time domain (FDTD) method for SAR calculations of mobile phones

1 Scope

This part of IEC/IEEE 62704 defines the concepts, techniques, benchmark phone models, validation procedures, uncertainties and limitations of the finite difference time domain (FDTD) technique when used for determining the peak spatial-average specific absorption rate (SAR) in standardized head and body phantoms exposed to the electromagnetic fields generated by wireless communication devices, in particular pre-compliance assessment of mobile phones, in the frequency range from 30 MHz to 6 GHz. It recommends and provides guidance on the numerical modelling of mobile phones and benchmark results to verify the general approach for the numerical simulations of such devices. It defines acceptable modelling requirements, guidance on meshing and test positions of the mobile phone and the phantom models. This document does not recommend specific SAR limits since these are found in other documents, e.g. IEEE C95.1-2005[1]² and ICNIRP[2].

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60050 (all parts), *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)* (available at: www.electropedia.org)

IEC 62209-1, *Measurement procedure for the assessment of specific absorption rate of human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices – Part 1: Devices used next to the ear (Frequency range of 300 MHz to 6 GHz)*

IEC 62209-2, *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)*

IEC/IEEE 62704-1:2017, *Determining the peak spatial-average specific absorption rate (SAR) in the human body from wireless communications devices, 30 MHz to 6 GHz – Part 1: General requirements for using the finite-difference time-domain (FDTD) method for SAR calculations*

IEEE Std 1528, *IEEE recommended practice for determining the peak spatial-average specific absorption rate (SAR) in the human head from wireless communications devices: measurement techniques*

IEEE Standards Dictionary Online³

² Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

³ Subscription available at: <http://dictionary.ieee.org>.

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC/IEEE 62704-1, the *IEEE Standards Dictionary Online*, IEC 60050 (all parts) and the following apply.

ISO, IEC and IEEE maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>
- IEEE Dictionary Online: available at <http://dictionary.ieee.org>

3.1

cell

discretization step along a given axis of the Cartesian coordinates

3.2

component

part present in the mobile phone

EXAMPLE Antenna, battery, etc.

3.3

handset

hand-held device intended to be operated close to the body, consisting of an acoustic output or earphone and a microphone, and containing a radio transmitter and a receiver

3.4

object

solid identified by computer-aided design (CAD) criteria

4 Abbreviated terms

ACIS	3-D file format derived from its authors' names (Alan Charles, Ian's System)
CAD	computer-aided design; commonly used file formats are IGES, DXF and SAT
DCS	digital communication system
DUT	device under test
DXF	digital exchange file
ERP	ear reference point
FDTD	finite difference time domain
GSM	global system for mobile communication
IGES	international graphics exchange standard
LCD	liquid crystal display
PCB	printed circuit board
PEC	perfect electric conductor
PML	perfectly matched layers
RF	radio frequency
SAM	specific anthropomorphic mannequin
SAR	specific absorption rate
SAT	standard ACIS text
UMTS	universal mobile telecommunication system

5 Simulation procedure

5.1 General

Clause 5 presents the steps that shall be followed to compute SAR from a mobile phone placed against a head or a body phantom. The procedure requires voxel models derived from the CAD data files of the DUT and of either the SAM head phantom or the body phantom.

5.2 General considerations

The practical considerations for the application of the FDTD method are provided in Annex C of IEC/IEEE 62704-1:2017. Since the standard FDTD method relies on the Cartesian Yee cell, stair casing of curved surfaces is a problem that needs special consideration, particularly for the case of the DUT and the SAM head phantom. To limit stair casing, the positioning of the DUT against the SAM phantom shall be achieved by performing transformations such as translations and rotations on the SAM phantom only. The body phantom should preferably be reconstructed using the built-in drawing features of the numerical simulation tool when available. It can be easily aligned with both the handset and the FDTD axes.

5.3 General mesh settings

For the FDTD method, the intrinsic problem of choosing a sufficiently small cell or grid size yet limit the memory requirements can be challenging. The wavelength in the material with the highest relative permittivity generally dictates the required minimum grid step. To mesh the free-space surrounding the phone and the phantom, a cell size corresponding to about $\lambda/30$ to $\lambda/10$ may be sufficient, where λ is the smallest wavelength corresponding to the wave propagation in the material with the highest relative permittivity. Since the relative permittivities of the materials present in a mobile phone are usually low – typically in the range 2 to 10 – the tissue equivalent liquid is expected to have the highest relative permittivity. Since this is generally insufficient for modelling the smaller components in a mobile phone, it may be necessary to further decrease the cell size to fully account for fine details such as slots or gaps or small components. The cell size may then be much smaller than the minimum cell size imposed by the highest relative permittivity of the materials present in the computational domain.

5.4 Simulation parameters

Practical considerations for the application of the FDTD such as voxel size, stability, absorbing boundaries are described in IEC/IEEE 62704-1:2017, Annex C.

5.5 DUT model

5.5.1 General

Prior to performing the SAR calculation using the head or the body phantom, the numerical simulation shall first be undertaken considering the DUT alone, i.e. free space configuration. The validity of the numerical model of the DUT shall be verified as described in Clause 7.

A DUT model normally contains many different solids, typically more than one hundred, making this model a very complex structure to handle. Given the complexity of recent generation wireless handsets used by consumers and the extensive time required for device modelling, the only practical approach for producing the FDTD mesh is by importing the mechanical CAD file of the DUT, and to automatically generate the FDTD model for the handset. The file with the model shall be exported from the mechanical engineering CAD tool in a format that can be easily imported into the FDTD simulation tool (usually SAT or IGES file format). Prior to the export of the CAD model, all parts shall be assembled and correctly aligned with respect to each other.

When the mechanical CAD file is not available, it may be acceptable to reconstruct the numerical model based on information such as the geometrical dimensions and positions of

the different components of the DUT [3]. In this document, the numerical model of the DUT is considered as a CAD model whether it is obtained following a numerical reconstruction or available as an export of a mechanical CAD file. The validity of the numerical model shall be demonstrated according to 7.4.

It is most important that the components present in the DUT model are assigned the correct material dielectric parameters. After import of the CAD file into the FDTD simulation tool, the correct material shall be assigned to each object to be meshed. The components and dielectric properties should be verified by a CAD engineer familiar with the physical and mechanical construction of the mobile phone.

Prior to meshing, the cell size requirements shall be established. This can be done in several ways, including automatic mesh generation, by a CAD object or group of objects, or manually. In order to provide an accurate mesh that will require minimal computer memory and run times, it is common practice to use a graded mesh, also called non-uniform mesh [4]. A graded mesh allows the FDTD mesh cell sizes to vary with position in one dimension. This approach allows smaller cells to be used where needed in order to accurately describe small but important CAD objects. A typical application for smaller mesh cells is in the antenna region which usually consists of slots.

While the above basic approach is a good start, there are exceptions that shall be considered. For example, the CAD objects may not have continuous surfaces. This can happen when the surface of the object is formed by the combination of separate facets and these facets may not join precisely at their intersections, leaving unintended gaps. This problem can be mitigated by "healing" the object manually to close the gaps (the healing feature is usually available in most commercially available FDTD simulation tools to fix connection problems among CAD objects to be fixed). However, for CAD objects with large gaps it may be impossible to develop an accurate FDTD mesh without manual intervention.

It is recommended that the larger metallic components or parts should be made into separate objects for which specific grid settings can be applied. In particular, the antenna model shall be a separate object so that this structure can be meshed as accurately as possible. The metallic parts of the model shall be aligned and connected so that artificial floating of electrically connected objects does not occur. Usually the printed circuit board (PCB) is not well represented in the CAD model. It is typically modelled as a few thin metallic layers interleaved with dielectric material [5]. However, it is acceptable to model the PCB as one thick solid metallic object. It is important to note that if the PCB is not correctly modelled, it will be seen as an invalid CAD model according to 7.4.

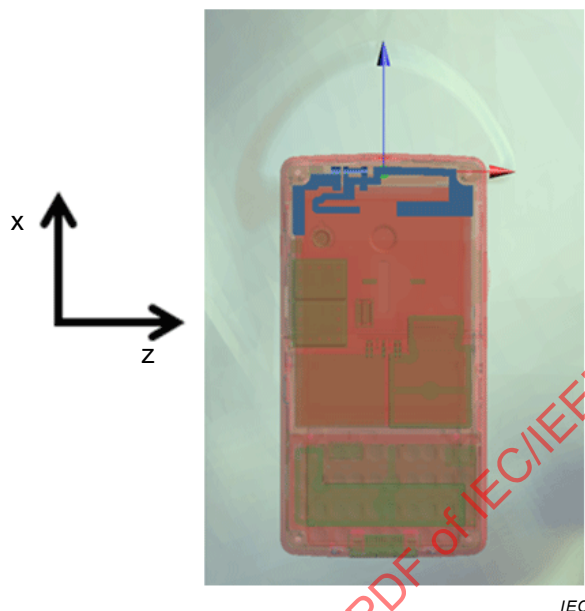
In order to optimize the computational resources, the components in the DUT model, for instance components located inside shielded cans, that are not expected to have noticeable impact to SAR distributions may be removed [6]. Consequently, such metallic components shall be given meshing priority over a component of lesser impact on SAR distribution. Components with the same material dielectric property that are in physical contact shall be united to form one solid. As a minimum requirement, essential parts such as antenna, chassis, PCB, display or screen, battery, other relatively large metallic components and the dielectric material supporting the antenna shall be modelled accurately. The meshing order of the objects or groups of objects shall be specified so that objects that touch, or perhaps even overlap, are correctly represented in the FDTD model.

Once the meshing has been completed, the resulting FDTD model of the handset shall be viewed and verified for accuracy. Critical areas such as the antenna region and other conductive components shall be carefully examined since the most important objects of the DUT model are the metallic components because they have the biggest impact on the SAR distribution.

As a guideline for the mesh generation, the components of the mobile phone that are expected to have the relatively highest impact on the SAR distribution are provided in 5.5.2 to 5.5.7.

5.5.2 Antenna

The antenna of the DUT is the most important component to be modelled and the grid step shall be chosen so as to resolve all details such as slots and gaps contained in it. Figure 1 shows the typical appearance of a top-mounted multi-band patch antenna for the GSM and UMTS frequency bands of operation.



NOTE The two separate metallic elements constituting the antenna are highlighted.

Figure 1 – An example of a multi-band antenna consisting of two metallic elements for the GSM and UMTS frequency bands

The shape of this particular antenna is rather complex and the cell size shall be chosen such that all details are resolved. In particular, if the antenna consists of separate metallic elements, most often used for operations at higher and/or multiple frequency bands, it is important to use a cell size that is less than half the separation between the elements. In the example shown in Figure 1, a cell size of 0,25 mm or less is necessary along the z-axis because the gap between the left and the middle branches of the antenna is only 0,5 mm. In the actual meshing, at least three cells are required to model the separations; otherwise, the tangential field in the gap to the parasitic element will not be simulated correctly. Furthermore, to correctly model the slot on the right metallic element of this antenna, a similar cell size is required along the x-axis.

5.5.3 RF source

The antenna feed model shall be constructed according to the feed used in the actual device. Usually a coaxial feed is connected to a feeding pin, in which case a classic FDTD feed gap source model shall be used. The actual feeding pin shall be replaced with the FDTD source excitation gap, as shown in Figure 2, and there shall be a gap of at least one cell corresponding to the actual gap dimension in the DUT model.

When the antenna is fed by a different means (e.g. a microstrip line as shown in Figure 3), the excitation source shall be modelled accordingly so that it is representative of the feed.

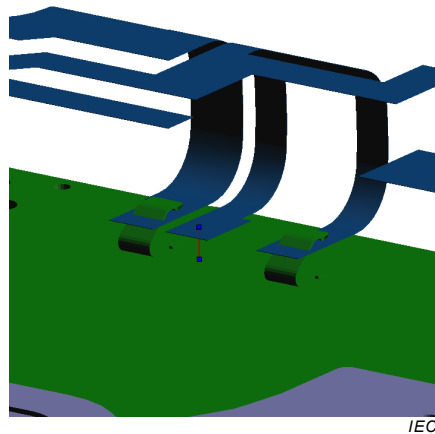


Figure 2 – An example of a source gap position that is inserted in replacement of a real-life feeding spring pin

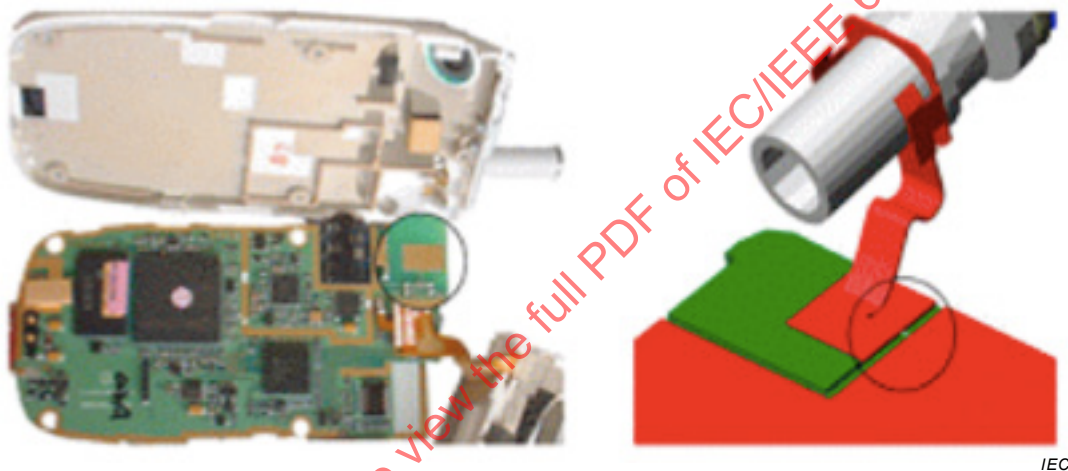


Figure 3 – An example of a microstrip feed line

5.5.4 PCB

The PCB is a sandwich structure that typically consists of several metallic sheets interleaved with dielectric layers. Modelling the PCB as a sandwiched structure has been found to be important in order to compute the losses in the PCB properly [5], but it requires a very fine cell size, usually 0,1 mm or less. Furthermore, it is usually difficult to model the interconnections between the different layers of the PCB. To alleviate this difficulty, the PCB should rather be modelled as a metallic solid since doing so is very unlikely to lead to under-estimation of the SAR.

5.5.5 Screen

The screen normally consists of several glass layers that may be merged into one solid object for simplicity, in which case an effective relative permittivity, typically an average of the different dielectric properties of the different materials, shall be used. If the screen contains metallic parts or conductive components, those parts shall be modelled as separate objects embedded in the display. For example, a metallic frame is sometimes placed around the screen.

The screen display is attached to the PCB at several points and there is sometimes a narrow gap between them. The cell size shall be small enough to resolve this gap properly and it can be necessary to increase the resolution around the screen to resolve the air gaps around it. This is important since high surface currents will flow on the metallic parts. If the screen is not correctly and properly connected to the PCB, a completely different SAR distribution may result.

5.5.6 Battery and other larger metallic components

The outer surface of the battery pack is typically covered with a thin metallic foil, which enables the battery to be treated as a solid metallic object.

Other metallic components in the phone include camera housing, vibrator rotor, external antenna connector, etc. The cells representing these components shall be examined carefully before the FDTD simulation can be started. It is important to investigate the final grid for artificial gaps between larger metallic components. When objects in the CAD model are not perfectly aligned, sub-millimetre gaps can introduce artificial breaks or discontinuity and lead to computational errors. In such situations, it is necessary to manually adjust such objects or replace the components with a metallic structure of the same outer dimensions. Also, thin metallization on the DUT front-side or inside the DUT shall be checked for artificial gaps in the CAD and FDTD models. This is also important for flex films that run between components, for instance between a keypad flip, or the screen, and the PCB.

5.5.7 Casing

The casing or outer housing is usually made of plastic but it may also be made of metallic elements or contain conductive additives such as paint or dye. The cell size for the casing is more or less dictated by the cell size adopted for the components inside the housing and therefore little concern is required for this grid. It is, however, necessary to ensure that the separation distance between the DUT and the head or body phantom is accurately represented by grid steps chosen for modelling the casing of the DUT in this region. For example, if the mesh is too coarse the mobile phone will be positioned at the wrong distance from the tissue simulating material in the phantom.

5.6 SAR calculation using phantom models

5.6.1 General

The SAR calculations using the head phantom shall be performed for all the measurement configurations described in IEEE Std 1528 and the SAR calculations using the body phantom shall be performed for all the measurement configurations described in IEC 62209-2. After validation of the numerical model of the DUT according to 7.4, the mesh density should be optimized to enable relatively rapid SAR calculation within the required SAR simulation accuracy using the head or the body phantom as described herein.

However, the mesh density applied to validate the mobile phone model alone, i.e. in free space configuration, shall be enforced for the SAR calculation using the head or the body phantom. If the automatic mesh generation feature of the numerical simulation tool was used to generate the mesh which validated the DUT model, it shall be de-activated when the results of the numerical model of the DUT are considered acceptable for the SAR calculations as described in 7.4. Depending on the amount of available computer memory, the same mesh density should preferably be applied to the head or the body phantom.

For the head SAR calculation, the CAD file of SAM head phantom provided in SAT format with IEC/IEEE 62704-1 shall be used. Further details about the SAM phantom are provided in IEEE Std 1528 and IEC 62209-1. For the body SAR calculation, the flat phantom defined in IEC 62209-2 shall be reconstructed according to the frequency of operation and size of the DUT. The positioning of the DUT against the phantom shall follow the procedures described in IEEE Std 1528.

A positioning error of the DUT against the SAM head phantom may lead to an important contribution to the uncertainty budget [7]. In numerical modelling, a positioning uncertainty of 1 degree may lead to 5 % to 10 % deviation (depending on frequency) in the SAR value. When a device is incorrectly positioned, the SAR error should not be treated as contributions of modelling uncertainty. The procedure is briefly outlined in 5.6.2 and 5.6.3 for the positioning against the SAM head phantom as well as the flat phantom. It is assumed that the DUT is positioned in the FDTD computational domain space as shown in Figure 4 wherein a

local coordinate system (u,v,w) is preferably used. The DUT shall be aligned such that the earpiece is located at the origin (0,0,0) of the transformed FDTD computational domain. When the local coordinate system feature is unavailable, the global coordinate system (x,y,z) shall be used and the earpiece shall be located at the origin of this global coordinate system, i.e. replace u by x, v by y and w by z.

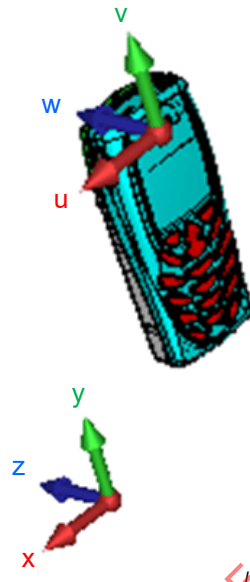


Figure 4 – Orientation of the mobile phone model prior to positioning against the head or the body phantom

5.6.2 Head phantom model

The CAD file of the SAM head phantom contains two objects: one object represents the 2 mm thick phantom and the other object represents the tissue simulating material contained within the shell. The dielectric properties of the phantom shell and of the tissue simulating material shall be those given in IEEE Std 1528. The exact values for these properties shall be used, i.e. the allowed tolerance for the fabrication of the phantom shall not be taken into account.

Three reference points corresponding to the mouth, left and right ear reference points are defined in the CAD file for positioning handsets against the SAM head phantom, according to the same procedures required for the SAR measurements.

As a first step, and after importing the SAM CAD file into the previous simulation setup that contains only the DUT CAD model, the SAM head phantom shall be rotated so that the ear reference point is located at the grid origin (0, 0, 0). Secondly, the SAM head phantom shall be rotated so that the BM line, which connects between the ear and the mouth, is parallel to one of the principal coordinate planes prior to positioning the head model close to the device. Referring to the axes shown in Figure 5 a), if the head model is initially oriented vertically, i.e. upright along the v-axis or y-axis, a first rotation shall then be conducted around a line connecting both ear reference points until the edge of the truncated ear spacer is aligned with the horizontal axis of the DUT (u-axis or x-axis in Figure 5 a)). Additional rotations around the u-axis or x-axis and the v-axis or y-axis (as shown in Figure 5 b)) may then be necessary to align the handset front surface to the SAM head phantom according to the touch and tilt positioning requirements in IEEE Std 1528. These additional rotations shall be performed around the ear reference point.

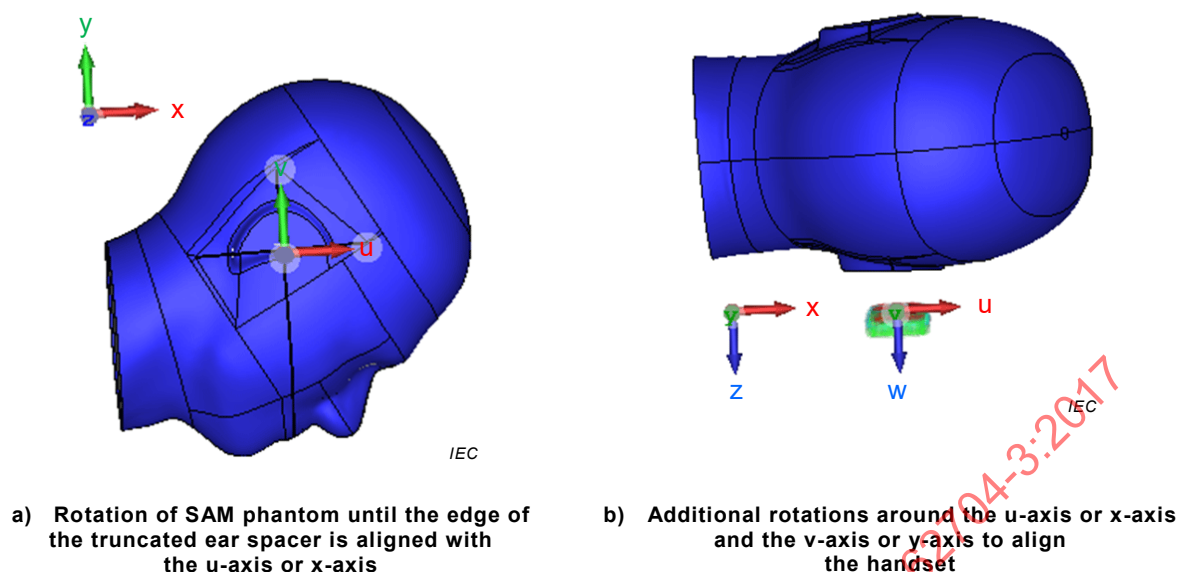


Figure 5 – Orientation of the SAM phantom prior to positioning against the DUT shown in Figure 4

Following the above steps, the SAM head phantom is translated towards or away from the DUT (along the w-axis or z-axis) until it begins to touch the closest object of the DUT. Since both models have been positioned previously such that the ear reference point and the intersecting point of the vertical centre line and the horizontal line passing through the speaker output are located at the origin, they will resemble the initial state in the phone positioning procedure in the current SAR measurement standards in use as shown in Figure 6 a). Depending on the design of the DUT, the phone and phantom models might overlap such that, for example, part of the phone close to the speaker extends into the phantom model. In that case, the DUT shall be moved in the direction away from the SAM phantom until no part of the phone model overlaps the head model.

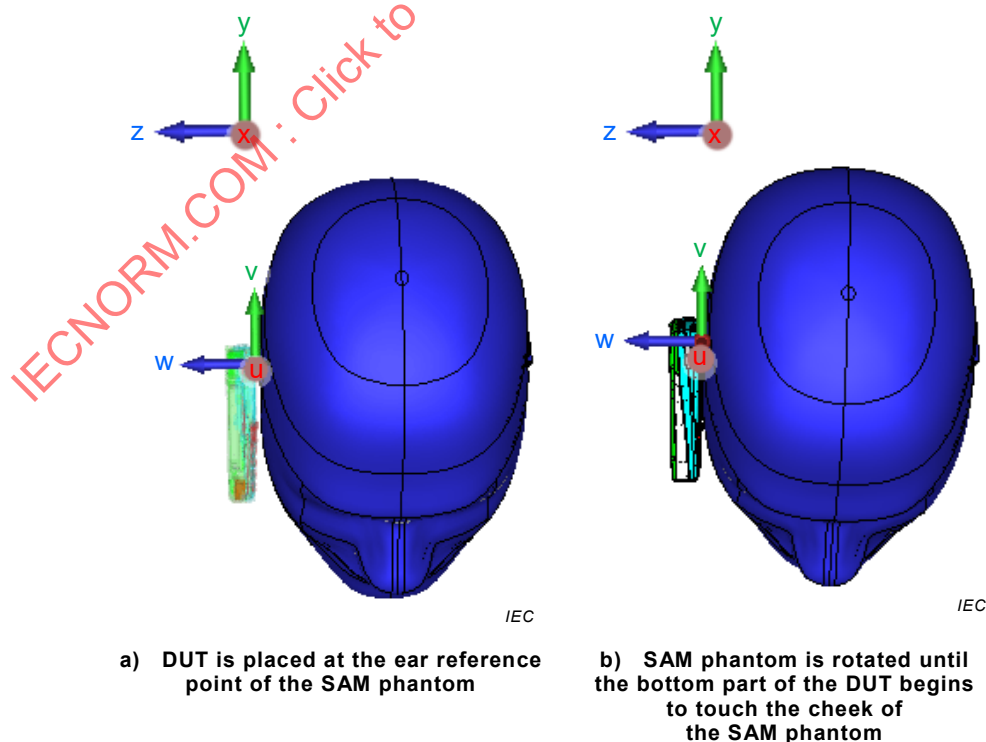


Figure 6 – Suggested steps for the cheek position of the DUT against the SAM phantom

Then, for the standardized cheek phone position, the head model shall be rotated around the ear reference point (here with the u-axis or x-axis as the rotation axis) so that the DUT begins to touch the SAM head phantom surface as shown in Figure 6 b). It is often quite difficult to see the point of contact and the rotation operation may need to be conducted in steps of 0,5 degrees.

For the standardized +15 degrees tilted position, the following two steps shall be carried out:

- 1) Rotate the SAM head phantom around the ear reference point (with the u-axis or x-axis as rotation axis) 15 degrees as shown in Figure 7 a).
- 2) The DUT model will then most probably protrude into the ear part of the SAM head phantom; in which case translate the DUT until they are in surface-contact again as shown in Figure 7 b).

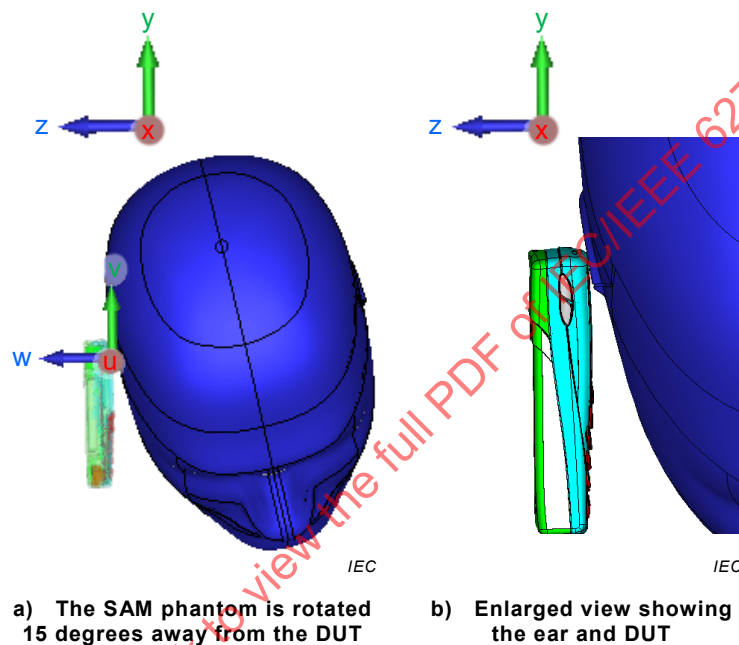


Figure 7 – Tilt position of the DUT against the SAM phantom

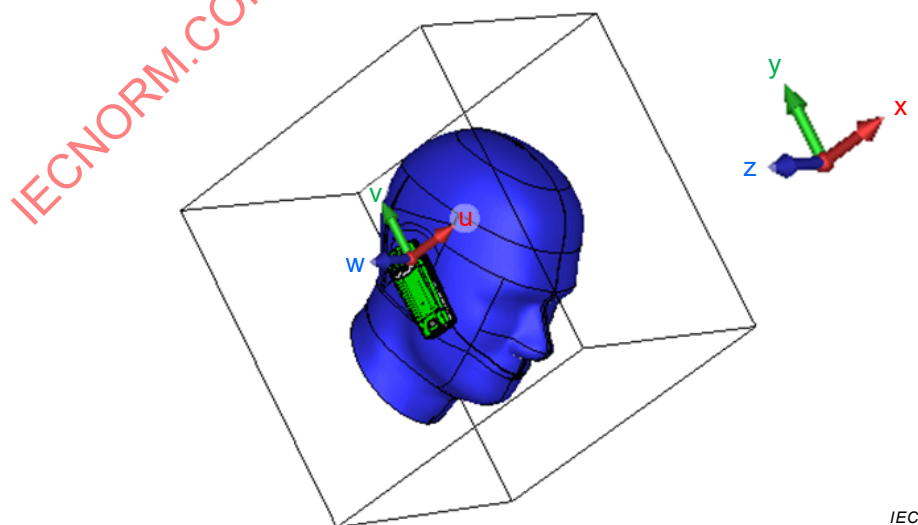


Figure 8 – Example of the full model space that includes the DUT and the SAM phantom for the numerical simulations for the right cheek position

Once the SAM head phantom is aligned with the DUT model as shown in Figure 8 for the example of the right cheek position, the complete FDTD grid shall be generated according to the coordinate system (x,y,z) of the phone model. However, the initial grid applied for the DUT model shall not be altered.

5.6.3 Body phantom model

The body phantom model and the dielectric properties of the phantom shell and of the tissue simulating material used for the simulations shall be the flat phantom specified in IEC 62209-2. The depth of the tissue-simulating material in the phantom shall be at least 150 mm and the values shall be those provided in IEC 62209-2. The exact values for these properties shall be used, i.e. the allowed tolerance for the fabrication of the phantom shall not be taken into account.

Figure 9 shows an example of a model space for a given separation distance between the DUT and the flat phantom.

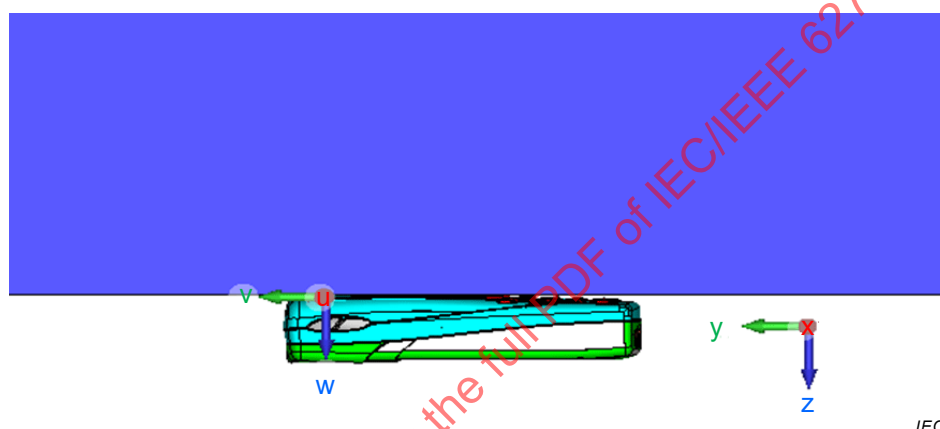


Figure 9 – Example of the model space for the DUT/body phantom calculation setup

5.6.4 Phantom mesh generation

Stair casing effect is expected to be negligible for the flat phantom. In order to reduce stair casing effects for the region of the SAM head phantom closest to the DUT, the grid size for the field calculation points that surrounds the ear and the phone should be 0,5 mm to 1 mm in all directions to a depth of 50 mm in the tissue simulating material. For the other regions of the SAM phantom, i.e. at the opposite ear, larger steps can be used, for example in the range 3 mm to 5 mm for frequencies up to 2 GHz. A grid step smaller than one fifth of the wavelength in the tissue simulating material is usually sufficient.

5.7 Recording of results

The recording of the calculation results will depend on the amount of memory space available, but some results are essential for the ultimate peak spatial-average SAR calculation. The S11 parameter is usually the default output in most commercial software. The SAR value computed at each voxel inside the phantom should be saved. It is also useful to compute the losses in the different materials. The calculation of the peak spatial-average SAR, either over 1 g or 10 g, usually requires a rather lengthy post-processing of the SAR data over each voxel. This post-processing algorithm can be launched over a sub-volume, in which case this sub-volume shall cover at least half the depth of the phantom. For example, only the half-head of the SAM phantom nearest to the DUT may be considered for the peak spatial-average SAR calculation.

5.8 Peak spatial-average SAR calculation

The peak spatial-average SAR calculation shall be evaluated according to the procedure described in 6.2 of IEC/IEEE 62704-1:2017. All values shall be normalized to the maximum power accepted by the antenna, i.e. the return loss is not taken into account thereby providing a conservative value of the peak spatial-average SAR value. It is important to note that the normalization to the maximum power accepted by the antenna shall not be applied for the purpose of evaluation of the computational uncertainty described in Clause 7.

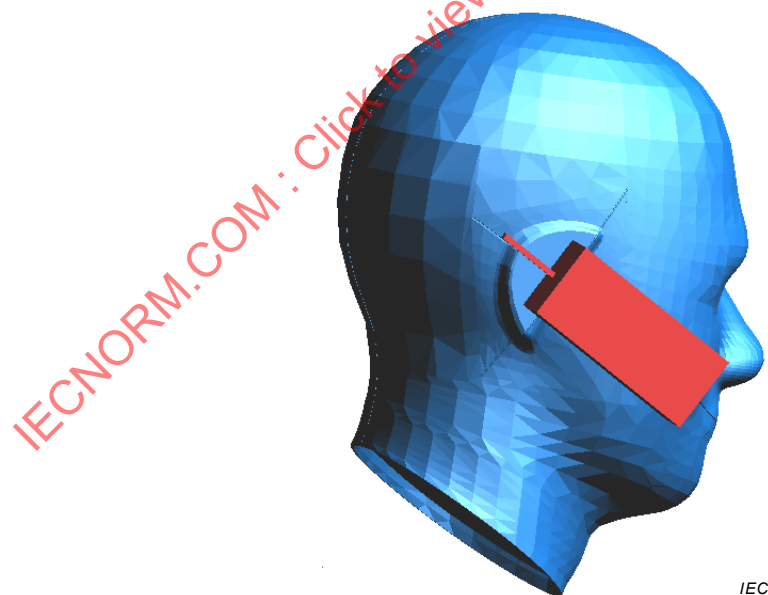
6 Benchmark models

6.1 General

Clause 6 describes benchmark mobile phone models that shall be used for the validation of the numerical FDTD simulation tool prior to undertaking any numerical simulation using the CAD model of the DUT which is to be assessed for SAR pre-compliance. The desired target values for the given parameters of each benchmark shall be met within the stated limits (resonance frequency band or impedance) or deviations (peak spatial-average SAR).

6.2 Generic metallic box phone for 835 MHz and 1900 MHz

This benchmark phone model was previously used in the SAM head phantom interlaboratory comparison project that was initiated by IEEE SCC-34, SC-2, WG2, in 2003 [8]. The generic metallic box phone consists of a PEC metallic box with a 1 mm plastic layer and a wire monopole antenna at the top surface. For the SAR calculation, it is positioned at the right ear of the SAM phantom as shown in Figure 10. The dimensions of the phone are shown in Figure 11. The antenna length, designated as L_A in Figure 11 is specified for two test frequencies: 71 mm at 835 MHz and 36 mm at 1900 MHz. The length of the antenna includes the 1 mm source gap and the 1 mm of rubber coating of the antenna. The speaker output is located 10 mm below the top side of the chassis.



IEC

Figure 10 – The SAM head phantom and the generic metallic box phone

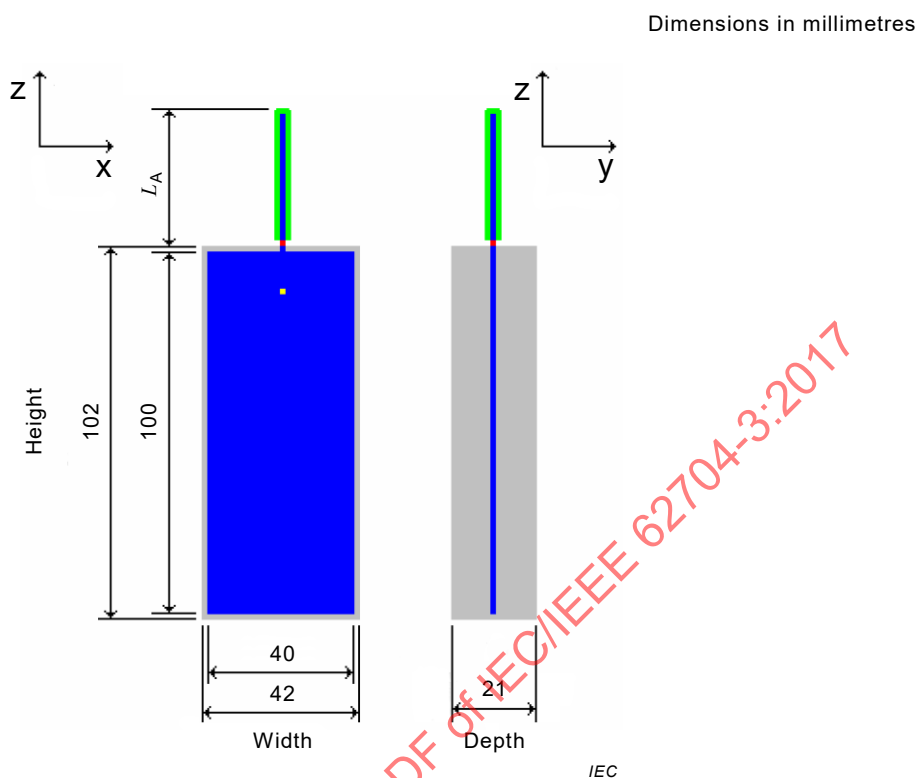


Figure 11 – Physical dimensions of the generic metallic box phone

The dielectric properties of the materials for this benchmark mobile phone model are provided in Table 1.

The SAR results for the specified simulations are shown in Table 2. All SAR results are normalized to 1 W power accepted by the antenna. Note that the presented data are the mean values of the results obtained from the participating laboratories in the interlaboratory comparison and they should not be considered as analytically obtained reference values. A deviation of less than 30 % from the mean value is considered to be indicative of an acceptable numerical simulation result.

Table 1 – Dielectric parameters of the materials of the generic phone

Material	835 MHz		1 900 MHz	
	ϵ_r	σ (S/m)	ϵ_r	σ (S/m)
Plastic (chassis)	4,0	0,04	4,0	0,04
Rubber (antenna cover)	2,5	0,005	2,5	0,005
SAM plastic shell	5,0	0,0016	5,0	0,0016
SAM tissue simulating material	41,5	0,90	40,0	1,40

Table 2 – Peak spatial-average SAR for 1 g and 10 g of the benchmark

Frequency (MHz)	Ear side	Position	SAR 1 g (W/kg/W)	SAR 10 g (W/kg/W)
835	Right	Cheek	7,5	5,3
		Tilt	4,9	3,4
1900		Cheek	8,3	4,8
		Tilt	12,0	6,8

6.3 GSM/UMTS mobile phone

This benchmark phone model is based on a CAD file that is provided with this document. The purpose of the benchmark is to test the handling of complicated models of the chosen FDTD-based tool. The model consists of a number of solids that are similar to the structures used in real mobile phones. The benchmark mobile phone model is shown in Figure 12. The model consists of both metallic and plastic solids with dielectric properties of the materials given in Table 3.

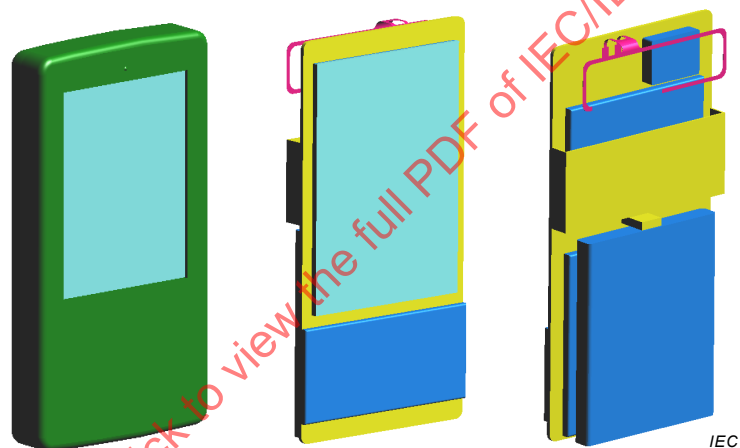


Figure 12 – Generic GSM/UMTS mobile phone

Table 3 – Dielectric properties of the materials of the generic GSM/UMTS mobile phone

Solid name	Material	900 MHz		1 800 MHz	
		ε_r	σ (S/m)	ε_r	σ (S/m)
ant_carrier	Plastic	3,00	0,001 1	3,00	0,002 1
Antenna	Copper		PEC		PEC
Back	Plastic	3,00	0,001 1	3,00	0,002 1
Battery	Aluminium		PEC		PEC
battery_con	Copper		PEC		PEC
connector_1	Copper		PEC		PEC
feeding_connector	Copper		PEC		PEC
Front	Plastic	3,00	0,001 1	3,00	0,002 1
grounding_connector	Copper		PEC		PEC
LCD_glas	Glass	4,82	0,001 3	4,82	0,002 6
LCD_ground	Aluminium		PEC		PEC
Pcb	Copper		PEC		PEC
Shield	Aluminium		PEC		PEC
shield2	Aluminium		PEC		PEC
shield3	Aluminium		PEC		PEC
Speaker	Aluminium		PEC		PEC
sub_pcb	Copper		PEC		PEC

The SAR results for the specified configurations are provided in Table 4. All SAR results are normalized to 1 W power accepted by the antenna. Note that the presented data are the values of the results obtained from only one laboratory and they should not be considered as analytically obtained reference values. A deviation of less than 30 % from the mean value is considered to be indicative of an acceptable numerical simulation result.

Table 4 – Peak 1 g and 10 g SAR results of the GSM/UMTS mobile phone

Frequency (MHz)	Ear side	Position	SAR 1 g (W/kg/W)	SAR 10 g (W/kg/W)
900	Right	Cheek	8,0	5,8
		Tilt	6,2	4,8
1 800		Cheek	8,2	5,0
		Tilt	10,3	5,8

6.4 Generic multi-band patch antenna mobile phone

This benchmark phone model is based on a CAD file that is provided with this document. The phone model is shown in Figure 13. All metal parts of the phone shall be modelled as perfect conductors. The case shall be modelled a) as a lossless dielectric ($\varepsilon_r = 3$) and b) as a lossy dielectric ($\varepsilon_r = 3$, $\sigma = 5$ mS/m). This benchmark poses no restrictions on the grid and voxel size or on the source and signal type to feed the phone. The data to be reported are given in Table 5.

The SAR results for the specified configurations are provided in Table 6. All SAR results are normalized to 1 W power accepted by the antenna. Note that the presented data are obtained from only one laboratory and they should not be considered as analytically obtained reference

values. A deviation of less than 30 % from the value is considered to be indicative of an acceptable numerical simulation result.

Comparisons of the real and imaginary parts of the input impedance of the antenna obtained with three different commercially available software are provided in Annex A.

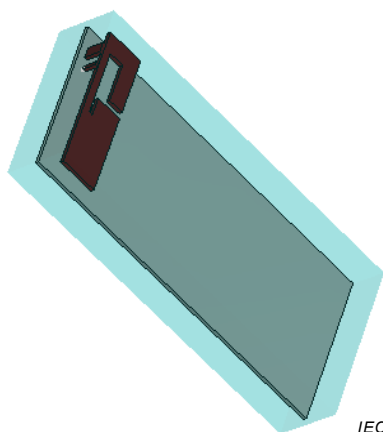


Figure 13 – Generic mobile phone with integrated multiband patch antenna

Table 5 – Limits of the output parameters for the generic multi-band mobile phone

Quantity	Result	Limit
Grid dimensions		-
Minimum grid step antenna		-
Maximum grid step antenna		-
Minimum overall grid step		-
Maximum overall grid step		-
Lower resonance frequency (lossless)		825 MHz to 875 MHz
Upper resonance frequency (lossless)		1 750 MHz to 1 800 MHz
Re{Z} lower resonance (lossless)		150 Ω to 250 Ω
Im{Z} lower resonance (lossless)		-100 Ω to -50 Ω
Re{Z} upper resonance (lossless)		30 Ω to 50 Ω
Im{Z} upper resonance (lossless)		40 Ω to 60 Ω
Power budget lower resonance (lossless)		> 98 %
Power budget upper resonance (lossless)		> 98 %
Lower resonance frequency (lossy)		825 MHz to 875 MHz
Upper resonance frequency (lossy)		1 750 MHz to 1 800 MHz
Re{Z} lower resonance (lossy)		150 Ω to 250 Ω
Im{Z} lower resonance (lossy)		-100 Ω to -50 Ω
Re{Z} upper resonance (lossy)		30 Ω to 50 Ω
Im{Z} upper resonance (lossy)		40 Ω to 60 Ω
Power budget lower resonance (lossy)		> 95 %
Power budget upper resonance (lossy)		> 95 %

Table 6 – Peak 1 g and 10 g SAR results of the GSM/UMTS mobile phone

Frequency (MHz)	Ear side	Position	SAR 1 g (W/kg/W)	SAR 10 g (W/kg/W)
850	Right	Cheek	9,5	6,8
		Tilt	6,9	4,9
1750		Cheek	6,5	4,7
		Tilt	4,0	4,0

6.5 Neo Free Runner mobile phone

This benchmark phone model is based on the freely available CAD file⁴ of the Neo Free Runner mobile phone shown in Figure 14. It is also provided as a SAT file with this document. The antenna of this mobile phone is curved thereby providing a good example to test the stair casing effect of the FDTD scheme.

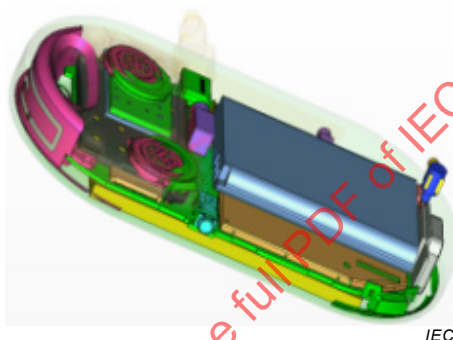


Figure 14 – CAD model of the Neo Free Runner mobile phone

Some components of this CAD model are not considered for this benchmark (e.g. connector used to charge the battery). The different components of the mobile phone actually considered for this benchmark are provided in Table 7. The dielectric properties of the different materials are considered to be the same at both 890 MHz and 1750 MHz.

⁴ Available from: <http://downloads.openmoko.org/developer/CAD/> . This information is given for the convenience of users of this document and does not constitute an endorsement by IEC or IEEE of this product.

Table 7 – Dielectric properties of the materials of the Neo Free Runner mobile phone

Solid name	890 MHz / 1 750 MHz	
	ϵ_r	σ (S/m)
Antenna (GSM-ANTENNA and GSM-ANTENNA-FEED)		PEC
Antenna Support (GSM-ANT-BOTTOM)	2,33	0,01
Casing (GTC01-A-MCB01_2, GTC01-A-MCB01_4, GTC01-A-MCF01_5, GTC01-A-MCF01_10, GTC01-A-MFM01_10, GTC01-A-MPB01_4, GTC01-A-MPF01_9)	3,00	0,01
PCB (CT0GPS-A-MPM1)		PEC
Battery (BATTERY-1200MAH-WELLDONE)		PEC
Battery connector (BATT-CONN-OCTEK-03JAX)		PEC
LCD (ID-GTC-LENS-PRE)	4,80	0,01
Speaker (SPEAKER-16D-PSS_2, SPEAKER-16D-PSS_3, SPEAKER-16D-PSS_6, SPEAKER-16D-PSS_7))		PEC
Speaker connector (PIN__W__ANY_1)		PEC
Receiver (RECEIVER-8x2-PHILIPS)		PEC
Vibrator (VIBRATOR_2113TOP0)		PEC

The SAR results for the specified simulations are provided in Table 8. All SAR results are normalized to 1 W power accepted by the antenna. Note that the presented data are the mean values of the results obtained from the participating laboratories in the inter-comparison and they should not be considered as analytically obtained reference values. A deviation of less than 30 % from the mean value is considered to be indicative of an acceptable numerical simulation result.

Table 8 – Peak 1 g and 10 g SAR results of the Neo Free Runner mobile phone

Frequency (MHz)	Ear side	Position	SAR 1 g (W/kg/W)	SAR 10 g (W/kg/W)
890	Right	Cheek	5,6	4,2
		Tilt	2,7	2,0
1 750		Cheek	7,9	4,6
		Tilt	2,9	2,0

The S11 results for three versions of this benchmark, with different levels of complexity, including one consisting of all the elements of Table 7, labelled as “full” version, are provided in Annex B.

7 Computational uncertainty

7.1 General considerations

Similar to any experimental evaluation, the SAR computational procedure has a level of uncertainty associated with the numerical simulation described in this document. To minimize the uncertainty of the numerical simulations, all SAR evaluations described in this document shall be performed using computational code that was validated according to Clause 8 in IEC/IEEE 62704-1:2017. This validation is usually done by the software vendor. For the purpose of SAR pre-compliance evaluation of mobile phones, the procedure for the assessment of the uncertainty described in Clause 7 of IEC/IEEE 62704-1:2017 shall be followed. The DUT validation and computational uncertainty procedures in IEC/IEEE 62704-1:2017 require comparisons of computational and measurement results, which may not be

feasible for CAD models developed during the design phases where an actual sample of the test device is unavailable.

7.2 Uncertainty of the test setup with respect to simulation parameters

To evaluate the uncertainty of the test setup with respect to simulation parameters, 7.2 of IEC/IEEE 62704-1:2017 shall be followed. The uncertainty contributions shall be recorded according to Table 3 of IEC/IEEE 62704-1:2017.

7.3 Uncertainty of the developed numerical model of the DUT

To evaluate the uncertainty of the developed numerical model of the DUT, 7.3.3 of IEC/IEEE 62704-1:2017 shall be followed, i.e. corresponding to the configuration for which the distance between the DUT and the flat phantom recommended for the measurement is less than half a wavelength. The uncertainty contributions shall be recorded according to Table 4 of IEC/IEEE 62704-1:2017.

A non-negligible contribution to the uncertainty of the developed numerical model of the DUT will be due to small variations in dielectric properties of the materials used for the different components of the DUT. This uncertainty, referred to as the parametric uncertainty, actually also exists when applying the measurement standard for the SAR compliance of mobile phones. It represents the fabrication tolerance of the different materials used to build the mobile phone.

For the purpose of this document, the mean values – available either from measurements or from data sheets – of the dielectric properties shall be used for the numerical simulations. It is expected that if incorrect and highly deviating values are used, it will be observed as a relatively higher uncertainty of the developed numerical model of the DUT which may lead to an invalid DUT model following the procedure described in 7.4.

7.4 Validation of the developed numerical model of the DUT

For the validation of the developed numerical model of the DUT, 7.3.4 of IEC/IEEE 62704-1:2017 shall be followed.

7.5 Uncertainty budget

To calculate the overall uncertainty budget, 7.4 of IEC/IEEE 62704-1:2017 shall be followed and the different contributions of the uncertainty noted in Table 9.

Table 9 – Overall uncertainty budget

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i> = <i>f</i> (<i>d</i> , <i>h</i>)	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>
Uncertainty Component	Subclause	Tolerance %	Probability distribution ^a	Divisor ^b	<i>c_i</i>	Uncertainty %	<i>ν_i</i> or <i>ν_{eff}</i>
Uncertainty of the DUT model with respect to simulation parameters	7.2		N	1	1		
Uncertainty of the developed numerical model of the DUT	7.3		N	1	1		
Combined std. uncertainty (<i>k</i> = 1)							
Expanded std. uncertainty (<i>k</i> = 2)							
<i>c_i</i> is the sensitivity coefficient that shall be applied to convert the variability of the uncertainty component into a variability of SAR. NOTE 1 Column headings <i>a</i> to <i>h</i> are given for reference. NOTE 2 Columns <i>c</i>, <i>f</i> and <i>h</i> shall be filled in based on the results of 7.2 and 7.3. NOTE 3 The divisor is a function of the probability distribution and degrees of freedom (<i>ν_i</i> and <i>ν_{eff}</i>). ^a N = normal probability distribution. ^b Used to get standard uncertainty.							

8 Reporting simulation results

8.1 General considerations

The SAR results computed according to this document shall be reported for all simulated configurations, including those not producing the highest peak spatial-average SAR values. In addition, relevant information on the simulated configurations and modelling of the DUT shall be included in the report. Clause 8 provides a summary of the recommended procedures for documenting the numerical SAR evaluations of mobile phones.

8.2 DUT

The minimum description of the DUT shall include: operating frequency band, maximum transmit power, and descriptions of the different components of the DUT. An image of the CAD model of the DUT shall be provided clearly indicating the location of the antenna and as much as possible all the other components of the mobile phone such as the PCB, the screen, the battery and other large components.

8.3 Simulated configurations

The simulation configurations shall be described and illustrated. The details for each configuration shall include:

- 1) transmit frequency;
- 2) detailed specifications of the antenna (antenna dimensions, antenna type, etc.);
- 3) position of the DUT against the phantom (right or left and cheek or tilt for the case of the SAM phantom);
- 4) minimum and maximum mesh resolution;
- 5) total number of meshes;
- 6) computational domain size (in mm).

8.4 Numerical simulation tool

A description of the numerical simulation tool used for the simulations shall be included in the report. This information includes the name and version of the numerical simulation tool. Compliance of the numerical simulation tool with requirements of this document and IEC/IEEE 62704-1 shall be documented, including all applicable validation test results required by this document.

8.5 Results of the benchmark models

Results obtained for the different benchmark models as well as the deviations shall be recorded.

8.6 Uncertainties

The different uncertainty contributions evaluated according to Clause 7 shall be provided.

8.7 SAR results

The applicable 1 g and/or 10 g peak spatial-average SAR results for all simulated configurations shall be reported including details of the simulation configurations described in 8.3, to clearly associate individual SAR results with the respective configurations.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC/IEEE 62704-3:2017

Annex A (informative)

Additional results for the generic mobile phone with integrated multiband antenna

Comparisons of the real and imaginary parts of the input impedance of the antenna obtained with three different commercially available software products are shown in Figure A.1 and Figure A.2, respectively.

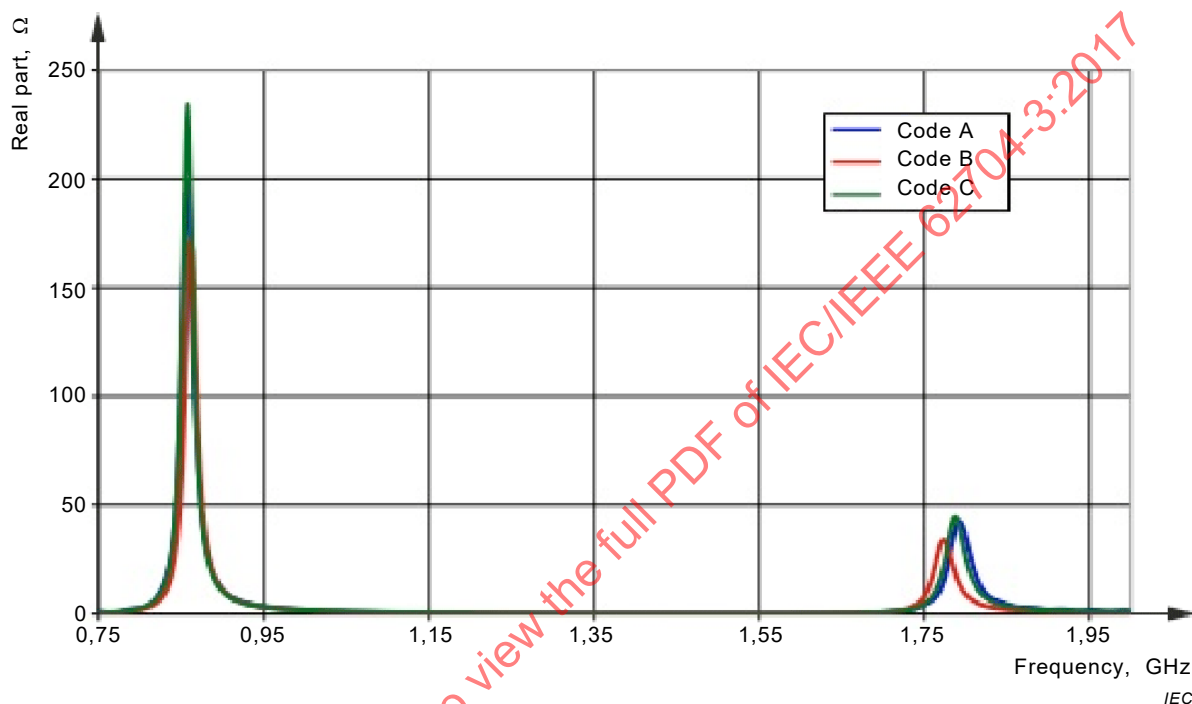


Figure A.1 – Real part of the input impedance of the antenna obtained with three different commercially available software products

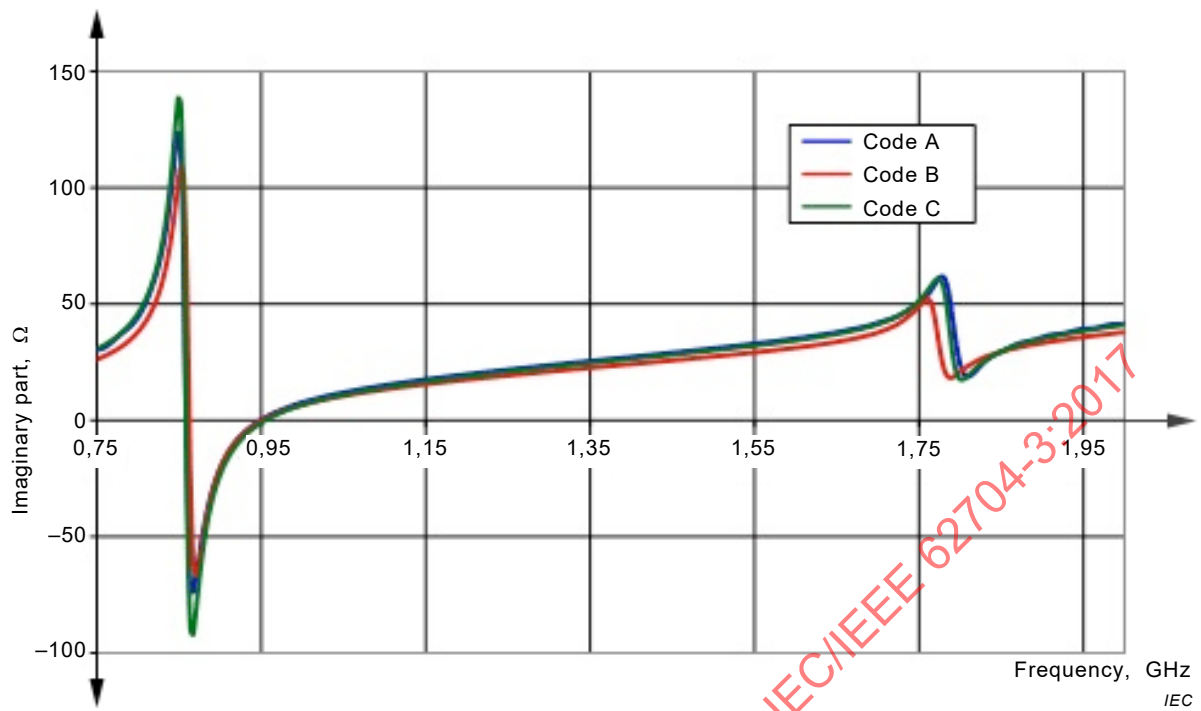


Figure A.2 – Imaginary part of the input impedance of the antenna obtained with three different commercially available software products

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC/IEEE 62704-3:2017

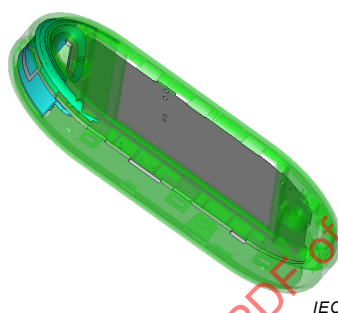
Annex B (informative)

Additional results for the Neo Free Runner mobile phone

Three versions of the same CAD model are considered for the numerical simulations:

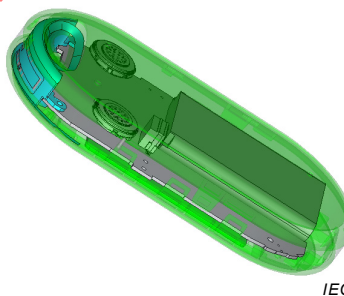
- a) basic,
- b) intermediate, and
- c) full.

The basic version shown in Figure B.1 consists of the following elements: antenna, antenna support, PCB and all the elements which constitute the plastic housing (including thin films), i.e. the first four elements of Table 7.



**Figure B.1 – Basic version of the
Neo Free Runner CAD model**

The intermediate version shown in Figure B.2 includes, in addition to the elements of the basic version, the following elements: battery, battery connector, LCD, speaker and speaker connector, i.e. the first nine elements of Table 7.



**Figure B.2 – Intermediate version of the
Neo Free Runner CAD model**

The full model shown in Figure B.3 includes, in addition to all the elements of the intermediate version, the following elements: receiver and vibrator, i.e. all the elements of Table 7.

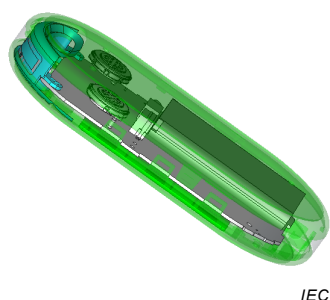


Figure B.3 – Full version of the Neo Free Runner CAD model

The interlaboratory comparison of the free space reflection coefficients obtained for the basic, intermediate and full CAD models are shown in Figure B.4, Figure B.5 and Figure B.6, respectively.

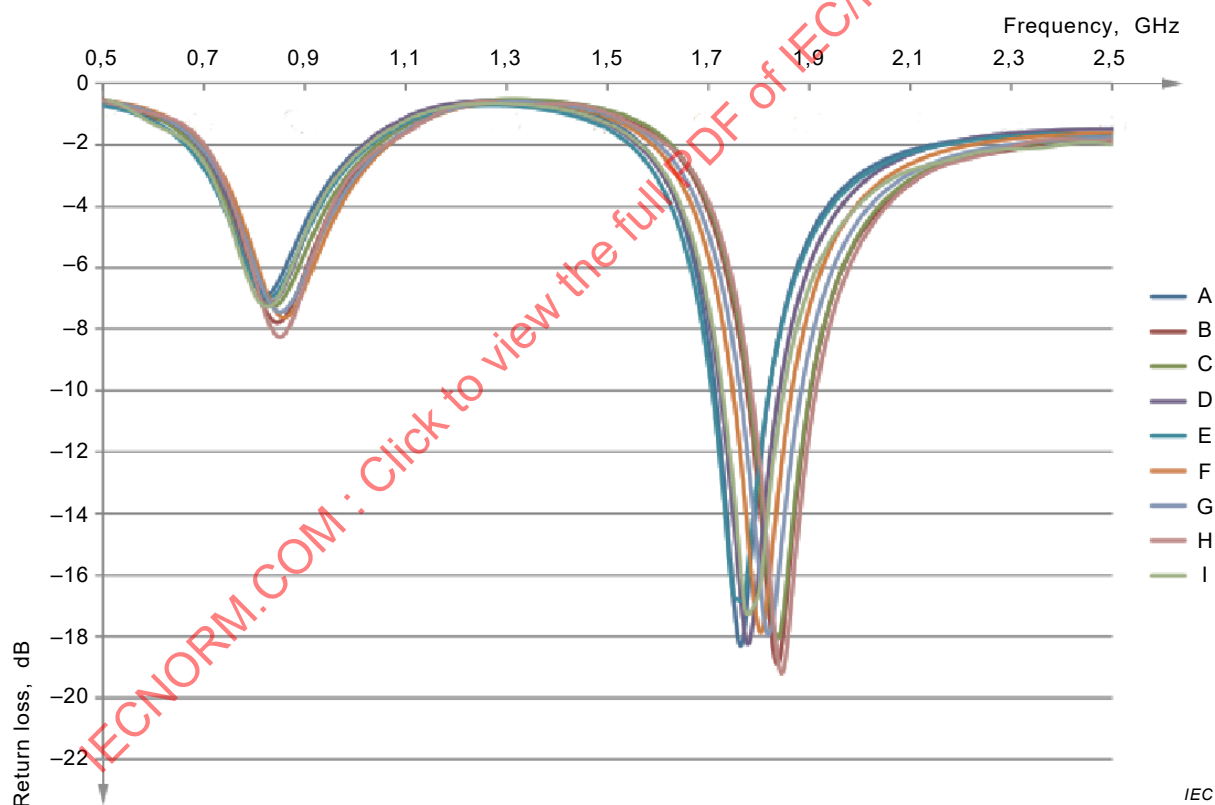


Figure B.4 – Interlaboratory comparison results of the free space reflection coefficient for the basic CAD model

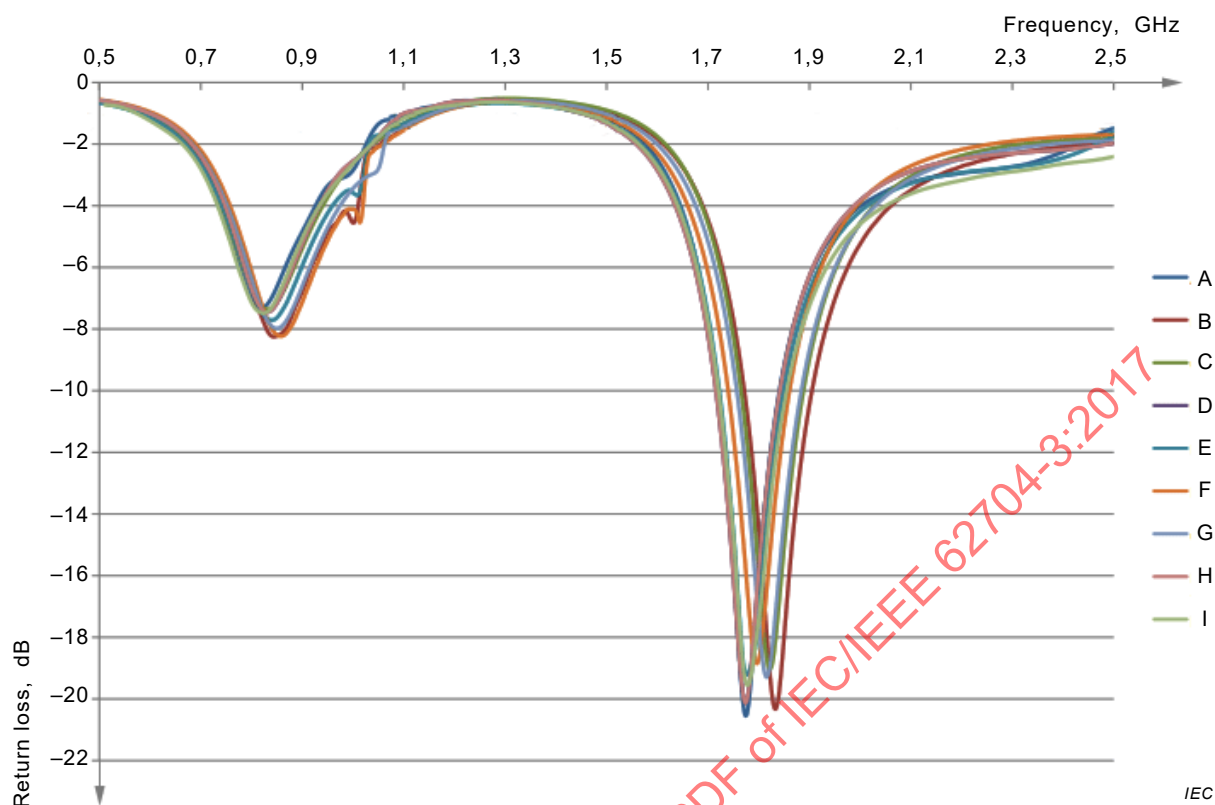


Figure B.5 – Interlaboratory comparison results of the free space reflection coefficient for the intermediate CAD model

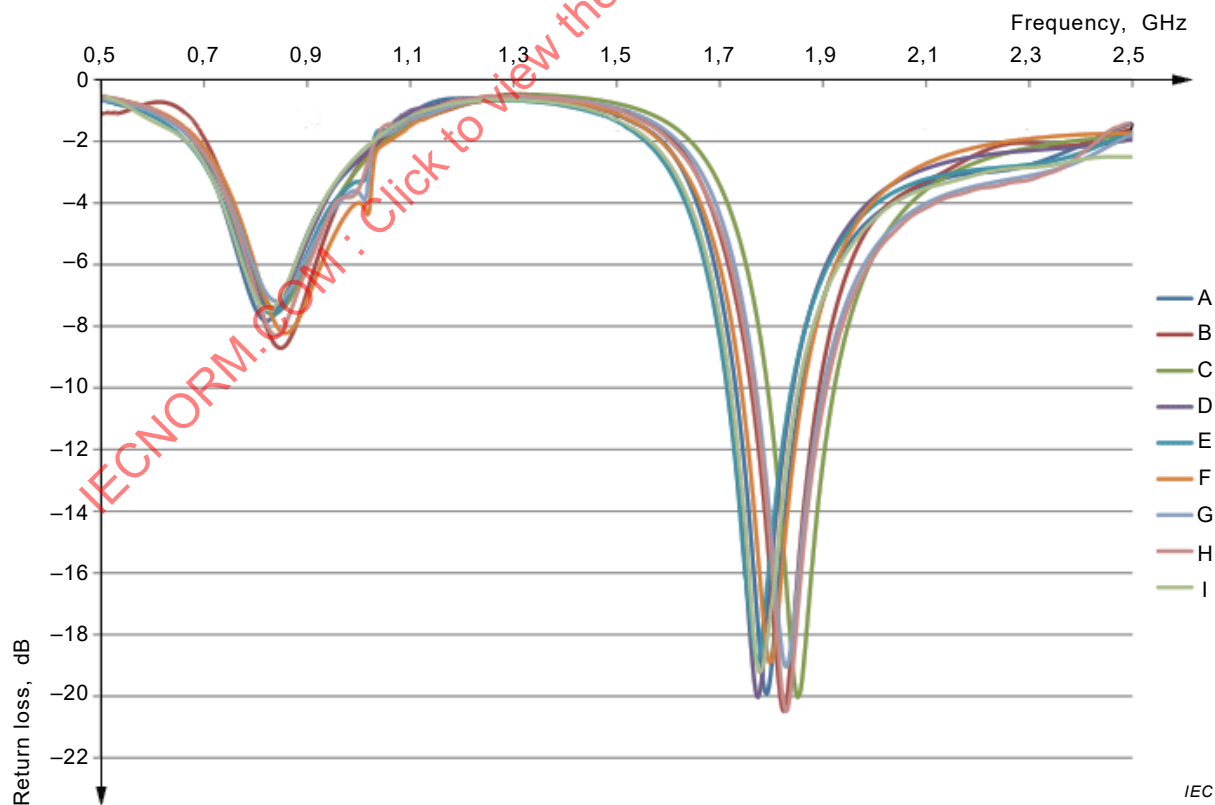


Figure B.6 – Interlaboratory comparison results of the free space reflection coefficient for the full CAD model

The frequency limits of the –6 dB reflection coefficient data should be reported in Table B.1.

Table B.1 – Frequency limits of the –6 dB reflection coefficient for the three different versions of the Neo Free Runner mobile phone

CAD version	Result	Limit
Basic (900 MHz band)		780 MHz to 910 MHz
Basic (1800 MHz band)		1670 MHz to 1970 MHz
Intermediate (900 MHz band)		780 MHz to 910 MHz
Intermediate (1800 MHz band)		1670 MHz to 1970 MHz
Full (900 MHz band)		780 MHz to 910 MHz
Full (1800 MHz band)		1670 MHz to 1980 MHz

Further comparison as well as SAR measurement results are available in [9].

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC/IEEE 62704-3:2017

Bibliography

- [1] IEEE Std. C95.1, *IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz – 300 GHz*
- [2] ICNIRP, “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)”, *Health Physics*, Vol. 74, 1998, pp. 494-522
- [3] Monebhurrin, V., Wong, M.-F., and Wiat, J., “Numerical and experimental investigations of a commercial mobile handset for SAR calculations”, *Second International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering*, Shanghai, May 2008, pp.784-787
- [4] Chavannes, N., Tay, R., Nikoloski, N., and Kuster, N., “Suitability of FDTD-based TCAD tools for RF design of mobile phones”, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol. 45, No.6, December 2003, pp. 52-66
- [5] Futter P., Chavannes N., Tay R., Meili M., Klingenböck A., Pkovic K., and Kuster N., “Reliable prediction of mobile phone performance for realistic in-use conditions using the FDTD method”, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol. 50, No.1, February 2008, pp. 87-96
- [6] Li, C.-H., Jekkonen, J., Tудоise G., Chavannes N., and Kuster N., “Study of mutual coupling on mobile phone PCB with shielding using FDTD”, *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, 2010, pp. 419-424
- [7] Monebhurrin, V., Gati, A.; Wong, M.-F., and Wiat, J., “SAR calculations using realistic phone models: uncertainty due to the positioning”, *Seventeenth International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields*, Florianopolis, Nov. 2009, pp. 668-669
- [8] Beard, B. B., Kainz, W., Onishi, T., Iyama, T., Watanabe, S., Fujiwara, O., Wang, J., Bit-Babik, G., Faraone, A., Wiat, J., Christ, A., Kuster, N., Lee, A., Kroeze, H., Siegbahn, M., Keshvari, J., Abrishamkar, H., Simon, W., Manteuffel, D., and 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*, Vol. 48, No. 2, pp. 547-558, 2006
- [9] Monebhurrin, V., Braux, Y., Devos, H., Kozlov, M., Simon, W., and Wittig, T., “A benchmark CAD mobile phone model for specific absorption rate calculations,” *IEEE Transactions on Magnetics*, 50 (2), February 2014

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	39
INTRODUCTION	42
1 Domaine d'application	43
2 Références normatives	43
3 Termes et définitions	44
4 Abréviations	44
5 Procédure de simulation	45
5.1 Généralités	45
5.2 Considérations générales	45
5.3 Paramétrages généraux de la maille	45
5.4 Paramètres de simulation	46
5.5 Modèle de DUT	46
5.5.1 Généralités	46
5.5.2 Antenne	47
5.5.3 Source RF	48
5.5.4 Carte de circuits imprimés	49
5.5.5 Écran	49
5.5.6 Batterie et autres composants métalliques plus grands	50
5.5.7 Enveloppe	50
5.6 Calcul du DAS avec des modèles de fantômes	50
5.6.1 Généralités	50
5.6.2 Modèle de fantôme de tête	51
5.6.3 Modèle de fantôme de corps	55
5.6.4 Génération de maille du fantôme	55
5.7 Enregistrement des résultats	55
5.8 Calcul du débit d'absorption spécifique maximal moyenné	56
6 Modèles de référence	56
6.1 Généralités	56
6.2 Téléphone à boîtier métallique générique pour des fréquences de 835 MHz et de 1 900 MHz	56
6.3 Téléphone mobile GSM/UMTS	58
6.4 Téléphone mobile générique à antenne à plaque multibande	59
6.5 Téléphone mobile Neo Free Runner	61
7 Incertitude de calcul	63
7.1 Considérations générales	63
7.2 Incertitude du montage d'essai par rapport aux paramètres de simulation	63
7.3 Incertitude du modèle numérique développé du DUT	63
7.4 Validation du modèle numérique développé du DUT	64
7.5 Bilan d'incertitude	64
8 Compte-rendu des résultats de simulation	64
8.1 Considérations générales	64
8.2 DUT	64
8.3 Configurations simulées	65
8.4 Outil de simulation numérique	65
8.5 Résultats des modèles de référence	65
8.6 Incertitudes	65

8.7 Résultats de DAS.....	65
Annexe A (informative) Résultats supplémentaires pour le téléphone mobile générique avec antenne multibande intégrée	66
Annexe B (informative) Résultats supplémentaires pour le téléphone mobile Neo Free Runner.....	68
Bibliographie.....	72
Figure 1 – Exemple d'une antenne multibande constituée de deux éléments métalliques pour les bandes de fréquences GSM et UMTS	48
Figure 2 – Exemple de position d'un espace de source inséré en lieu et place d'une goupille à ressort d'alimentation réelle	49
Figure 3 – Exemple d'une ligne d'alimentation à microruban	49
Figure 4 – Orientation du modèle de téléphone mobile préalablement au positionnement par rapport au fantôme de tête ou de corps	51
Figure 5 – Orientation du fantôme du mannequin anthropomorphe spécifique préalablement au positionnement par rapport au DUT représenté à la Figure 4	52
Figure 6 – Proposition d'étapes pour la position «joue» du DUT par rapport au fantôme du mannequin anthropomorphe spécifique	53
Figure 7 – Position «inclinée» du DUT par rapport au fantôme du mannequin anthropomorphe spécifique	54
Figure 8 – Exemple d'espace de modèle complet comprenant le DUT et le fantôme du mannequin anthropomorphe spécifique pour les simulations numériques dans le cas de la position «joue» droite	54
Figure 9 – Exemple d'espace de modèle pour la configuration de calcul DUT/fantôme de corps.....	55
Figure 10 – Fantôme de tête du mannequin anthropomorphe spécifique et téléphone à boîtier métallique générique.....	56
Figure 11 – Dimensions physiques du téléphone à boîtier métallique générique	57
Figure 12 – Téléphone mobile GSM/UMTS générique	58
Figure 13 – Téléphone mobile générique avec antenne à plaque multibande intégrée	60
Figure 14 – Modèle CAO du téléphone mobile Neo Free Runner.....	62
Figure A.1 – Partie réelle de l'impédance d'entrée de l'antenne obtenue avec trois logiciels du commerce différents	66
Figure A.2 – Partie imaginaire de l'impédance d'entrée de l'antenne obtenue avec trois logiciels du commerce différents	67
Figure B.1 – Version de base du modèle CAO Neo Free Runner	68
Figure B.2 – Version intermédiaire du modèle CAO Neo Free Runner.....	68
Figure B.3 – Version complète du modèle CAO Neo Free Runner	69
Figure B.4 – Résultats de comparaisons interlaboratoires du coefficient de réflexion en espace libre pour le modèle CAO de base	69
Figure B.5 – Résultats de comparaisons interlaboratoires du coefficient de réflexion en espace libre pour le modèle CAO intermédiaire.....	70
Figure B.6 – Résultats de comparaisons interlaboratoires du coefficient de réflexion en espace libre pour le modèle CAO complet.....	70
Tableau 1 – Paramètres diélectriques des matériaux du téléphone générique.....	57
Tableau 2 – Débit d'absorption spécifique maximal moyenné pour les valeurs 1 g et 10 g du modèle de référence	58

Tableau 3 – Propriétés diélectriques des matériaux du téléphone mobile GSM/UMTS générique	59
Tableau 4 – Résultats de DAS maximal moyenné pour 1 g et 10 g du téléphone mobile GSM/UMTS	59
Tableau 5 – Limites des paramètres de sortie du téléphone mobile multibande générique	61
Tableau 6 – Résultats de DAS maximal moyenné pour 1 g et 10 g du téléphone mobile GSM/UMTS	61
Tableau 7 – Propriétés diélectriques des matériaux du téléphone mobile Neo Free Runner.....	62
Tableau 8 – Résultats de DAS maximal moyenné pour 1 g et 10 g du téléphone mobile Neo Free Runner	63
Tableau 9 – Bilan d'incertitude global	64
Tableau B.1 – Limites de fréquences du coefficient de réflexion de -6 dB pour les trois versions différentes du téléphone mobile Neo Free Runner.....	71

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC/IEEE 62704-3:2017

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DÉTERMINATION DU DÉBIT D'ABSORPTION SPÉCIFIQUE (DAS) MAXIMAL MOYENNÉ DANS LE CORPS HUMAIN, PRODUIT PAR LES DISPOSITIFS DE COMMUNICATION SANS FIL, 30 MHz À 6 GHz –

Partie 3: Exigences spécifiques pour l'utilisation de la méthode des différences finies dans le domaine temporel (FDTD) pour les calculs de DAS des téléphones mobiles

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux.

Les normes de l'IEEE sont élaborées par les Sociétés de l'IEEE, ainsi que par les Comités de coordination des normes du Conseil de normalisation de l'IEEE Standards Association (IEEE-SA). Ces normes sont l'aboutissement d'un consensus, soumis à l'approbation de l'Institut national américain de normalisation, qui rassemble des bénévoles représentant divers points de vue et intérêts. Les participants bénévoles ne sont pas nécessairement membres de l'IEEE et leur intervention n'est pas rétribuée. Si l'IEEE administre le déroulement de cette procédure et définit les règles destinées à favoriser l'équité du consensus, l'IEEE lui-même n'évalue pas, ne teste pas et ne vérifie pas l'exactitude de toute information contenue dans ses normes. L'utilisation de normes de l'IEEE est entièrement volontaire. Les documents de l'IEEE sont disponibles à des fins d'utilisation, à condition d'être assortis d'avis importants et de clauses de non-responsabilité (voir <http://standards.ieee.org/IPR/disclaimers.html> pour de plus amples informations).

L'IEC travaille en étroite collaboration avec l'IEEE, selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations. Cette norme internationale double logo a été élaborée conjointement par l'IEC et l'IEEE, conformément aux dispositions de cet accord.

- 2) Les décisions officielles de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études. Une fois le consensus établi entre les Sociétés de l'IEEE et les Comités de coordination des normes, les décisions officielles de l'IEEE relatives aux questions techniques sont déterminées en fonction du vote exprimé par un groupe à la composition équilibrée, composé de parties intéressées qui manifestent leur intérêt pour la révision des normes proposées. L'approbation finale de la norme de l'IEEE est soumise au Conseil de normalisation de l'IEEE Standards Association (IEEE-SA).
- 3) Les Publications IEC/IEEE se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC/Sociétés de l'IEEE. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin de s'assurer de l'exactitude du contenu technique des Publications IEC/IEEE; l'IEC ou l'IEEE ne peuvent pas être tenus responsables de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC (y compris les Publications IEC/IEEE) dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications IEC/IEEE et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC et l'IEEE eux-mêmes ne fournissent aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC et l'IEEE ne sont responsables d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.

- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC ou à l'IEEE, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, ou les bénévoles des Sociétés de l'IEEE et des Comités de coordination des normes du Conseil de normalisation de l'IEEE Standards Association (IEEE-SA), 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 IEC/IEEE ou toute autre publication de l'IEC ou de l'IEEE, 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 fait que la mise en application de cette Publication IEC/IEEE peut requérir l'utilisation de matériels protégés par des droits de brevet. En publiant cette norme, aucun parti n'est pris concernant l'existence ou la validité de droits de brevet y afférents. Ni l'IEC ni l'IEEE ne peuvent être tenus d'identifier les revendications de brevet essentielles pour lesquelles une autorisation peut s'avérer nécessaire, d'effectuer des recherches sur la validité juridique ou l'étendue des revendications des brevets, ou de déterminer le caractère raisonnable ou non discriminatoire des termes ou conditions d'autorisation énoncés dans le cadre d'un Certificat d'assurance, lorsque la demande d'un tel certificat a été formulée, ou contenus dans tout accord d'autorisation. Les utilisateurs de cette norme sont expressément informés du fait que la détermination de la validité de tous droits de propriété industrielle, ainsi que les risques qu'impliquent la violation de ces droits, relèvent entièrement de leur seule responsabilité.

La Norme internationale IEC/IEEE 62704-3 a été établie par le comité d'études 106 de l'IEC: Méthodes d'évaluation des champs électriques, magnétiques et électromagnétiques en relation avec l'exposition humaine, en coopération avec le Comité international sur la sécurité électromagnétique de l'IEEE Standards Association¹, selon l'accord double logo IEC/IEEE entre l'IEC et l'IEEE.

La présente publication est une norme double logo IEC/IEEE.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants de l'IEC:

FDIS	Rapport de vote
106/404/FDIS	106/414/RVD

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

Les Normes internationales sont rédigées selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Le présent document contient des fichiers joints sous la forme de modèles CAO décrit à l'Article 6. Ces fichiers sont disponibles sous:

http://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:227:0:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1303,25

Une liste de toutes les parties de la série IEC/IEEE 62704, publiées sous le titre général *Détermination du débit d'absorption spécifique (DAS) maximal moyenné dans le corps humain, produit par les dispositifs de communications sans fil, 30 MHz à 6 GHz*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

¹ Une liste des participants IEEE est disponible à l'adresse suivante:
http://standards.ieee.org/downloads/62704/62704-3-2017/62704-3-2017_wg-participants.pdf.

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC/IEEE 62704-3:2017

INTRODUCTION

L'évaluation toujours plus complexe de la conformité des produits avec les normes d'exposition selon les limites du débit d'absorption spécifique (DAS) nécessite la mise en place de nouvelles techniques de conformité ou de préconformité. Les évaluations expérimentales normalisées de conformité DAS des dispositifs de communication sans fil sont chronophages et onéreuses. Les techniques de calcul sont désormais suffisamment maîtrisées pour être employées en vue de l'évaluation de préconformité des dispositifs de communication sans fil tels que les téléphones mobiles. À titre d'exemple, les essais de préconformité sont importants pour les fabricants de téléphones mobiles dans la phase de développement de leurs produits au cours de laquelle le présent document peut s'appliquer. Les utilisateurs et les fabricants bénéficient de protocoles, de techniques de validation, de résultats de référence, de formats de présentation et de moyens pour estimer l'incertitude globale normalisés et acceptés, en vue de produire des données valables, répétables et reproductibles.

Les résultats obtenus grâce aux protocoles définis dans le présent document représentent une estimation prudente du DAS maximal moyenné induit par les téléphones mobiles dans les modèles normalisés de corps humain. Les protocoles établis ici génèrent des résultats soumis à la modélisation, aux simulations et autres incertitudes définies dans le présent document.

Le présent document n'a pas pour objet de donner un résultat représentatif de la valeur absolue maximale possible du DAS dans le cadre de toute combinaison réalisable du corps humain et de l'utilisation d'un téléphone mobile. Les éléments suivants sont décrits de manière détaillée: concepts et techniques de simulation, méthode numérique des différences finies dans le domaine temporel (FDTD – *Finite Difference Time Domain*), résultats de référence et modèles numériques normalisés du corps humain. Les procédures de validation des outils numériques utilisés pour les simulations du DAS et d'évaluation des incertitudes liées à ces simulations sont également fournies. Le présent document est destiné principalement aux ingénieurs et autres spécialistes qui connaissent bien la théorie électromagnétique (EM), les méthodes numériques et, notamment, les techniques FDTD. Le présent document ne recommande pas de valeurs limites de DAS spécifiques dans la mesure où celles-ci peuvent être consultées dans d'autres documents.

DÉTERMINATION DU DÉBIT D'ABSORPTION SPÉCIFIQUE (DAS) MAXIMAL MOYENNÉ DANS LE CORPS HUMAIN, PRODUIT PAR LES DISPOSITIFS DE COMMUNICATION SANS FIL, 30 MHz À 6 GHz –

Partie 3: Exigences spécifiques pour l'utilisation de la méthode des différences finies dans le domaine temporel (FDTD) pour les calculs de DAS des téléphones mobiles

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC/IEEE 62704 définit les concepts, techniques, modèles de téléphones de référence, procédures de validation, incertitudes et limites de la méthode des différences finies dans le domaine temporel (FDTD) lorsqu'ils permettent de déterminer le débit d'absorption spécifique (DAS) maximal moyenné dans les fantômes normalisés de la tête et du corps exposés aux champs électromagnétiques engendrés par les dispositifs de communication sans fil, notamment l'évaluation de préconformité des téléphones mobiles, dans la plage de fréquences comprises entre 30 MHz et 6 GHz. Le présent document recommande et fournit un guide sur la modélisation numérique des téléphones mobiles, ainsi que des résultats de référence qui permettent de vérifier l'approche générale des simulations numériques de ces dispositifs. Il spécifie des exigences de modélisation et un guide acceptables sur le maillage et les positions d'essai des modèles de téléphones mobiles et de fantômes. Le présent document ne recommande pas de valeurs limites de DAS spécifiques dans la mesure où celles-ci peuvent être consultées dans d'autres documents, par exemple, IEEE C95.1-2005[1]² et ICNIRP[2].

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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).

IEC 60050 (toutes les parties), *Vocabulaire électrotechnique international (IEV)* (disponible sous: www.electropedia.org)

IEC 62209-1, *Procédure de mesure pour l'évaluation du débit d'absorption spécifique de l'exposition humaine aux champs radiofréquences produits par les dispositifs de communications sans fil tenus à la main ou portés près du corps – Partie 1: Dispositifs utilisés à proximité de l'oreille (Plage de fréquences de 300 MHz à 6 GHz)*

IEC 62209-2, *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)*

IEC/IEEE 62704-1:2017, *Détermination du débit d'absorption spécifique (DAS) maximal moyenné dans le corps humain produit par les dispositifs de communication sans fil, 30 MHz à 6 GHz – Partie 1: Exigences générales pour l'utilisation de la méthode des différences finies dans le domaine temporel (FDTD) pour les calculs de DAS*

² Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

IEEE Std 1528, *IEEE recommended practice for determining the peak spatial-average specific absorption rate (SAR) in the human head from wireless communications devices: measurement techniques* (disponible en anglais seulement)

IEEE Standards Dictionary Online³

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC/IEEE 62704-1, de l'*IEEE Standards Dictionary Online*, de l'IEC 60050 (toutes les parties) ainsi que les suivants, s'appliquent.

L'ISO, l'IEC et l'IEEE tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>
- IEEE Dictionary Online: disponible à l'adresse <http://dictionary.ieee.org>

3.1

cellule

pas de discrétisation le long d'un axe donné des coordonnées cartésiennes

3.2

composant

pièce constituante du téléphone mobile

EXEMPLE Antenne, batterie, etc.

3.3

combiné

appareil tenu à la main, destiné à fonctionner à proximité du corps, consistant en une sortie acoustique ou un écouteur et un microphone, et contenant un émetteur et un récepteur radio

3.4

objet

solide identifié par les critères de conception assistée par ordinateur (CAO)

4 Abréviations

ACIS	format de fichier 3D dérivé des noms de ses créateurs (Alan Charles, Ian's System)
CAO	conception assistée par ordinateur; IGES, DXF et SAT sont des formats de fichiers courants
DCS	digital communication system (système de communication numérique)
DUT	device under test (dispositif en essai)
DXF	digital exchange file (fichier d'échange numérique)
ERP	ear reference point (point de référence de l'oreille)
FDTD	finite difference time domain (différences finies dans le domaine temporel)
GSM	global system for mobile communication (système global de communications mobiles)

³ L'abonnement au Dictionnaire en ligne des normes IEEE est disponible à l'adresse <http://dictionary.ieee.org>.

IGES	international graphics exchange standard (norme internationale d'échange de données graphiques)
LCD	liquid crystal display (afficheur à cristaux liquides)
PCB	printed circuit board (carte de circuits imprimés)
CEP	conducteur électrique parfait
PML	perfectly matched layers (couches parfaitement adaptées)
RF	radiofréquence
SAM	specific anthropomorphic mannequin (mannequin anthropomorphe spécifique)
DAS	débit d'absorption spécifique
SAT	standard ACIS text (texte ACIS normalisé)
UMTS	universal mobile telecommunication system (système universel de télécommunications mobiles)

5 Procédure de simulation

5.1 Généralités

L'Article 5 présente les étapes qui doivent être respectées pour calculer le DAS émis par un téléphone mobile positionné par rapport à un fantôme de tête ou de corps. La procédure exige des modèles voxel dérivés des fichiers de données CAO du DUT et les fichiers du fantôme de tête ou de corps du mannequin anthropomorphe spécifique (SAM).

5.2 Considérations générales

L'Annexe C de l'IEC/IEEE 62704-1:2017 spécifie les considérations pratiques pour l'application de la méthode FDTD. La méthode FDTD reposant sur la cellule cartésienne de Yee, le crénelage des surfaces courbes constitue un problème qui nécessite une considération particulière, notamment dans le cas du DUT et du fantôme de tête du mannequin anthropomorphe spécifique. Afin de limiter le crénelage, le DUT doit être positionné par rapport au fantôme du mannequin anthropomorphe spécifique en effectuant des transformations telles que des translations et des rotations sur le fantôme du mannequin anthropomorphe spécifique uniquement. Il convient de préférence de reconstituer le fantôme de corps par les fonctions de dessin intégrées de l'outil de simulation numérique lorsqu'il existe. Le fantôme peut être aligné facilement sur les axes du combiné et les axes FDTD.

5.3 Paramétrages généraux de la maille

Le choix d'une cellule ou d'une grille suffisamment petite tout en limitant les exigences de mémoire peut constituer un problème intrinsèque difficile dans le cas de la méthode FDTD. La longueur d'onde du matériau ayant la permittivité relative la plus élevée impose généralement le pas de grille minimum nécessaire. Une taille de cellule correspondant à environ $\lambda/30$ à $\lambda/10$ peut être suffisante pour le maillage de l'espace libre qui entoure le téléphone et le fantôme, où λ est la plus petite longueur d'onde correspondant à la propagation des ondes dans le matériau ayant la permittivité relative la plus élevée. Le liquide équivalent aux tissus est censé avoir la permittivité relative la plus élevée étant donné que les permittivités relatives des matériaux qui constituent un téléphone mobile sont habituellement faibles – généralement comprises dans la plage allant de 2 à 10. Cela ne suffisant généralement pas à la modélisation des plus petits composants d'un téléphone mobile, il peut être nécessaire de réduire davantage la taille de cellule afin de prendre pleinement en compte les plus petits détails tels que les encoches, les espaces ou les petits composants. La taille de cellule peut alors être bien plus petite que la cellule minimale imposée par la permittivité relative la plus élevée des matériaux présents dans le domaine de calcul.

5.4 Paramètres de simulation

Les considérations pratiques relatives à l'application de la méthode FDTD telles que la taille du voxel, la stabilité et les limites absorbantes sont décrites à l'Annexe C de l'IEC/IEEE 62704-1:2017.

5.5 Modèle de DUT

5.5.1 Généralités

La simulation numérique, qui prend en compte le seul DUT, c'est-à-dire la configuration de l'espace libre, doit précéder le calcul du DAS au moyen du fantôme de tête ou de corps. La validité du modèle numérique du DUT doit être vérifiée tel que décrit à l'Article 7.

Un modèle de DUT contient normalement de nombreux solides différents, généralement plus d'une centaine, faisant de ce modèle une structure très complexe à gérer. Compte tenu de la complexité des combinés sans fil de dernière génération utilisés par les consommateurs et de la durée excessive nécessaire à la modélisation du dispositif, la seule approche pratique de génération de la maille FDTD consiste à importer le fichier CAO mécanique du DUT et à générer automatiquement le modèle FDTD du combiné. Le fichier contenant le modèle doit être exporté de l'outil CAO de génie mécanique dans un format qui peut être facilement importé dans l'outil de simulation FDTD (habituellement un format de fichier SAT ou IGES). Toutes les pièces doivent être assemblées et alignées correctement les unes par rapport aux autres préalablement à l'exportation du modèle CAO.

La reconstitution du modèle numérique sur la base d'informations telles que les dimensions géométriques et les positions des différents composants du DUT peut être acceptable en l'absence du fichier CAO mécanique [3]. Le présent document considère le modèle numérique du DUT comme un modèle CAO, qu'il soit obtenu après une reconstitution numérique ou par exportation d'un fichier CAO mécanique. La validité du modèle numérique doit être démontrée conformément à 7.4.

L'attribution des paramètres diélectriques de matériaux corrects aux composants du modèle de DUT est un élément très important. Après l'importation du fichier CAO dans l'outil de simulation FDTD, le matériau correct doit être attribué à chaque objet à mailler. Il convient que les composants et les propriétés diélectriques soient vérifiés par un ingénieur en CAO, qui connaît la fabrication physique et mécanique du téléphone mobile.

Les exigences relatives à la taille des cellules doivent être fixées préalablement au maillage. L'indication de ces exigences peut prendre différentes formes, y compris la génération automatique de la maille, l'utilisation d'un objet ou d'un groupe d'objets CAO, ou une indication manuelle. L'utilisation d'une maille graduelle, également appelée maille non uniforme, est pratique courante pour obtenir une maille exacte qui exige une mémoire d'ordinateur minimale et des temps d'exécution réduits le plus possible [4]. Une maille graduelle permet la variation des tailles de cellules de maille FDTD avec la position dans une dimension. Cette approche permet l'utilisation de plus petites cellules si nécessaire pour décrire avec exactitude des objets CAO petits, mais non moins importants. La région de l'antenne constituée habituellement d'encoches représente un exemple d'application typique de cellules de mailles plus petites.

Bien que l'approche de base susmentionnée soit une bonne méthode de départ, il doit être tenu compte des exceptions existantes. Par exemple, les surfaces des objets CAO peuvent ne pas être continues. Ce phénomène peut se produire lorsque la surface de l'objet est formée par la combinaison de facettes distinctes. Ces facettes peuvent ne pas se rejoindre précisément à leurs points d'intersection, créant ainsi des espaces indésirables. Ce problème peut être atténué par un processus de traitement appelé régénération manuelle de l'objet qui permet de supprimer les espaces (la plupart des outils de simulation FDTD du commerce proposent généralement une fonction de régénération permettant de régler les problèmes de connexion parmi les objets CAO). Cependant, le développement d'une maille FDTD exacte

peut s'avérer impossible sans intervention manuelle dans le cas des objets CAO présentant des espaces importants.

Il convient de répartir les composants ou les pièces métalliques de plus grandes dimensions en objets distincts pour lesquels des paramétrages de grille spécifiques peuvent être appliqués. Le modèle d'antenne, notamment, doit être un objet distinct de sorte qu'il soit possible de mailler cette structure avec la plus grande exactitude possible. Les pièces métalliques du modèle doivent être alignées et connectées de manière à éviter tout flottement artificiel des objets reliés électriquement. Le modèle CAO ne représente généralement pas correctement la carte de circuits imprimés. Cette dernière est généralement modélisée sous la forme de quelques couches métalliques minces séparées par un matériau diélectrique [5]. La modélisation de la carte de circuits imprimés sous la forme d'un objet métallique solide épais est toutefois acceptable. Il est important de noter que lorsque la carte de circuits imprimés n'est pas correctement modélisée, elle est considérée comme un modèle CAO non valable conformément à 7.4.

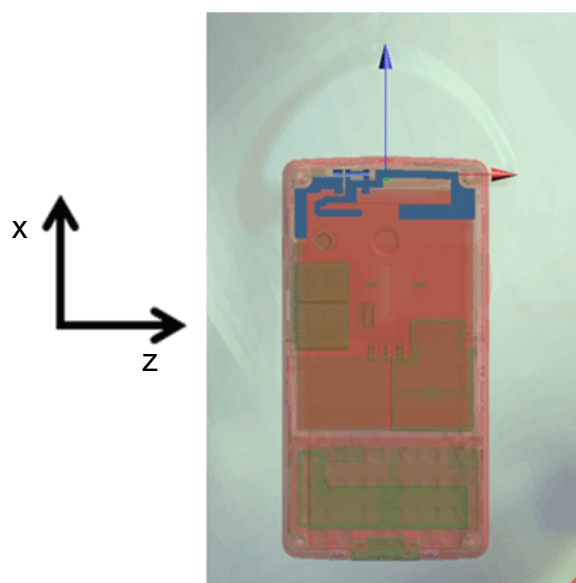
En vue de l'optimisation des ressources de calcul, les composants du modèle de DUT, par exemple les composants placés à l'intérieur de blindages, dont l'effet sur la distribution du DAS est censé être négligeable, peuvent être retirés [6]. Par conséquent, la priorité de maillage doit être accordée à de tels composants métalliques par rapport à un composant dont l'effet sur la distribution du DAS est moindre. Les composants dont la propriété diélectrique de matériau est identique et qui sont en contact physique doivent être unifiés pour former un solide. Ainsi, à titre d'exigence minimale, les pièces essentielles telles que l'antenne, le châssis, la carte de circuits imprimés, l'afficheur ou l'écran, la batterie, d'autres composants métalliques relativement grands et le matériau diélectrique soutenant l'antenne doivent être modélisées avec exactitude. L'ordre de maillage des objets ou groupes d'objets doit être précisé de manière à représenter correctement dans le modèle FDTD les objets en contact, voire peut-être les objets de recouvrement.

Une fois le maillage achevé, le modèle FDTD du combiné obtenu doit être visualisé et vérifié pour en établir l'exactitude. Dans la mesure où les composants métalliques sont les objets les plus importants du modèle de DUT dont l'effet sur la distribution du DAS est le plus significatif, les zones critiques telles que la région de l'antenne et les autres composants conducteurs doivent faire l'objet d'un examen attentif.

Les composants du téléphone mobile censés avoir l'effet relativement le plus important sur la distribution du DAS sont décrits de 5.5.2 à 5.5.7 comme ligne directrice pour la génération des mailles.

5.5.2 Antenne

L'antenne du DUT est le composant le plus important à modéliser. Le pas de grille doit par ailleurs être choisi de manière à résoudre tous les détails tels que les encoches et les espaces qu'il contient. La Figure 1 représente l'aspect typique d'une antenne à plaque multibande montée sur le sommet du dispositif pour les bandes de fréquences de fonctionnement GSM et UMTS.



NOTE La partie mise en évidence désigne les deux éléments métalliques distincts qui constituent l'antenne.

Figure 1 – Exemple d'une antenne multibande constituée de deux éléments métalliques pour les bandes de fréquences GSM et UMTS

La forme de cette antenne particulière est plutôt complexe et la taille de cellule doit être choisie de manière à résoudre tous les détails. Plus particulièrement, il est important d'utiliser une taille de cellule inférieure à la moitié de la distance de séparation entre les éléments si l'antenne est constituée d'éléments métalliques distincts le plus souvent utilisés pour des opérations réalisées à des bandes de fréquences plus élevées et/ou multiples. Dans l'exemple représenté à la Figure 1, il est nécessaire d'utiliser une taille de cellule de 0,25 mm ou moins le long de l'axe z étant donné que l'espace entre la branche gauche et la branche centrale de l'antenne n'est que de 0,5 mm. Au moins trois cellules sont exigées pour modéliser les séparations dans le maillage effectif. À défaut, la simulation du champ tangentiel au niveau de l'espace par rapport à l'élément parasite n'est pas correcte. De plus, une taille de cellule analogue est exigée le long de l'axe x pour une modélisation correcte de l'encoche présente sur l'élément métallique droit de cette antenne.

5.5.3 Source RF

Le modèle d'alimentation de l'antenne doit être constitué selon l'alimentation appliquée dans le dispositif réel. Une alimentation coaxiale est habituellement raccordée à une goupille d'alimentation, auquel cas un modèle de source classique d'espace d'alimentation FDTD doit être utilisé. L'espace d'excitation de la source FDTD doit se substituer à la goupille d'alimentation réelle comme le représente la Figure 2. Le modèle de DUT doit comporter un espace d'au moins une cellule correspondant à la taille effective de l'espace.

Lorsque le dispositif d'alimentation de l'antenne est différent (par exemple, une ligne à microruban telle que représentée à la Figure 3), la source d'excitation doit être modélisée en conséquence de manière à être représentative de l'alimentation.

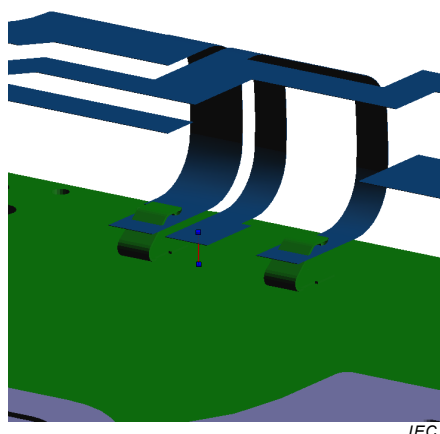


Figure 2 – Exemple de position d'un espace de source inséré en lieu et place d'une goupille à ressort d'alimentation réelle

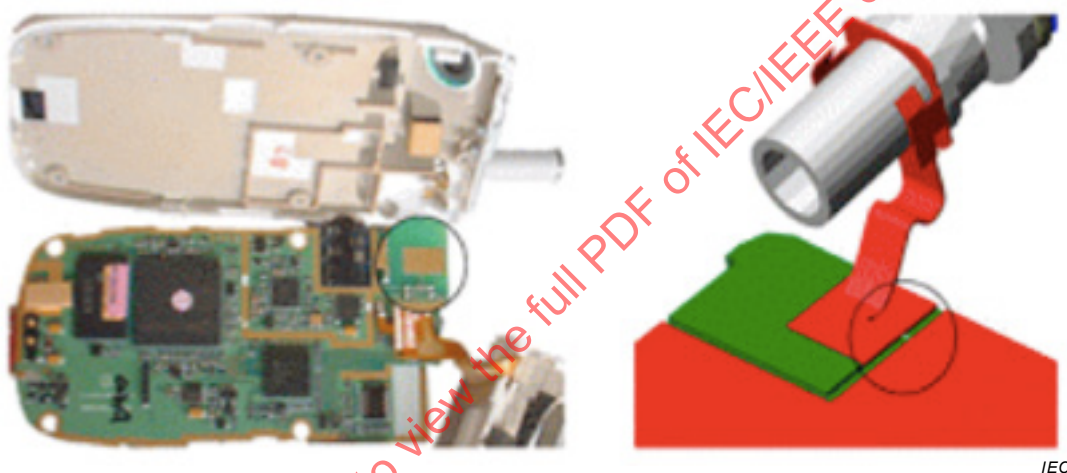


Figure 3 – Exemple d'une ligne d'alimentation à microruban

5.5.4 Carte de circuits imprimés

Cette carte est une structure sandwich composée généralement de plusieurs feuilles métalliques séparées par des couches diélectriques. La modélisation de la carte de circuits imprimés comme une structure sandwich s'est avérée importante pour le calcul correct des pertes dans la carte [5]. Cette modélisation exige toutefois une taille de cellule très petite, généralement de 0,1 mm ou moins. De plus, la modélisation des interconnexions entre les différentes couches de la carte de circuits imprimés est généralement difficile. Pour pallier cette difficulté, il convient plutôt de modéliser la carte de circuits imprimés comme un solide métallique dans la mesure où il est très peu probable que ce processus entraîne une sous-estimation du DAS.

5.5.5 Écran

Il est généralement constitué de plusieurs couches de verre qui peuvent être fusionnées en un objet solide à des fins de simplicité, auquel cas une permittivité relative effective, généralement une moyenne des différentes propriétés diélectriques des différents matériaux, doit être utilisée. Lorsque l'écran comprend des pièces métalliques ou des composants conducteurs, ceux-ci doivent être modélisés comme des objets distincts intégrés dans l'afficheur. Par exemple, un cadre métallique est parfois placé autour de l'écran.

L'écran est fixé à la carte de circuits imprimés en plusieurs points, un espace étroit entre les deux éléments étant parfois observé. La taille de cellule doit être suffisamment petite pour

supprimer correctement cet espace. Il peut également être nécessaire d'augmenter la résolution environnante de l'écran afin de supprimer les entrefers qui l'entourent. Cette opération est importante étant donné l'écoulement de courants de surface élevés sur les pièces métalliques. Une connexion incorrecte et inadaptée entre l'écran et la carte de circuits imprimés peut entraîner une distribution du DAS totalement différente.

5.5.6 Batterie et autres composants métalliques plus grands

La surface extérieure du bloc de batterie est généralement recouverte d'une mince feuille métallique permettant de traiter la batterie comme un objet métallique solide.

D'autres composants métalliques du téléphone incluent un boîtier de caméra, un rotor vibreur, un connecteur d'antenne externe, etc. Les cellules qui représentent ces composants doivent faire l'objet d'un examen attentif avant de pouvoir commencer la simulation FDTD. L'examen de la grille finale est important pour détecter les espaces artificiels entre les composants métalliques plus grands. Lorsque des objets ne sont pas parfaitement alignés dans le modèle CAO, des espaces sous-millimétriques peuvent générer des ruptures ou des discontinuités artificielles et donner lieu à des erreurs de calcul. Dans ce type de situations, il est nécessaire d'ajuster manuellement de tels objets ou de remplacer les composants par une structure métallique de dimensions extérieures identiques. De même, la fine couche de métallisation appliquée sur l'avant du DUT ou sur sa surface interne, doit être vérifiée afin de détecter les espaces artificiels dans les modèles CAO et FDTD. Cette vérification est également importante pour les films souples présents entre les composants, par exemple entre un clavier pliable ou l'écran et la carte de circuits imprimés.

5.5.7 Enveloppe

L'enveloppe ou le boîtier extérieur est généralement en plastique, mais peut également être constitué(e) d'éléments métalliques ou comporter des additifs conducteurs tels que de la peinture ou un colorant. La taille de cellule de l'enveloppe est plus ou moins conditionnée par la taille de cellule des composants internes au boîtier. Par conséquent, cette grille ne constitue pas véritablement une source de préoccupation. Il est cependant nécessaire de s'assurer que la distance de séparation entre le DUT et le fantôme de tête ou de corps est représentée avec exactitude par des pas de grille choisis pour modéliser l'enveloppe du DUT dans cette zone. Par exemple, une maille trop grossière entraîne un positionnement du téléphone mobile à une distance inappropriée du matériau simulant les tissus du fantôme.

5.6 Calcul du DAS avec des modèles de fantômes

5.6.1 Généralités

Les calculs du DAS avec le fantôme de tête doivent être effectués pour toutes les configurations de mesure décrites dans l'IEEE Std 1528 et les calculs du DAS avec le fantôme de corps doivent être effectués pour toutes les configurations de mesure décrites dans l'IEC 62209-2. Il convient d'optimiser la densité de maille après la validation du modèle numérique du DUT selon 7.4, afin de permettre un calcul relativement rapide du DAS avec l'exactitude exigée pour la simulation de DAS à l'aide du fantôme de tête ou de corps comme cela est décrit ici.

Toutefois, la densité de maille appliquée pour la validation du modèle de téléphone mobile seul, c'est-à-dire sous une configuration en espace libre, doit également l'être pour le calcul du DAS à l'aide du fantôme de tête ou de corps. La fonction de génération automatique de maille de l'outil de simulation numérique doit être désactivée, si elle a servi à la génération de la maille de validation du modèle du DUT, lorsque les résultats du modèle numérique du DUT sont considérés comme acceptables pour les calculs du DAS comme cela est décrit en 7.4. Il convient de préférence d'appliquer la même densité de maille au fantôme de tête ou de corps selon la taille de la mémoire d'ordinateur disponible.

Pour calculer le DAS de la tête, le fichier CAO, au format SAT, du fantôme de tête du mannequin anthropomorphe spécifique selon l'IEC/IEEE 62704-1 doit être utilisé.

L'IEEE Std 1528 et l'IEC 62209-1 fournissent de plus amples informations concernant le fantôme du mannequin anthropomorphe spécifique. Pour calculer le DAS du corps, le fantôme plan défini dans l'IEC 62209-2 doit être reconstitué selon la fréquence de fonctionnement et la taille du DUT. Le positionnement du DUT par rapport au fantôme doit respecter les procédures décrites dans l'IEEE Std 1528.

Une erreur de positionnement du DUT par rapport au fantôme de tête du mannequin anthropomorphe spécifique peut influencer le bilan d'incertitude de manière significative [7]. En modélisation numérique, une incertitude de positionnement de 1 degré peut donner lieu à un écart de 5 % à 10 % (selon la fréquence) de la valeur du DAS. En cas de mauvais positionnement du dispositif, il convient de ne pas traiter l'erreur de DAS comme des contributions à l'incertitude de modélisation. La procédure de positionnement du DUT par rapport au fantôme de tête du mannequin anthropomorphe spécifique ainsi que par rapport au fantôme plan est décrite de manière succincte en 5.6.2 et 5.6.3. Par hypothèse, le DUT est positionné dans l'espace du domaine de calcul FDTD tel que représenté à la Figure 4. Dans ce cas, il est préférable d'utiliser un système local de coordonnées (u,v,w). L'alignement du DUT doit permettre un positionnement de l'oreillette au point d'origine (0,0,0) du domaine de calcul FDTD transformé. Lorsqu'il est impossible d'utiliser un système local de coordonnées, le système global de coordonnées (x,y,z) doit être utilisé et l'oreillette doit être placée à l'origine de ce système global de coordonnées. Ainsi, u, v et w sont respectivement remplacés par x, y et z.



Figure 4 – Orientation du modèle de téléphone mobile préalablement au positionnement par rapport au fantôme de tête ou de corps

5.6.2 Modèle de fantôme de tête

Le fichier CAO du fantôme de tête du mannequin anthropomorphe spécifique contient deux objets: un objet représente la coque plastique de 2 mm d'épaisseur du fantôme, l'autre objet représente le matériau simulant les tissus contenu dans la coque. Les propriétés diélectriques de la coque du fantôme et du matériau simulant les tissus doivent être celles indiquées dans l'IEEE Std 1528. Les valeurs exactes de ces propriétés doivent être utilisées, c'est-à-dire que la tolérance autorisée pour la fabrication du fantôme ne doit pas être prise en compte.

Le fichier CAO définit trois points de référence correspondant aux points de référence de la bouche, de l'oreille gauche et de l'oreille droite pour le positionnement des combinés par rapport au fantôme de tête du mannequin anthropomorphe spécifique, selon les mêmes procédures exigées pour les mesurages du DAS.

Dans un premier temps, et après importation du fichier CAO du mannequin anthropomorphe spécifique dans la configuration de simulation précédente qui contient uniquement le modèle CAO du DUT, le fantôme de tête du mannequin anthropomorphe spécifique doit être soumis à une rotation de sorte que le point de référence de l'oreille se situe au point d'origine de la grille (0, 0, 0). Ce fantôme doit ensuite être soumis à une rotation de sorte que la ligne BM, qui relie l'oreille et la bouche, soit parallèle à l'un des plans de coordonnées principaux préalablement au positionnement du modèle de tête à proximité du dispositif. En référence aux axes représentés à la Figure 5 a), dans le cas d'une orientation initiale verticale du modèle de tête, c'est-à-dire en position debout (le long de l'axe v ou de l'axe y), une première rotation doit alors être effectuée autour d'une ligne de connexion des deux points de référence de l'oreille jusqu'à l'alignement de l'arête de l'écarteur tronqué sur l'axe horizontal du DUT (axe u ou axe x à la Figure 5 a)). Des rotations supplémentaires autour de l'axe u ou de l'axe x et de l'axe v ou de l'axe y (comme représenté à la Figure 5 b)) peuvent alors être nécessaires pour l'alignement de la surface avant du combiné sur le fantôme de tête du mannequin anthropomorphe spécifique selon les exigences de positionnement par contact et par inclinaison spécifiées dans l'IEEE 1528. Ces rotations supplémentaires doivent être effectuées autour du point de référence de l'oreille.

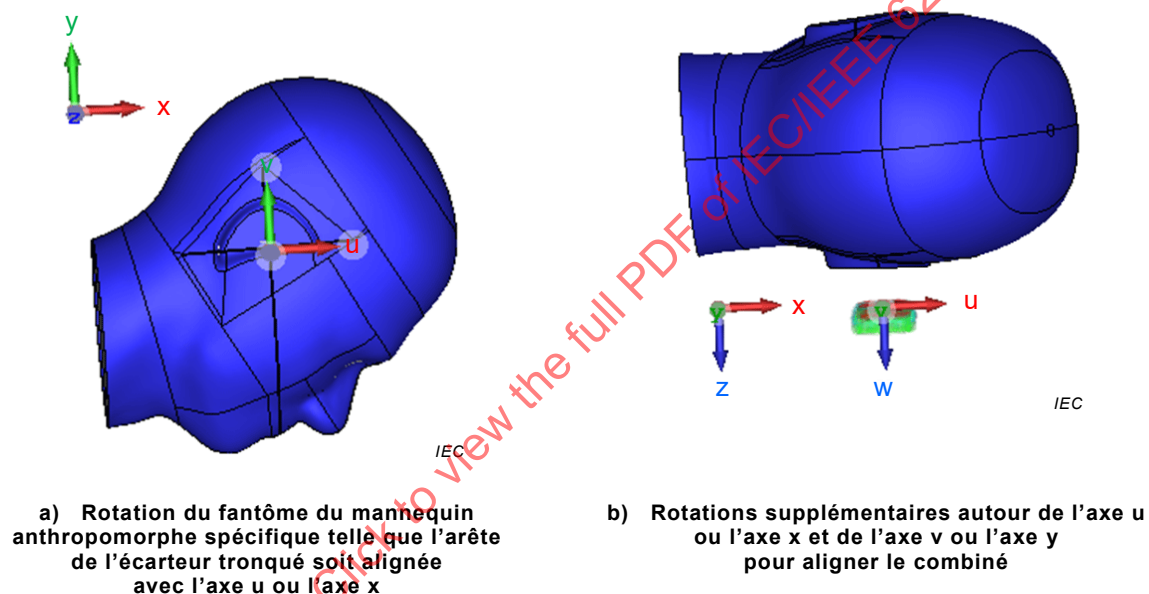


Figure 5 – Orientation du fantôme du mannequin anthropomorphe spécifique préalablement au positionnement par rapport au DUT représenté à la Figure 4

Au terme des étapes décrites ci-dessus, le fantôme de tête du mannequin anthropomorphe spécifique est soumis à une translation vers ou depuis le DUT (le long de l'axe w ou de l'axe z) jusqu'à ce qu'il commence à toucher l'objet le plus proche de celui-ci. Étant donné que le positionnement précédent des deux modèles est tel que le point de référence de l'oreille et le point d'intersection de l'axe vertical et de la ligne horizontale passant par la sortie du haut-parleur se situent au point d'origine, ces deux modèles s'apparentent à l'état initial de la procédure de positionnement du téléphone appliquée dans les étalons de mesure actuels du DAS comme représenté à la Figure 6 a). Selon la conception du DUT, le modèle de téléphone et le modèle de fantôme peuvent se chevaucher de telle manière que, par exemple, la partie du téléphone à proximité du haut-parleur s'étend sur le modèle de fantôme. Dans ce cas, le DUT doit être éloigné du fantôme du mannequin anthropomorphe spécifique jusqu'à ce qu'aucune partie du modèle de téléphone ne chevauche le modèle de tête.

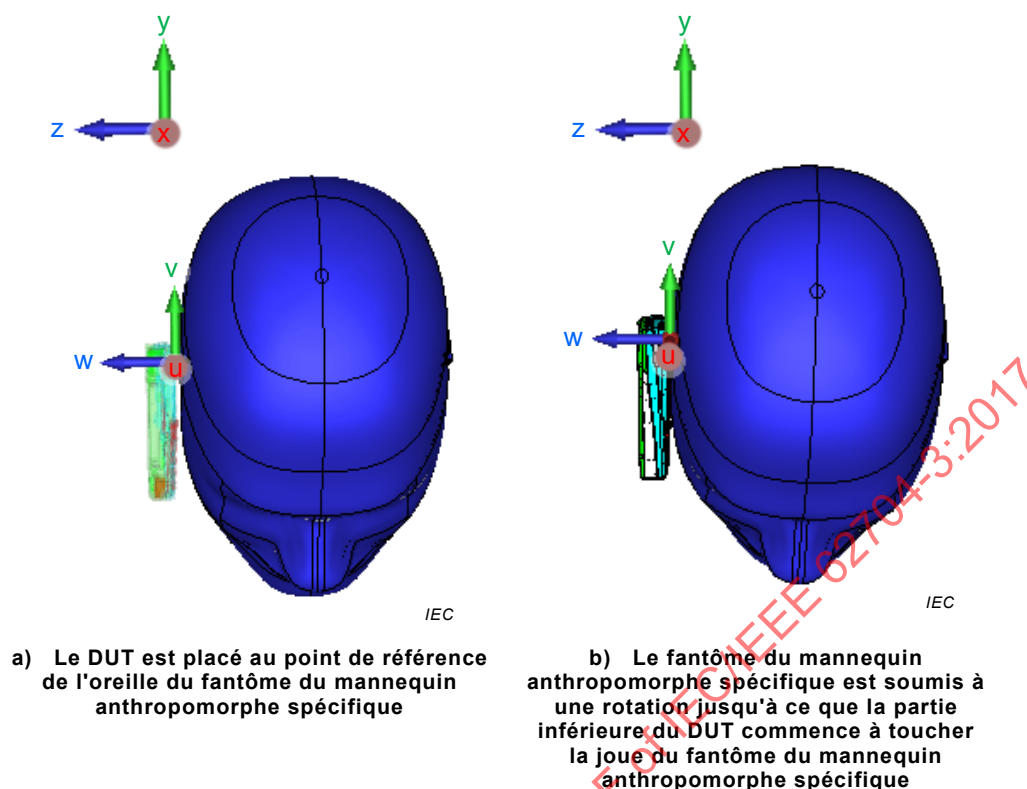


Figure 6 – Proposition d'étapes pour la position «joue» du DUT par rapport au fantôme du mannequin anthropomorphe spécifique

Pour la position «joue» normalisée du téléphone, le modèle de tête doit alors être soumis à une rotation autour du point de référence de l'oreille (l'axe u ou l'axe x étant ici l'axe de rotation) de sorte que le DUT commence à toucher la surface du fantôme de tête du mannequin anthropomorphe spécifique comme représenté à la Figure 6 b). Il est souvent assez difficile de déterminer le point de contact et il peut s'avérer nécessaire d'effectuer la rotation par paliers de 0,5 degré.

Les deux étapes suivantes doivent être suivies pour la position «inclinée» normalisée de +15 degrés:

- 1) Faire pivoter le fantôme de tête du mannequin anthropomorphe spécifique autour du point de référence de l'oreille (l'axe u ou l'axe x étant l'axe de rotation) à un angle de 15 degrés comme représenté à la Figure 7 a).
- 2) Le modèle de DUT fait alors vraisemblablement saillie sur l'oreille du fantôme de tête du mannequin anthropomorphe spécifique, auquel cas soumettre le DUT à une translation jusqu'à ce que sa surface et celle du mannequin soient de nouveau en contact comme représenté à la Figure 7 b).

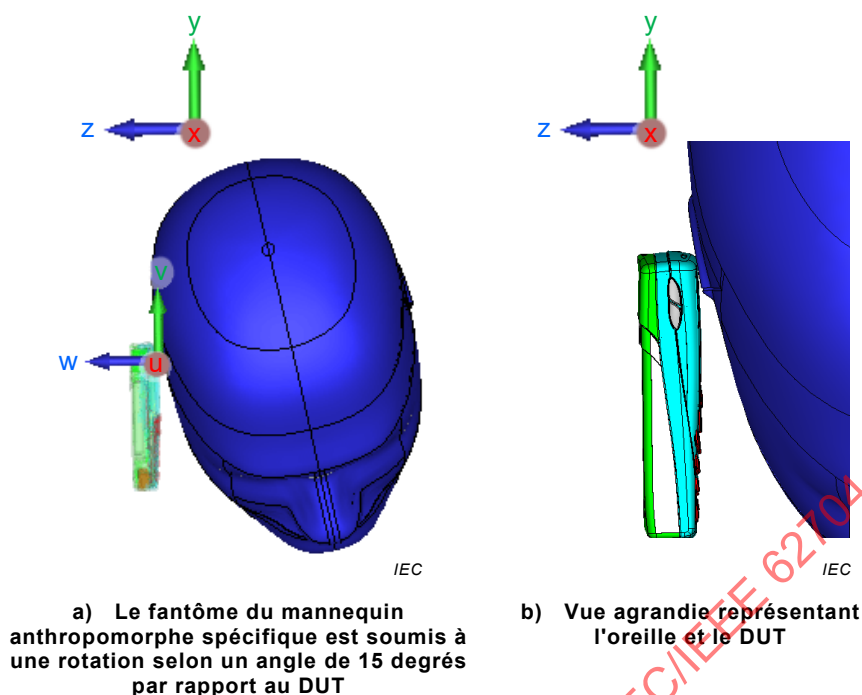


Figure 7 – Position «inclinée» du DUT par rapport au fantôme du mannequin anthropomorphe spécifique

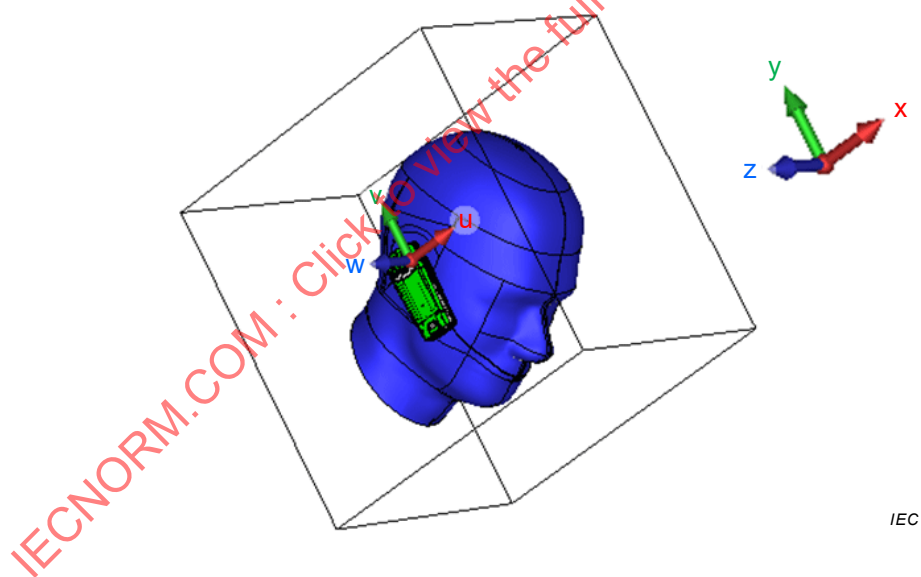


Figure 8 – Exemple d'espace de modèle complet comprenant le DUT et le fantôme du mannequin anthropomorphe spécifique pour les simulations numériques dans le cas de la position «joue» droite

Une fois le fantôme de tête du mannequin anthropomorphe spécifique aligné sur le modèle de DUT comme représenté à la Figure 8 pour l'exemple de la position «joue» droite, la grille FDTD complète doit être générée selon le système de coordonnées (x,y,z) du modèle de téléphone. La grille initiale appliquée pour le modèle de DUT ne doit toutefois pas être modifiée.

5.6.3 Modèle de fantôme de corps

Le modèle de fantôme de corps et les propriétés diélectriques de la coque du fantôme et du matériau simulant les tissus utilisés pour les simulations doivent être conformes au fantôme plan spécifié dans l'IEC 62209-2. Le matériau du fantôme simulant les tissus doit avoir une profondeur d'au moins 150 mm et les valeurs doivent être celles indiquées dans l'IEC 62209-2. Les valeurs exactes de ces propriétés doivent être utilisées, c'est-à-dire que la tolérance autorisée pour la fabrication du fantôme ne doit pas être prise en compte.

La Figure 9 représente un exemple d'espace de modèle pour une distance de séparation donnée entre le DUT et le fantôme plan.

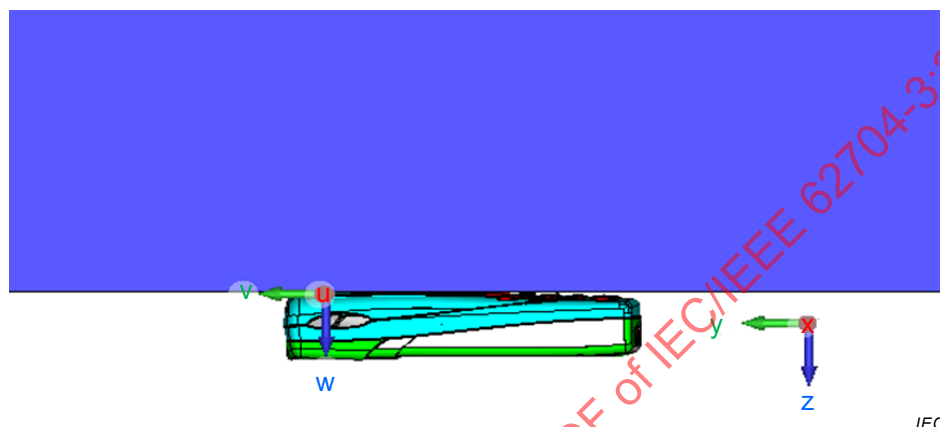


Figure 9 – Exemple d'espace de modèle pour la configuration de calcul DUT/fantôme de corps

5.6.4 Génération de maille du fantôme

L'effet de crénelage est censé être négligeable pour le fantôme plan. Pour réduire les effets de crénelage pour la région du fantôme de tête du mannequin anthropomorphe spécifique la plus proche du DUT, il convient que la taille de grille relative aux points de calcul de champ autour de l'oreille et du téléphone soit comprise entre 0,5 mm et 1 mm dans toutes les directions jusqu'à une profondeur de 50 mm dans le matériau simulant les tissus. Pour les autres régions du fantôme du mannequin anthropomorphe spécifique, c'est-à-dire au niveau de l'oreille opposée, des pas plus grands peuvent être utilisés, par exemple, dans la plage comprise entre 3 mm et 5 mm pour des fréquences jusqu'à 2 GHz au plus. Un pas de grille inférieur à un cinquième de la longueur d'onde dans le matériau simulant les tissus est généralement suffisant.

5.7 Enregistrement des résultats

L'enregistrement des résultats de calcul dépend du volume d'espace mémoire disponible. Certains résultats sont toutefois essentiels pour le calcul définitif du débit d'absorption spécifique maximal moyenné. Le paramètre S11 constitue habituellement le résultat par défaut dans la plupart des logiciels du commerce. Il convient d'enregistrer la valeur de DAS calculée à chaque voxel à l'intérieur du fantôme. Le calcul des pertes dans les différents matériaux est également utile. Le calcul du débit d'absorption spécifique maximal moyenné, sur 1 g ou 10 g, nécessite généralement un post-traitement plutôt long des données de DAS pour chaque voxel. Cet algorithme de post-traitement peut être lancé pour un sous-volume. Ce sous-volume doit toutefois couvrir au moins une surface équivalant à la moitié de la profondeur du fantôme. Par exemple, seule la demi-tête du fantôme du mannequin anthropomorphe spécifique la plus proche du DUT peut être prise en compte pour le calcul du débit d'absorption spécifique maximal moyenné.

5.8 Calcul du débit d'absorption spécifique maximal moyenné

Le calcul du débit d'absorption spécifique maximal moyenné doit être évalué selon la procédure décrite en 6.2 de l'IEC/IEEE 62704-1:2017. Toutes les valeurs doivent être normalisées à la puissance maximale acceptée par l'antenne, c'est-à-dire qu'il n'est pas tenu compte de l'affaiblissement de réflexion. Cette disposition génère ainsi une valeur prudente du débit d'absorption spécifique maximal moyenné. Il est important de noter que la normalisation à la puissance maximale acceptée par l'antenne ne doit pas être appliquée pour les besoins de l'évaluation de l'incertitude de calcul décrite à l'Article 7.

6 Modèles de référence

6.1 Généralités

L'Article 6 décrit les modèles de téléphones mobiles de référence qui doivent servir à la validation de l'outil de simulation FDTD numérique préalablement à toute simulation numérique à l'aide du modèle CAO du DUT qui doit faire l'objet d'une évaluation pour la préconformité du DAS. Les valeurs cibles souhaitées pour les paramètres donnés de chaque référence doivent être atteintes au sein des limites indiquées (bande de fréquences de résonance ou impédance) ou des écarts indiqués (DAS maximal moyenné).

6.2 Téléphone à boîtier métallique générique pour des fréquences de 835 MHz et de 1 900 MHz

Ce modèle de téléphone de référence a été utilisé précédemment dans le projet de comparaison interlaboratoires des fantômes de tête de mannequins anthropomorphes spécifiques lancé en 2003 par le SCC 34 du SC 2 du GT 2 de l'IEEE [8]. Le téléphone à boîtier métallique générique est constitué d'un boîtier métallique CEP comportant une couche plastique de 1 mm et une antenne monopôle filaire au niveau de la surface supérieure. Ce téléphone est placé au niveau de l'oreille droite du fantôme du mannequin anthropomorphe spécifique (tel que représenté à la Figure 10) pour le calcul du DAS. Les dimensions du téléphone sont représentées à la Figure 11. La longueur de l'antenne, désignée par L_A à la Figure 11 est donnée pour deux fréquences d'essai: 71 mm à 835 MHz et 36 mm à 1 900 MHz. La longueur de l'antenne inclut l'espace de source de 1 mm et le revêtement de caoutchouc de 1 mm de l'antenne. La sortie du haut-parleur se situe 10 mm au-dessous du côté supérieur du châssis.

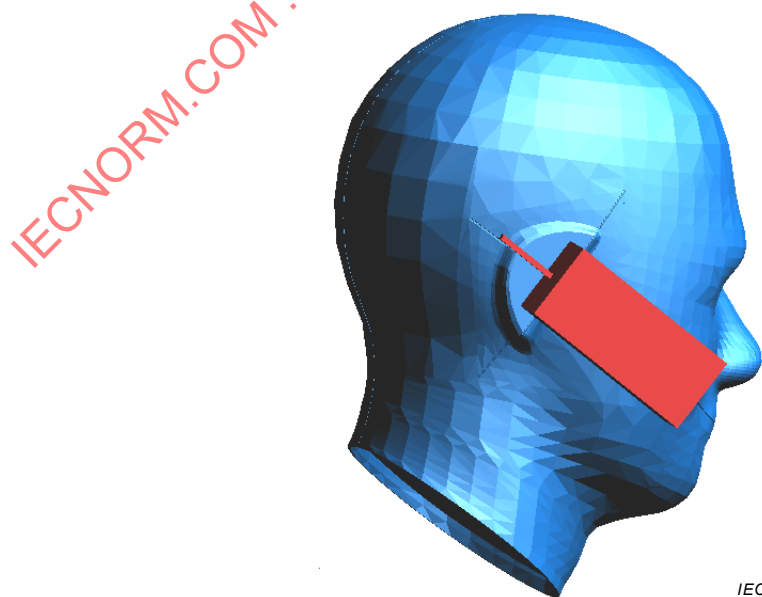


Figure 10 – Fantôme de tête du mannequin anthropomorphe spécifique et téléphone à boîtier métallique générique

Dimensions en millimètres

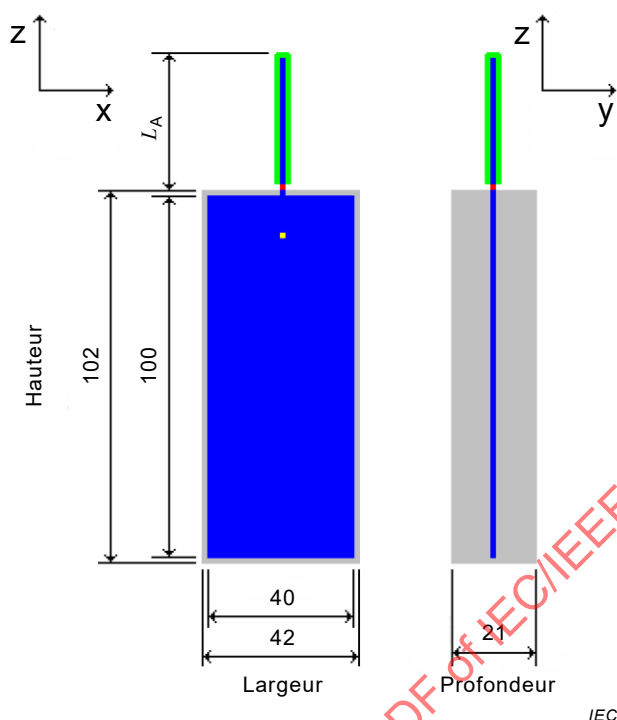


Figure 11 – Dimensions physiques du téléphone à boîtier métallique générique

Les propriétés diélectriques des matériaux propres à ce modèle de téléphone mobile de référence sont indiquées dans le Tableau 1.

Les résultats de DAS pour les simulations spécifiées sont présentés dans le Tableau 2. Tous les résultats de DAS sont normalisés à la puissance de 1 W acceptée par l'antenne. Noter que les données présentées sont les valeurs moyennes des résultats obtenus par les laboratoires participant à la comparaison interlaboratoires. Il convient de ne pas les considérer comme des valeurs de référence obtenues de manière analytique. Un écart de moins de 30 % par rapport à la valeur moyenne est considéré comme indicatif d'un résultat de simulation numérique acceptable.

Tableau 1 – Paramètres diélectriques des matériaux du téléphone générique

Matériau	835 MHz		1 900 MHz	
	ε_r	σ (S/m)	ε_r	σ (S/m)
Plastique (châssis)	4,0	0,04	4,0	0,04
Caoutchouc (capot d'antenne)	2,5	0,005	2,5	0,005
Coque plastique du mannequin anthropomorphe spécifique	5,0	0,0016	5,0	0,0016
Matériau simulant les tissus du mannequin anthropomorphe spécifique	41,5	0,90	40,0	1,40

Tableau 2 – Débit d'absorption spécifique maximal moyenné pour les valeurs 1 g et 10 g du modèle de référence

Fréquence (MHz)	Côté oreille	Position	DAS 1 g (W/kg/W)	DAS 10 g (W/kg/W)
835	Droit	Joue	7,5	5,3
		Incliné	4,9	3,4
1 900		Joue	8,3	4,8
		Incliné	12,0	6,8

6.3 Téléphone mobile GSM/UMTS

Ce modèle de téléphone de référence est basé sur un fichier CAO fourni avec le présent document. Le modèle de référence a pour objet de vérifier par essai le traitement des modèles complexes de l'outil FDTD choisi. Le modèle se compose de plusieurs objets solides se rapprochant des structures utilisées dans de vrais téléphones mobiles. Le modèle de téléphone mobile de référence est représenté à la Figure 12. Le modèle se compose d'objets solides métalliques et plastiques dont les propriétés diélectriques des matériaux sont données dans le Tableau 3.



Figure 12 – Téléphone mobile GSM/UMTS générique