

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 2: Specific requirements for finite difference time domain (FDTD) modelling of exposure from vehicle mounted antennas**

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 –

Partie 2: Exigences spécifiques relatives à la modélisation de l'exposition des antennes sur véhicule, à l'aide de la méthode des différences finies dans le domaine temporel (FDTD)



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 2: Specific requirements for finite difference time domain (FDTD) modelling of exposure from vehicle mounted antennas**

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 –

Partie 2: Exigences spécifiques relatives à la modélisation de l'exposition des antennes sur véhicule, à l'aide de la méthode des différences finies dans le domaine temporel (FDTD)

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 17.220.20

ISBN 978-2-8322-4259-9

**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	8
4 Abbreviated terms	9
5 Exposure configuration modelling	10
5.1 General considerations	10
5.2 Vehicle modelling.....	10
5.3 Communications device modelling	11
5.4 Exposed subject modelling.....	14
5.5 Exposure conditions.....	15
5.6 Accounting for variations in population relative to the standard human body model.....	18
5.6.1 Whole-body average SAR adjustment factors	18
5.6.2 Peak spatial-average SAR adjustment factors	20
6 Validation of the numerical models	22
6.1 Validation of antenna model.....	22
6.1.1 General	22
6.1.2 Experimental antenna model validation.....	22
6.1.3 Numerical antenna model validation	23
6.2 Validation of the human body model.....	24
6.3 Validation of the vehicle numerical model	26
6.3.1 General	26
6.3.2 Vehicle model validation for bystander exposure simulations	27
6.3.3 Vehicle model validation for passenger exposure simulations	28
7 Computational uncertainty.....	30
7.1 General considerations	30
7.2 Contributors to overall numerical uncertainty in standard test configurations.....	31
7.2.1 General	31
7.2.2 Uncertainty of the numerical algorithm	31
7.2.3 Uncertainty of the numerical representation of the vehicle and pavement.....	31
7.2.4 Uncertainty of the antenna model	32
7.2.5 Uncertainty of SAR evaluation in the standard bystander and passenger models.....	33
7.3 Uncertainty budget.....	33
8 Benchmark simulation models	34
8.1 General.....	34
8.2 Benchmark for bystander exposure simulations	35
8.3 Benchmark for passenger exposure simulations.....	36
9 Documenting SAR simulation results	38
9.1 General.....	38
9.2 Test device	38
9.3 Simulated configurations.....	38
9.4 Software and standard model validation.....	38

9.5	Antenna numerical model validation	38
9.6	Results of the benchmark simulation models	38
9.7	Simulation uncertainty	39
9.8	SAR results	39
Annex A	(normative) File format and description of the standard human body models	40
A.1	File format	40
A.2	Tissue parameters	42
Annex B	(informative) Population coverage	47
Annex C	(informative) Peak spatial-average SAR locations for the validation and the benchmark simulation models	51
Bibliography		52
Figure 1	– Antenna feed model	12
Figure 2	– Voltage and current at the matched antenna feed-point	13
Figure 3	– Bystander model (left) and passenger/driver model (right) for the SAR simulations	15
Figure 4	– Passenger and driver positions in the vehicle for the SAR simulations	17
Figure 5	– Bystander positions relative to the vehicle for the SAR simulations	17
Figure 6	– Experimental setup for antenna model validation	23
Figure 7	– Benchmark configuration for bystander model exposed to a front or back plane wave	25
Figure 8	– Benchmark configuration for passenger model exposed to a front or back plane wave	26
Figure 9	– Configuration for vehicle numerical model validation	27
Figure 10	– Side view (top) and rear view (bottom) benchmark validation configuration for bystander and trunk mount antenna	35
Figure 11	– Benchmark validation configuration for passenger and trunk mount antenna	37
Table 1	– Pavement model parameters	14
Table 2	– Whole-body average SAR adjustment factors for the bystander and trunk mount antennas	19
Table 3	– Whole-body average SAR adjustment factors for the bystander and roof mount antennas	19
Table 4	– Whole-body average SAR adjustment factors for the passenger and trunk mount antennas	19
Table 5	– Whole-body average SAR adjustment factors for the passenger and roof mount antennas	20
Table 6	– Peak spatial-average SAR adjustment factors for the bystander model and trunk mount antennas	21
Table 7	– Peak spatial-average SAR adjustment factors for the bystander model and roof mount antennas	21
Table 8	– Peak spatial-average SAR adjustment factors for the passenger model and trunk mount antennas	21
Table 9	– Peak spatial-average SAR adjustment factors for the passenger model and roof mount antennas	22
Table 10	– Peak spatial-average SAR for 1 g and 10 g and whole-body average SAR for the front and back plane wave exposure of the 3-mm resolution bystander model	25

Table 11 – Peak spatial-average SAR for 1 g and 10 g and whole-body average SAR for the front and back plane wave exposure of the 3-mm resolution passenger model.....	26
Table 12 – Antenna length for the vehicle model validation configurations	27
Table 13 – The reference electric field (top) and magnetic field (bottom) values for the numerical validation of the vehicle model for bystander exposure	28
Table 14 – Coordinates of the test points for the standard vehicle validation simulations for the passenger	29
Table 15 – The reference electric field (top) and magnetic field (bottom) values for the numerical validation of the vehicle model for passenger exposure	30
Table 16 – Numerical uncertainty budget for exposure simulations with vehicle mounted antennas and bystander and/or passenger models	34
Table 17 – Reference SAR values for the bystander benchmark validation model	36
Table 18 – Reference SAR values for the passenger benchmark validation model	37
Table A.1 – Voxel counts in each data file	41
Table A.2 – Tissues and the associated RGB colours in the binary data file	41
Table A.3 – Cole–Cole parameters and density for the standard human body model tissues	43
Table A.4 – Relative dielectric constant and conductivity for the standard human body model at selected reference frequencies	45
Table B.1 – Whole-body average SAR adjustment factors for the bystander model and trunk mount antenna	47
Table B.2 – Whole-body average SAR adjustment factors for the bystander model and roof mount antenna	48
Table B.3 – Whole-body average SAR adjustment factors for the passenger model and trunk mount antenna	48
Table B.4 – Whole-body average SAR adjustment factors for the passenger model and roof mount antenna	48
Table B.5 – Peak spatial-average SAR adjustment factors for the bystander model and trunk mount antenna	49
Table B.6 – Peak spatial-average SAR adjustment factors for the bystander model and roof mount antenna	49
Table B.7 – Peak spatial-average SAR adjustment factors for the passenger model and trunk mount antenna	49
Table B.8 – Peak spatial-average SAR adjustment factors for the passenger model and roof mount antenna	50
Table C.1 – Location of the peak spatial-average SAR for the front and back plane wave exposure of the standard human body models	51
Table C.2 – Location of the peak spatial-average SAR for the vehicle mounted antenna benchmark simulation models	51

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

Part 2: Specific requirements for finite difference time domain (FDTD) modelling of exposure from vehicle mounted antennas

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 62704-2 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.

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
106/391/FDIS	106/392/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 model datasets described in Annex A. 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/24748-5/24748-5-2017/24748-5-2017_wg-participants.pdf

INTRODUCTION

Computational techniques have reached a level of maturity which allows their use in compliance assessments of wireless communication devices with vehicle mounted antennas. The increasing complexity of assessing product compliance with exposure standards according to specific absorption rate (SAR) limits calls for new compliance techniques. This technique should be time efficient and cost effective. Experimental compliance assessments for wireless communication devices used in combination with vehicles are extremely complex to perform or even not possible at all. National regulatory bodies (e.g. US Federal Communications Commission) encouraged the development of consensus standards as well as the establishment of the related IEEE TC34 SC2 subcommittee and IEC PT62704-2 working group. The benefits to the user include standardized and accepted protocols, standardized anatomical models, validation techniques, benchmark data, reporting format, means for estimating the overall uncertainty in order to produce valid, accurate, repeatable, and reproducible results.

The results obtained by following the protocols specified in this document represent a conservative estimate of the peak spatial-average and whole-body average SAR induced in the standard human body models and exposure conditions established for this document inside or nearby the vehicles representing typical use cases with transmitting mobile radios. The protocols set forth in this document produce results subject to modelling, simulations and other uncertainties that are defined in this document.

The standardized vehicle and human models, test configurations, and related results are representative of the typical exposure conditions expected by the passengers and bystanders near the vehicle with vehicle mounted antennas. 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 body size, posture, vehicle model, and distance from the vehicle and antenna. The following items are described in detail: simulation concepts, simulation techniques, finite difference time domain (FDTD) numerical method, benchmarking techniques, standardized anatomically correct human body models of the passenger and bystander, exposure conditions, reference exposure configurations for validation of the SAR simulation software, and the limitations of these models and tools when used for simulating the peak spatial-average and whole-body average SAR. 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.

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

Part 2: Specific requirements for finite difference time domain (FDTD) modelling of exposure from vehicle mounted antennas

1 Scope

This part of IEC/IEEE 62704 establishes the concepts, techniques, validation procedures, uncertainties and limitations of the finite difference time domain technique (FDTD) when used for determining the peak spatial-average and whole-body average specific absorption rate (SAR) in a standardized human anatomical model exposed to the electromagnetic field emitted by vehicle mounted antennas in the frequency range from 30 MHz to 1 GHz, which covers typical high power mobile radio products and applications. This document specifies and provides the test vehicle, human body models and the general benchmark data for those models. It defines antenna locations, operating configurations, exposure conditions, and positions that are typical of persons exposed to the fields generated by vehicle mounted antennas. The extended frequency range up to 6 GHz will be considered in future revisions of this document. This document does not recommend specific peak spatial-average and whole-body average SAR limits since these are found in other documents, e.g. IEEE C95.1-2005, ICNIRP (1998).

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: <http://www.electropedia.org>)

IEC/IEEE 62704-1:—2, *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 Standards Dictionary Online (subscription available at: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/dictionary.jsp>)

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.

3.1

bystander model

heterogeneous human body model in the standing posture defined in this document to represent a bystander near the standardized vehicle

² Under preparation. Stage at time of publication: IEC/IEEE FDIS 62704-1:2016.

3.2

conservative estimate

estimate of the peak spatial-average SAR and whole-body average SAR as defined in this document that is representative of what is expected to occur in the body of the bystanders and passengers of a significant majority of the population during normal operating conditions of mobile radios with vehicle mounted antennas

Note 1 to entry: Conservative estimate does not mean the absolute maximum SAR value that could possibly occur under every conceivable combination in the human body size, shape, separation from the antenna and/or vehicle.

3.3

heterogeneous standard human body model

anthropomorphic model of the human body with multiple anatomical structures, each of which is composed of the appropriate single, simulated-tissue type, such as skin, skull (bone), muscle, brain, eye tissue, etc., as defined by this document

Note 1 to entry: The standard human body model is based on the Visible Human dataset [1]³

3.4

insertion loss

loss resulting from the insertion of a component in a transmission system calculated as the ratio of the power delivered to the load when connected to the generator to the power delivered to the load when the component is inserted

Note 1 to entry: Insertion loss is usually expressed in decibels (dB).

3.5

passenger model

heterogeneous human body model in the seating posture defined in this document to represent a passenger inside the standardized vehicle

3.6

vehicle model

numerical CAD-based model of the vehicle suitable for electromagnetic numerical simulations developed specifically for this document

4 Abbreviated terms

CAD	computer-aided design
FDTD	finite difference time domain
MPE	maximum permissible exposure
PEC	perfect electric conductor
PML	perfectly matched layers
PTT	push-to-talk
RF	radio frequency
RSS	root sum square
SAR	specific absorption rate

³ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

5 Exposure configuration modelling

5.1 General considerations

The three relevant elements that define the exposure conditions in vehicular environments are: the communication device(s) with antenna(s), the vehicle model, and the location of the exposed subject.

The communication device or devices typically consist of one or more transceivers connected to a single antenna. The connection of multiple transceivers may require multiplexers and/or power combiners, in addition to the RF transmission line (e.g. section of coaxial cable) routed from the transceiver (or the combiner) to the antenna connector.

The term “transceiver” in the following refers to a single transceiver or a more complex system comprising an arbitrary number of transceivers and combiners, and possibly other devices along the RF signal path. Conventionally, any components inserted before the cable (if any) leading to the antenna will be considered part of the transceiver. The transceiver features an RF port (typically the connector where the cable is attached). The relevant RF signal characteristics (frequency, bandwidth, average power) at this port shall be known.

Relevant features of the antenna(s) are the geometrical dimensions, physical construction (e.g. materials), electrical characteristics (e.g. frequency response of the return loss, gain and radiation pattern), electrical/mechanical tuning mechanisms (if any), and mounting locations.

The metallic portions of the vehicle body and the antenna location are the most important parameters that define an exposure scenario. The shape and features of the vehicle body (e.g. windows) shall be representative of the typical application of the communication device without complicating the computational modelling unnecessarily. The model of the pavement shall also be included in the simulation.

5.2 Vehicle modelling

To obtain reliable and repeatable simulation results, a specific CAD model of the vehicle has been defined and is available with this document. To conduct a successful simulation according to this document, the CAD model of this standardized vehicle shall be used. Some results obtained using this standardized vehicle model may not be applicable for certain other vehicle types or different antenna installation conditions, e.g. if non-metallic roof installation is allowed.

The standardized vehicle model defined in this document for compliance assessment is applicable to all vehicle models when the following conditions are met. For either roof mount or trunk mount antenna, the distance to the bystander shall be defined with the antenna mounted according to the installation requirements. To help ensure the most conservative configuration(s) are considered for exposure assessment, the bystander separation distance shall be no greater than the minimum separation distance required for compliance as stated in the installation instructions. The same conditions shall apply to the separation distance between the antenna and the passenger except for the roof mount antenna configurations where the passenger is partially shielded by the metal roof. With such considerations, the impact of the vehicle model does not need to be considered when performing simulations using the standardized vehicle model, which makes this evaluation process practical.

Depending on the FDTD code, uniform or graded meshing algorithms can be employed. In the former case, the computational model resolution is usually determined by the anatomical details of the human model employed to represent the exposed subject. In the latter case, outside of the human body model, it is possible to relax the mesh resolution in some regions of the computational model (following the guidelines for graded mesh set forth in 5.2) in order to increase the execution speed of the numerical simulations and/or increase the geometrical dimensions of the computational domain. However, it is important that the same meshing

resolutions as defined and used for the validation and reference models are also used for all related exposure simulations.

The computational model of the vehicle body comprises mainly metal sheets with perfect electric conductor (PEC) properties. It is important that the meshed representation of the standard CAD model be inspected to help ensure continuity of the metal sheets forming the vehicle body and also to ensure that the required gaps and small separations between the different metal parts in the vehicle are not shorted and become continuous in the meshing process. The metal sheets can be modelled as a collection of thin layers, i.e. where the PEC condition is enforced only on a series of contiguous voxel faces along one coordinate plane, properly interconnected among them; or as a combination of thin and volumetric objects. For consistency and to help ensure that the mesh generated for the standard vehicle model defined in this document is valid, a maximum mesh step of 10 mm shall be used.

Compared to PEC, electromagnetic field scattered by the glass surfaces and other dielectric parts is a second order effect; therefore, they are not present in the standard vehicle model. Likewise, rear window defogger elements contain high resistivity conductors and are electromagnetic scatterers, which may attenuate the flow of RF energy through the window. For the purpose of this document, the effect of defoggers is neglected.

5.3 Communications device modelling

Before addressing the exposure to the RF energy emitted by the mobile radio antenna, it shall be verified that electromagnetic emissions contributed by the transceiver equipment are insignificant compared to the exposure level. This can be done by referring to the available radiated emission data in the EMC compliance report for the transceiver evaluated according to measurements or other suitable means recommended by internationally recognized EMC standards.

The general guidelines set forth in IEC/IEEE 62704-1 for modelling the RF source as a resistive generator in the FDTD model should be applied. Except for special or unique circumstances, which shall be explained and justified in the assessment report, source excitation should be applied at the antenna feed-point.

The fixed losses should be identified and quantified when possible to determine overestimation of exposure. The effect of the cable insertion losses leading to the antenna feed-point may be neglected in computations through proper RF power scaling at the feed point. This introduces a conservative bias in RF exposure assessment. However, if cable losses can be reasonably well quantified according to cable specifications and length required for mounting the antenna at specific locations, the effect of cable losses can be considered in the assessment by reducing the net input power, by an amount equal to the cable loss minus 0,5 dB. For instance, if the cable loss is 1,25 dB, a radiated power of 0,75 dB less than the power available at the transceiver port is applied to the antenna feed-point in the simulation. If the cable loss is less than 0,5 dB, it shall be neglected. This intentional bias is introduced to account for minor variations in cable lengths and cable specifications or properties to help ensure the conservative nature of the RF exposure assessment. Furthermore, return loss due to the antenna mismatch may also be neglected, thus introducing additional conservative bias. In any case, proper justification shall be provided to quantify the cable insertion losses and return loss if they are introduced in the computational analysis.

Because of the linearity of the simulated fields in a defined electromagnetic exposure condition, FDTD simulations can be performed at any desired power level and then scaled to the actual maximum average output power of the communication device.

The antenna shall be modelled to represent the physical antenna to help ensure the results are valid. This might require assembling the model as a collection of wires, patches, volumetric dielectric or metallic objects, etc. It is possible to introduce simplifications to reduce the complexity of the antenna model. For instance, it may be possible to introduce lumped reactive elements in the FDTD model in lieu of electrically small reactances, such as loading coils (sometimes called “traps”) used to phase different wire sections of electrically

long antennas. The antenna components that are smaller than one-tenth of the wavelength in the local dielectric material shall be deemed electrically small. Any such lumped element in the antenna model shall be validated according to the procedures set forth in 6.1.

Antenna models shall be located on the vehicle at the locations consistent with the test setup supported by this document and according to the antenna installation and product manual requirements. Test requirements for roof top and trunk mount antennas are specified in this document. The antenna and vehicle both contribute as radiating structures. In most cases, the antenna feed-point is located at the base of the antenna, where it makes contact with the vehicle body. This configuration is the one most frequently encountered. However, there might be cases where the feed-point is located elsewhere, for instance in the middle of a sleeve dipole antenna. Proper justification for the choice of antenna feed-point location shall be provided in the simulation report. There are also cases where matching networks are employed at the antenna feed-point to realize proper matching to the RF source impedance. In these cases, the matching network may be omitted from the FDTD model, since the computed results can always be scaled to produce the desired amount of antenna input power as shown below.

The antenna feed-point impedance and total power radiated under impedance match conditions at the test frequency can be obtained from simulations. The input impedance is calculated upon integrating the steady-state magnetic field surrounding the edge on which the feed-point is located to compute steady-state feed-point current (I), which is then used to derive the steady-state voltage (V) across the feed-point gap. The net average input power is computed as

$$P_{in} = \frac{1}{2} \text{Re}\{VI^*\} \quad (1)$$

where the asterisk indicates the complex conjugate.

SAR can be normalized to P_{in} to obtain SAR per watt input power. Whole-body average and peak spatial-average SAR for 1 g or 10 g can be determined by scaling the normalized SAR by the maximum power rating at the transceiver/antenna port. The final results may also take into consideration the time averaging allowed by national regulatory exposure requirements (e.g., the 50 % duty cycle afforded to certain PTT mobile radios).

A Thevenin model of the source feeding the antenna is shown in Figure 1. The voltage source

V_S and the real source impedance R_S are employed in the computations.

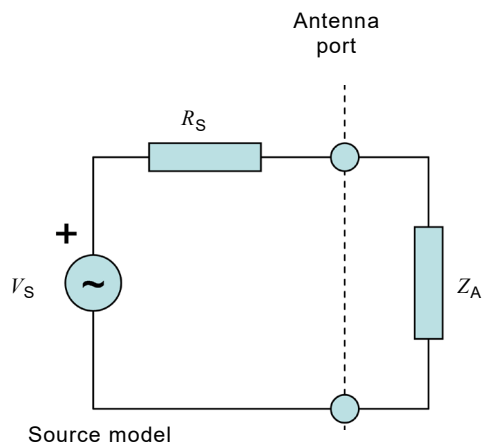


Figure 1 – Antenna feed model

The antenna impedance is $Z_A = R_A + jX_A$. The available power from the source is the maximum amount that would be dissipated in the load under perfect impedance matching condition (also known as conjugate matching condition $Z_A = R_S$):

$$P_{av} = \frac{1}{2} \operatorname{Re}\{V_A I_A^*\} = \frac{1}{2} \frac{V_S}{2} \frac{V_S^*}{2R_S} = \frac{|V_S|^2}{8R_S} \quad (2)$$

The operating condition for maximum power at R_S is represented in Figure 2. Note that this is the same condition, where the matched load resistance is represented by a power metering device, used to measure the maximum conducted power from a radio.

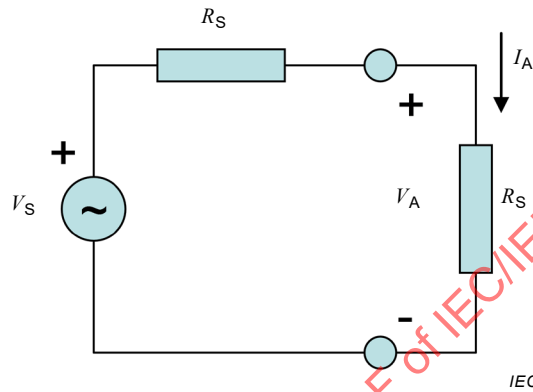


Figure 2 – Voltage and current at the matched antenna feed-point

Therefore, it is possible to establish the Thevenin voltage V_S that would be representative of a radio transmitter with maximum rated power P_{max} and the source impedance R_S as follows:

$$P_{max} = P_{av} = \frac{|V_S|^2}{8R_S} \Rightarrow |V_S| = \sqrt{8R_S P_{max}} \quad (3)$$

When the transmitter is connected to an antenna that exhibits the input impedance Z_A , the power radiated can be no greater than the maximum rated power P_{max} because of two physical mechanisms: energy dissipation in the antenna structure and energy reflection at the antenna port. The first mechanism is due to dielectric and ohmic losses while the second one is due to impedance mismatch at the antenna port. Neglecting energy dissipation introduces a conservative bias in compliance assessments. In computations, this is accomplished by applying ideal (lossless) material properties for the radiating structures, and in such case the radiated power P_{rad} is equal to the antenna input power P_{in} . An additional conservative bias is introduced by neglecting the mismatch losses. The mismatch loss factor is:

$$\eta = \frac{P_{rad}}{P_{max}} = 1 - |\Gamma|^2 = 1 - \left| \frac{Z_A - R_S}{Z_A + R_S} \right|^2 = \frac{4R_A R_S}{|Z_A + R_S|^2} \quad (4)$$

where Γ is the reflection coefficient at the antenna port. Therefore, in order to neglect the mismatch loss, the computed fields are scaled up by a factor $\sqrt{1/\eta}$ after simulations. This is equivalent to setting $P_{rad} = P_{max}$ and therefore $\Gamma = 0$, which is equivalent to saying that there are no mismatch losses and that the maximum power of the radio transmitter is radiated.

By following the approach described above, the effect of any ohmic losses due to the matching network components is omitted in the FDTD model, thus introducing a further conservative bias in the assessment.

5.4 Exposed subject modelling

The exposed subject shall be modelled in simulations using the standard bystander and passenger models which are based on the “Visible Human” [1] dataset. These models are freely available and are provided with this document in a generalized FDTD format. They include 39 different tissue types with dielectric properties and mass densities derived based on Gabriel [2] and available from publicly accessible databases [3]. The dielectric properties are determined according to frequency dispersion characteristics by applying the Cole–Cole formulas [4].

The Visible Human is a model of a standing man. Suitable rearrangement of its body parts has been performed to arrive at a sitting model (i.e. passenger model) and a properly positioned bystander model. The manipulations required specialized software.⁴ The derived bystander and passenger models are available as part of this document and can be imported into custom or commercial FDTD codes. To this end the files for these models and tissue structures are available in the voxel based format. The file format and other details for these standardized human models, including the tissue parameters, are described in Annex A. The reference data on tissue dielectric constants and conductivities at a few selected frequencies are also included in Annex A for validating that tissue parameters are correctly implemented according to the Cole–Cole model [4].

For compliance assessment according to this document the human models shall not be modified or used in a different voxel resolution than those provided. The 3 mm resolution defined for these models shall be used in the frequency range of this document, up to 1 GHz, which roughly corresponds to no worse than one-twelfth of the wavelength inside the body. The recent study by Gosselin et al. [5] investigated the impact of the mesh resolution on the peak spatial-average and whole-body average SAR. The results of this study suggest that within the frequency range from 30 MHz to 1 GHz and using a voxel resolution of 3 mm, convergence for 10 g peak spatial-average SAR of approximately 0,5 dB and about 0,2 dB for the whole-body average SAR are expected. A separate study [6] evaluated convergence in the same frequency range and found better than 0,3 dB convergence for the peak spatial-average SAR for both 1 g and 10 g and better than 0,15 dB for the whole-body average SAR, when comparing the results computed for a bystander human body model meshed with 3 mm, 1,5 mm and 1 mm resolution. These studies indicate that the results are not likely to change substantially with better than 3 mm resolution models.

NOTE The actual resolution in terms of wavelength is typically much better than the worst case of one-twelfth of wavelength which is based on 1 GHz maximum frequency and the selected tissues with the highest dielectric constant.

For bystander exposure simulations it is necessary to properly model the pavement. Typical pavements such as asphalt and concrete have relatively stable electric properties within a wide frequency range [7], [8]. In general, these types of pavement, even in wet condition, as well as many different types of soil conditions can be consistently represented by a dielectric slab having a relative dielectric constant of 8 and a conductivity of 0,01 S/m. The pavement shall be represented using a dielectric slab with a minimum thickness, a relative dielectric constant, and a conductivity as defined in Table 1.

Table 1 – Pavement model parameters

Relative dielectric constant	Conductivity	Slab thickness
8	0,01 S/m	30 cm

Exposure simulations with larger thickness dielectric slabs do not show significant effect on the peak spatial-average SAR for 1 g, 10 g, whole-body average SAR and SAR distributions within the exposed bystander model [9]. The bystander model shall not be in direct contact

⁴ VariPose®. Version 1.2, Remcom Inc., State College, PA USA. This information is given for the convenience of users of this document and does not constitute an endorsement by IEC of this product.

with the dielectric slab representing the pavement to properly simulate the insulation gap typically provided by shoes between the feet and the ground. The distance between the feet and the ground shall be 10 mm.

Figure 3 depicts the bystander and passenger (driver) models provided by this document for SAR simulations.

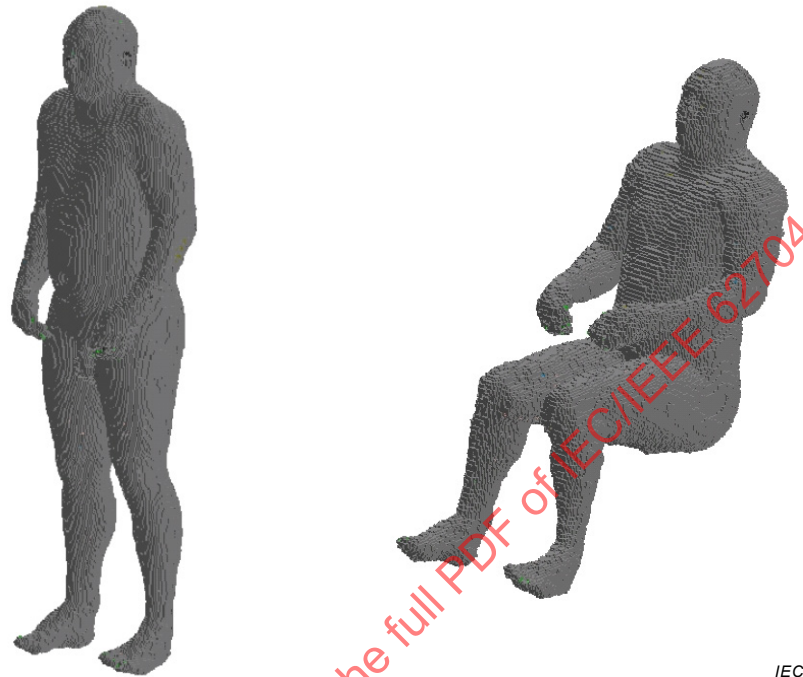


Figure 3 – Bystander model (left) and passenger/driver model (right) for the SAR simulations

5.5 Exposure conditions

Vehicle mounted antennas can produce RF exposure to subjects located inside or outside the vehicle. The former will be indicated in the following as “passengers” (including the driver), and the latter as “bystanders”.

The locations of the antenna on the vehicle body shall be clearly specified according to the test setup required by this document for roof top or trunk mount antenna installation. Antenna mount locations on the vehicle shall also follow the manufacturer’s recommended product manual specifications describing the proper antenna mount position(s). Depending on the antenna mount location different exposure configurations may be required for SAR evaluation using the bystander and/or passenger models. All the exposure configurations shall provide a conservative separation distance from the antenna to the bystander or passenger model that is consistent with the actual antenna installation, product safety manual and operating requirements.

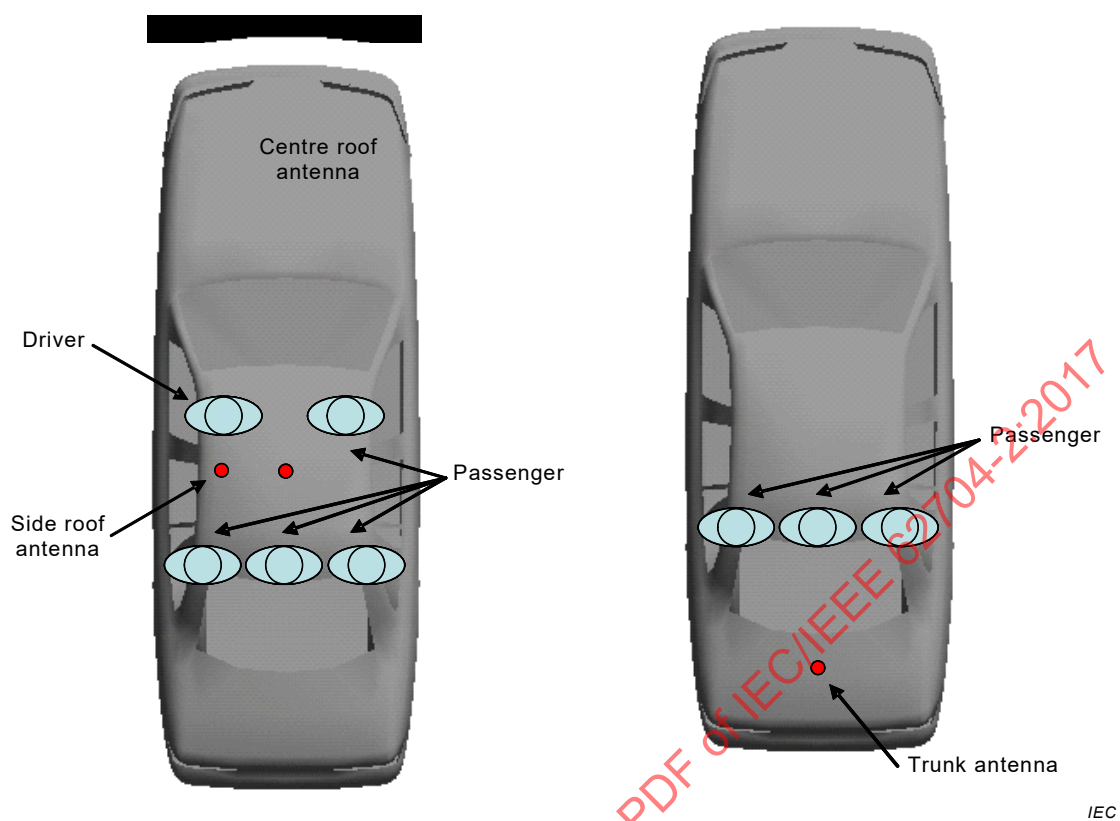
All applicable test configurations described below for the standard passenger and bystander human body shall be simulated to evaluate SAR unless compliance for a SAR test configuration is determined using other techniques and exposure limits (e.g. based on MPE limits defined in IEEE Std.95.1-2005 or reference levels in the ICNIRP (1998) guidelines).

Passenger exposure may occur in the front or rear seats of a vehicle. Exposures in the front seats shall be evaluated for antennas mounted on the roof of the standardized vehicle. Exposures in the rear seats shall be evaluated for antennas mounted on the roof and trunk of the vehicle. Exposures in the front seats shall be assessed for the driver or passenger side

depending on proximity to the antenna. Specifically, if the antenna is mounted near the side of the roof, the exposure shall be assessed with the passenger model sitting on the same side as the antenna. When the antenna is centrally mounted, that is, along the longitudinal centreline of the vehicle, then the driver side should be assessed. Exposures in the rear seats shall be assessed in the centre and one lateral side of the rear seats. When antennas are not installed at the centre of the roof or trunk, the lateral side that is closest to the antenna shall be assessed with the passenger and bystander models. Therefore, for vehicles having two rows of seats, three passenger locations shall be assessed: one in the front seats and two in the rear seats. Since two rows could be at the same distance from a roof mount antenna, at most three passenger locations shall be assessed, two on the side of the antenna on subsequent rows (or on an arbitrary side if the antenna is centrally mounted). Figure 4 shows the top view of the passenger location applicable for antennas. Relative to the standard vehicle model the vertical position of the passenger (position along Z axis) shall be defined as described in 8.3. As an example, if an antenna is mounted on the right hand side of the centreline of the roof then three passenger locations have to be assessed: front right hand side seat, centre rear seat, and right hand side rear seat locations.

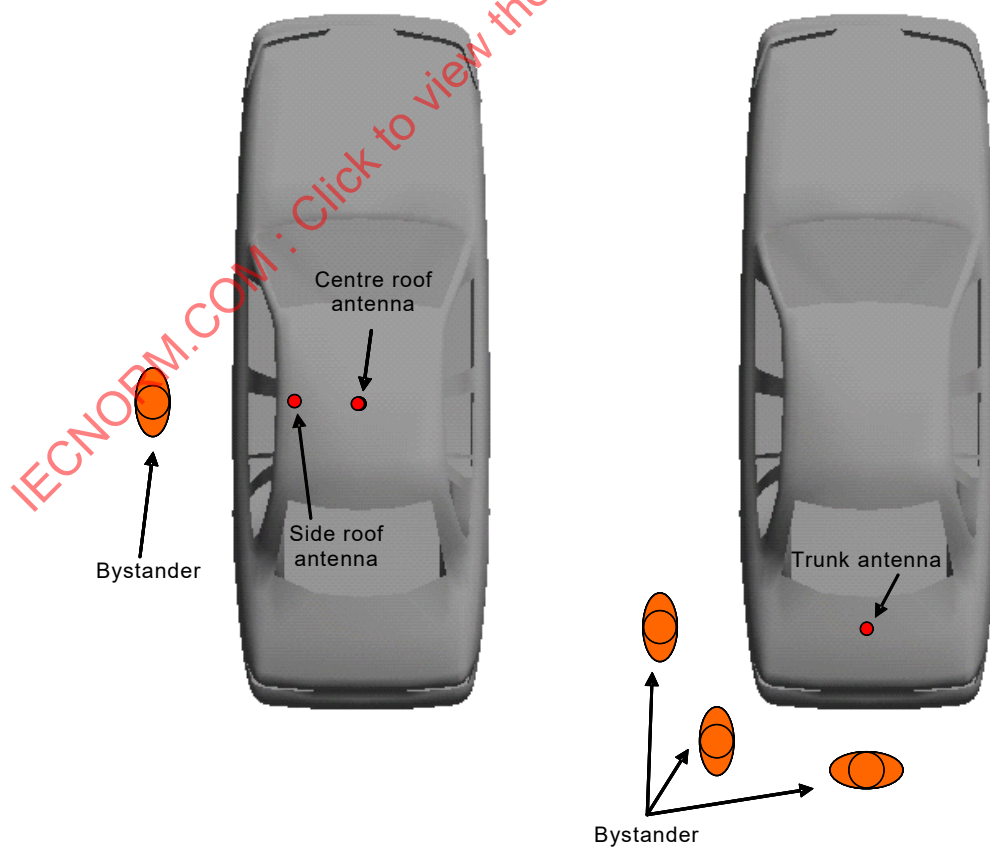
The bystander separation distance from the antenna as specified in the manufacturer's user manual shall be no less than the distance used in compliance evaluations. In addition, the antenna location in all test configurations shall be consistent with the manufacturer's antenna installation manual. Different mobile radio products may require different compliance distances because of different RF output power specifications which normally range from a few watts to over 100 W. This document specifies the procedures to position the bystander model according to the antenna location on the standard vehicle for SAR simulation and to address variations in vehicle dimensions. The test distance used for compliance evaluations shall be defined as the distance from the antenna surface to the nearest point on the bystander model. Due to variations in vehicle dimensions it is not always possible to attain this distance in certain configurations when positioning the bystander model next to the standard vehicle model. For example, the antenna may be installed on a vehicle which is smaller than the standard vehicle. In such case when a minimum separation distance between an antenna and bystander is specified in the product user manual this distance may be attained by adjusting the antenna location on the standard vehicle, where possible, to achieve the required antenna to bystander separation distance (e.g. by moving the antenna closer to the bystander). If a minimum separation distance is not specified in the product user manual the bystander to vehicle test distance shall be established according to compliance requirements set out in local regulations. Figure 5 illustrates the top view of some of the possible bystander positions next to the vehicle for roof mount and trunk mount antenna configurations defined in this document.

NOTE Some national regulatory bodies require manufacturers to include the minimal separation distance within the product manual.



IEC

Figure 4 – Passenger and driver positions in the vehicle for the SAR simulations



IEC

Figure 5 – Bystander positions relative to the vehicle for the SAR simulations

5.6 Accounting for variations in population relative to the standard human body model

5.6.1 Whole-body average SAR adjustment factors

The standardized bystander and passenger models required by this document shall be used to simulate the exposure from vehicle mounted antennas. It is expected that the level of exposure may vary from person to person due to physical and anatomical variations. While many factors may influence the peak spatial-average and whole-body average SAR, it is known that whole-body average SAR may vary significantly at certain frequencies depending on the body height as a result of the whole-body resonance effect on exposure. This phenomenon is very well characterized under plane wave exposure conditions [10] showing significant whole-body SAR enhancement around 75 MHz for the average adult person (with the *E*-field of the incident wave co-polarized along the body). For a shorter human body (e.g. child) the resonance occurs at higher frequencies depending on the body height. Therefore, for a fixed exposure configuration and frequency the whole-body average SAR may be significantly different depending on the exposed subject's height.

Ideally, since the exposure conditions of the bystander near the vehicle are not equivalent to plane wave exposure the conservative evaluation of the whole-body average SAR should be performed using a number of body models with different heights and body compositions in the same exposure conditions. In this case, only the highest whole-body average SAR computed for all those models would have to be reported, however the procedure itself might be lengthy and not practical.

The variation of the whole-body average SAR due to different body sizes was estimated for the specific test configurations (trunk or roof mount antennas, bystander and passenger exposure conditions) defined in this document and used to derive the frequency dependent SAR adjustment factors. These adjustment factors shall be applied to the whole-body average SAR evaluated for the bystander and passenger models defined in this document in order to provide the conservative estimate of the whole-body average SAR in the corresponding test conditions.

The whole-body average SAR adjustment factors, obtained from the IEC/IEEE 62704-2 computational study [11], are given in Tables 2 to 5. The details of the study are provided in Annex A. In particular, it shows that the whole-body average SAR variation for different human body models may significantly depend on the exposure condition (passenger vs. bystander and roof vs. trunk mount antenna). Because of this, the whole-body adjustment factors are defined separately for different exposure conditions that cover the trunk and roof mount antennas in this document. In addition, the centre roof and the side roof antenna locations are considered separately with the side roof location defined as the location with any side offset from the roof centre greater than a quarter width of the roof. All other smaller side offsets from the centre are considered as centre roof locations.

Linear interpolation or extrapolation of these adjustment factors shall be used at all other frequencies from 30 MHz to 1 GHz as well as bystander distances below the maximum distance available in the tables. These factors are not applicable for configurations with other antenna installations not covered by this document.

Table 2 – Whole-body average SAR adjustment factors for the bystander and trunk mount antennas

Frequency MHz	Bystander distance from the trunk mount antenna			
	80 cm	100 cm	120 cm	> 130 cm
30	1,0	1,0	1,0	1,0
50	1,3	1,3	1,4	1,4
75	1,7	2,0	2,2	2,3
100	2,5	2,5	2,5	3,5
150	1,9	1,9	2,5	4,5
300	2,1	2,6	2,6	2,6
450	1,4	1,3	1,5	2,0
800	1,0	1,0	1,0	1,0
1 000	1,0	1,0	1,0	1,0

NOTE 1 The factors in this table apply to all bystander positions with trunk mount antenna in Figure 5.

NOTE 2 The values at 30 MHz, 800 MHz, and 1 000 MHz in this table were derived by linearly extrapolating the available results and taking the maximum between the extrapolated value and unity (see Annex B).

Table 3 – Whole-body average SAR adjustment factors for the bystander and roof mount antennas

Frequency MHz	Centre roof mount antenna		Side roof mount antenna		Centre and side roof mount antenna with bystander > 50 cm from the vehicle
	20 cm from the vehicle	40 cm from the vehicle	20 cm from the vehicle	40 cm from the vehicle	
33	1,2	1,2	1,3	1,2	1,1
80	1,6	1,5	1,7	1,7	2,5
150	1,6	1,5	1,8	1,8	4,5
450	1,5	1,5	1,5	1,8	2,0
800	1,3	1,3	1,6	1,6	1,0
1 000	1,2	1,2	1,3	1,2	1,0

Table 4 – Whole-body average SAR adjustment factors for the passenger and trunk mount antennas

Frequency MHz	Passenger location in the vehicle	
	Back seat, centre	Back seat, side
33	1,0	1,0
80	1,4	1,0
150	2,4	3,0
450	2,8	2,6
800	2,2	1,9
1 000	1,9	1,7

Table 5 – Whole-body average SAR adjustment factors for the passenger and roof mount antennas

Frequency MHz	Centre roof mount antenna			Side roof mount antenna		
	Passenger location in the vehicle					
	Back seat, centre	Back seat, side	Front seat	Back seat, centre	Back seat, side	Front seat
33	1,8	1,0	1,3	1,4	1,1	1,3
80	1,0	1,3	8,2	1,0	1,4	8,3
150	1,9	2,4	1,6	2,0	1,5	1,7
450	1,8	2,9	2,5	4,7	2,7	1,8
800	2,7	2,1	2,2	2,7	2,3	2,8
1 000	2,8	2,4	2,3	5,7	3,1	2,7

5.6.2 Peak spatial-average SAR adjustment factors

The variation of the peak spatial-average SAR for 1 g and 10 g with respect to different human body models has been also evaluated to derive the conservative adjustment factors (Annex A). While, as expected, the different human body models in similar exposure conditions produce different peak spatial-average SAR values, this variation is generally attributed to the difference in the local tissue composition of the different models. All the exposure conditions and human body models used for the whole-body SAR variation study were also used to evaluate peak spatial-average SAR. Compared to the whole-body average SAR, the trend of the peak spatial-average SAR values with respect to height, mass or age of the exposed subjects is not consistent and the derivation of the adjustment factors applicable in all exposure conditions is based on conservative (highest factor among all models) evaluation of the results.

Tables 6 to 9 define the peak 1 g and 10 g SAR adjustment factors for bystander and trunk as well as roof mount antenna configurations obtained from the IEC/IEEE 62704-2 computational study [11] (see Annex B for details). These adjustment factors shall be applied to the peak spatial-average SAR for 1 g and 10 g evaluated for the bystander and passenger models defined in this document in order to provide the conservative estimate of peak spatial-average SAR in the corresponding test conditions. Linear interpolation or extrapolation of these adjustment factors shall be used at all other frequencies from 30 MHz to 1 GHz as well as the bystander distances below the maximum distance available in Tables 6 to 9.

Table 6 – Peak spatial-average SAR adjustment factors for the bystander model and trunk mount antennas

Frequency MHz	1 g SAR factor	10 g SAR factor
30	1,0	1,0
50	1,0	1,0
75	1,0	1,1
100	1,4	1,3
150	1,3	1,3
300	1,6	1,6
450	1,5	1,8
800	1,3	2,3
1 000	1,1	2,5

NOTE 1 The factors in this table apply to all bystander positions and distances with trunk mount antenna in Figure 5.

NOTE 2 The values at 30 MHz, 800 MHz, and 1 000 MHz in this table were derived by linearly extrapolating the available results and taking the maximum between the extrapolated value and unity (see Annex B).

Table 7 – Peak spatial-average SAR adjustment factors for the bystander model and roof mount antennas

Frequency MHz	Centre roof mount antenna				Side roof mount antenna				Centre and side roof mount antenna with bystander > 50 cm from the vehicle	
	20 cm from the vehicle		40 cm from the vehicle		20 cm from the vehicle		40 cm from the vehicle			
	1 g	10 g	1 g	10 g	1 g	10g	1 g	10g	1 g	10 g
33	1,3	1,2	1,3	1,0	1,4	1,3	1,2	1,0	1,0	1,0
80	1,1	1,2	1,3	1,0	1,3	1,2	1,3	1,1	1,0	1,1
150	1,4	1,3	1,2	1,0	1,2	1,3	1,3	1,4	1,3	1,3
450	1,6	1,4	1,6	1,3	1,2	1,9	1,8	2,3	1,5	1,8
800	2,5	2,3	2,6	2,4	2,0	2,0	1,4	1,4	1,5	1,8
1 000	3,2	2,8	3,4	2,9	2,2	2,2	2,8	2,5	1,5	1,8

Table 8 – Peak spatial-average SAR adjustment factors for the passenger model and trunk mount antennas

Frequency MHz	Trunk mount antenna			
	Back seat, centre		Back seat, side	
	1 g	10 g	1 g	10 g
33	1,0	1,2	1,0	1,0
80	1,0	1,0	1,0	1,0
150	1,9	2,0	4,2	4,4
450	2,4	2,4	2,0	2,3
800	1,0	1,0	1,4	1,2
1 000	1,3	1,1	1,0	1,0

Table 9 – Peak spatial-average SAR adjustment factors for the passenger model and roof mount antennas

Frequency MHz	Centre roof mount antenna						Side roof mount antenna					
	Back seat, centre		Back seat, side		Front seat		Back seat, centre		Back seat, side		Front seat	
	1 g	10 g	1 g	10 g	1 g	10 g	1 g	10 g	1 g	10 g	1 g	10 g
33	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
80	1,0	1,0	1,3	1,4	5,8	6,5	1,0	1,0	1,0	1,0	6,3	6,1
150	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,1	1,2	1,0	1,0	1,0	1,9	1,8
450	2,6	2,3	1,7	1,4	2,3	2,6	3,9	3,8	1,8	2,3	1,0	1,0
800	2,7	2,7	1,6	1,8	1,0	1,0	2,6	2,2	1,9	1,5	2,0	1,5
1 000	2,2	2,3	1,4	1,4	1,7	2,1	5,6	4,8	2,5	3,1	1,3	1,5

6 Validation of the numerical models

6.1 Validation of antenna model

6.1.1 General

A series of validation test setups are defined in order to provide means to validate the antenna model to be employed in the FDTD simulations. These setups are suitable for implementation either experimentally or numerically to provide reference solutions in the antenna near-field regions.

6.1.2 Experimental antenna model validation

In the experimental validation test setup, the antenna under test shall be mounted on a square or circular ground plane to represent the operating conditions on a vehicle. Near-field measurements are performed in order to establish the reference results against which the simulation predictions are compared. For instance, the simulation models of the gain monopole antennas with the inductive loading coil shall be subject to this validation test to demonstrate accuracy of the simulation models. All simulations for validation of the antenna under test on the finite ground plane shall be conducted using the FDTD grid resolution that will be used in subsequent exposure simulations with the vehicle and human body models to ensure consistency and applicability to the actual exposure simulations.

The antenna ground plane for this experimental setup shall be at least 1 000 mm in diameter if circular, or at least 1 000 mm × 1 000 mm if square. The antenna shall be mounted in the centre of the ground plane. A minimum separation of at least one wavelength from other metallic objects surrounding the ground-mounted antenna fixture shall be maintained, otherwise the metal objects (e.g. the automated scanning robot) shall be covered by RF absorbers. It is advised to use absorbing materials placed laterally at a distance of at least a half-wavelength from the ground plane as shown in Figure 6 to minimize residual reflections from other objects. For absorbers placed on the floor below the ground plane, this distance shall be at least a quarter wavelength. The support for the antenna ground plane shall be made of non-conductive material, e.g. wood or low dielectric constant plastic to minimize interaction with the antenna under test. In some instances, especially at low frequencies (e.g. below 300 MHz) the above requirements on separation distances from the test setup could be difficult to meet. In such cases, the measurement shall be performed in an anechoic or quasi-anechoic environment (e.g. anechoic chamber) that enables fulfilment of the above conditions.

With the antenna on the ground plane, as described above, the magnitudes of the electric and magnetic fields shall be measured above the ground plane along the vertical line as shown in Figure 6. The measurement line shall be at the distance d equal to 200 mm from the antenna

axis. The test points where the electric and magnetic field values are measured shall be equally distributed on the measurement line with a spacing of 100 mm or 0,1 wavelength, whichever is less.

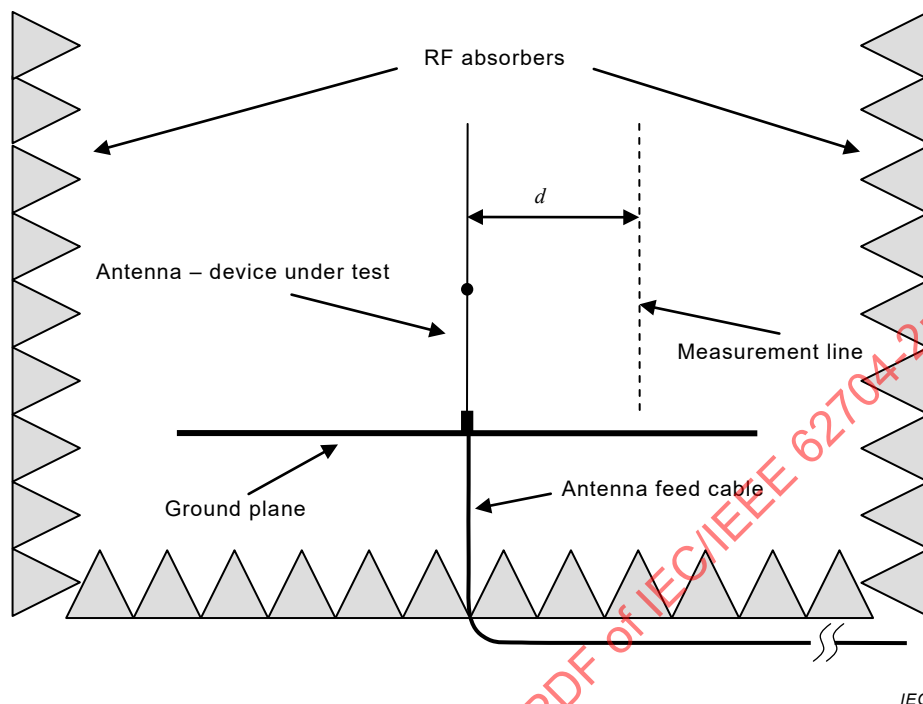


Figure 6 – Experimental setup for antenna model validation

The feeding cable of the antenna shall run vertically down from the centre of the ground plane (antenna feed-point) and be routed further towards the RF source under the absorbers arranged below the ground plane (see Figure 6).

The power delivered to the antenna shall be measured prior to field measurements. For this purpose a directional coupler with power meters or a network analyzer shall be used to estimate the forward and reflected power at the antenna port and, taking into account the power loss in the feeding cable, the power accepted by the antenna shall be computed to normalize the simulation results of the antenna numerical validation model. The field measurements shall be performed using calibrated electric and magnetic field probes with known measurement uncertainty. The best practices to measure electromagnetic field shall be followed as described in [12], [13], and [14]. To minimize the measurement uncertainty, RF survey probes with greater than 5 cm size sensors should not be used in this type of measurements, because they may not properly resolve the field distribution near the antenna and may significantly interact with it. For the same reason it is recommended to automate the positioning of the probe during the measurement.

The deviation of the numerical results from the measurements, computed as described in 7.2.4, shall be within the limits of one standard uncertainty of the measurements. Because the numerical antenna model may have conservative bias (e.g. neglecting the mismatch loss by enforcing numerically the perfect matching condition or neglecting the metal losses by using PEC), it is acceptable for the numerical results to overestimate the measured results within the range of established bias beyond that measurement uncertainty.

6.1.3 Numerical antenna model validation

Instead of using measurements as described in 6.1.2, reference results may also be generated based on accurate high resolution numerical modelling of the antenna under test. The numerical simulation model for this validation is defined to be the same as the

experimental setup described in 6.1.2. The computed magnitudes of electric and magnetic field values can be used as reference data instead of measured data.

For the numerical reference model of the antenna under test, it is required that a high accuracy full-wave model of the antenna mounted on the ground plane(s) defined in 6.1.2 is simulated using a different numerical code preferably employing a methodology other than FDTD, for instance a moment method code for metallic structures. The rationale for using the method of moments (MoM) is that in the case of metallic structures it provides arguably the best attainable accuracy. Like in FDTD, the MoM allows modelling of a source signal amplitude that produces a predefined radiated power, thus yielding a meaningful term of comparison for both the near-field and far-field regions. FDTD or finite element method (FEM) codes may also be used for this purpose to model the antenna with very high resolution, which is not attainable in the vehicle exposure simulation configurations.

The numerical validation is particularly suitable for antennas such as straight wire monopoles of various lengths or wire antennas with inductive coils usually located on the antenna radiating element to properly phase the currents induced along different sections of the antenna. Those structures can be accurately and reliably simulated using different numerical methods including MoM or high resolution FEM or FDTD. The convergence and accuracy of the simulations shall be reported.

6.2 Validation of the human body model

The numerical validation of the standard bystander and passenger models is intended to test the validity and accuracy of the modelling as implemented in a particular FDTD code. The validation is based on simulations of bystander and passenger model exposure to a well-defined reference RF source such as a plane wave. The test verifies that the models are correctly imported in the simulation project and that the software tool is consistent with SAR simulation procedures defined in this document and in IEC/IEEE 62704-1. It will also assess the deviation of the computed SAR results from the reference values obtained for those models. The standard voxel body models (bystander and passenger) defined in this document shall be used without any modifications for this validation procedure. The models shall be simulated in free space with a vertically polarized incident plane wave. Front and back exposure conditions shall be evaluated separately. The selected frequency for a particular validation simulation shall be the closest to the actual frequency of the exposure configuration to be simulated for compliance evaluation. All SAR results shall be normalized to 1,0 W/m² average plane wave power density. The passenger and bystander models required for these validations were simulated with at least 200 mm distance from the perfectly matched layers (PML) defined at the computational domain boundaries. Other computational domain boundary conditions may be used as specified in IEC/IEEE 62704-1.

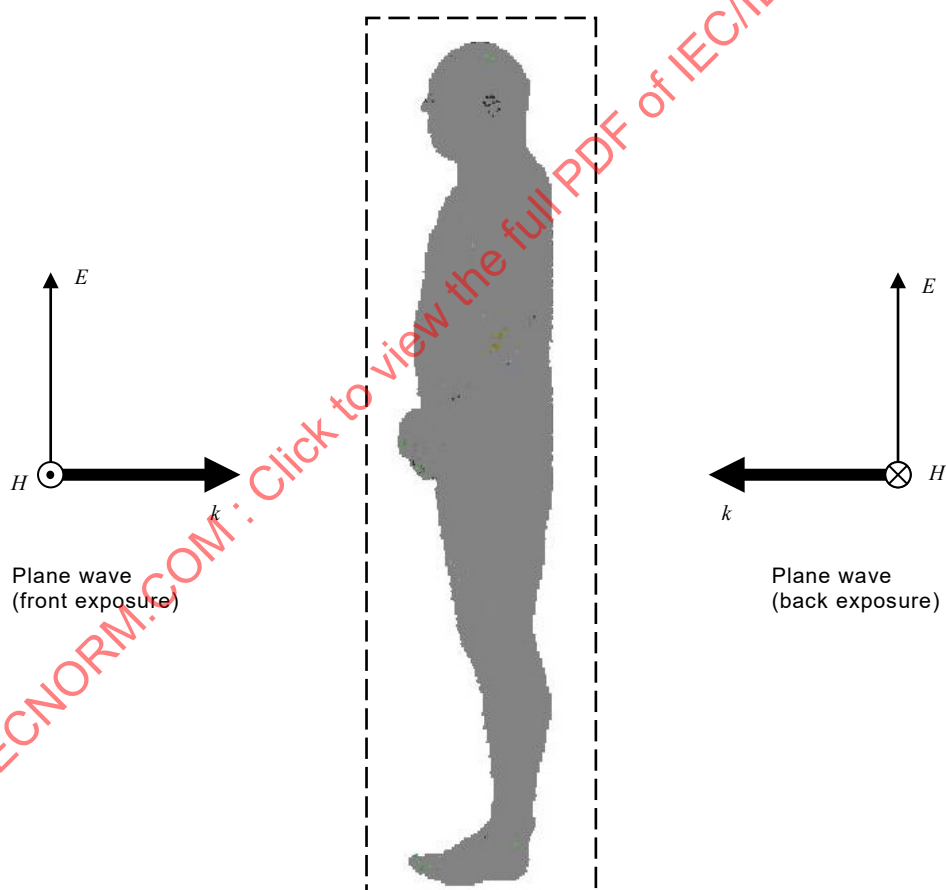
The reference SAR results for the bystander model are given in Table 10 and those for the passenger model are given in Table 11. These results have been computed for plane wave exposure using 3-mm resolution bystander and passenger models uniformly meshed throughout the computational domain.

In order to use the reference results, and for the test to be valid and applicable for simulation accuracy assessment, all compliance simulations shall be conducted using the 3-mm resolution standard bystander and/or passenger body models.

Table 10 – Peak spatial-average SAR for 1 g and 10 g and whole-body average SAR for the front and back plane wave exposure of the 3-mm resolution bystander model

Frequency MHz	1 g SAR W/kg		10 g SAR W/kg		Whole-body average SAR W/kg	
	Front	Back	Front	Back	Front	Back
30	0,198	0,186	0,123	0,117	0,004 63	0,004 63
75	0,458	0,455	0,319	0,290	0,020 13	0,019 63
150	0,140	0,143	0,068	0,089	0,006 93	0,006 61
300	0,096	0,119	0,074	0,076	0,005 80	0,005 65
450	0,170	0,182	0,103	0,110	0,006 28	0,006 12
800	0,386	0,131	0,171	0,092	0,006 05	0,005 60
1 000	0,404	0,097	0,175	0,055	0,005 66	0,005 18

Figure 7 depicts the described benchmark validation configuration featuring the bystander exposed to a front and back plane wave.



IEC

Figure 7 – Benchmark configuration for bystander model exposed to a front or back plane wave

Table 11 – Peak spatial-average SAR for 1 g and 10 g and whole-body average SAR for the front and back plane wave exposure of the 3-mm resolution passenger model

Frequency MHz	1 g SAR W/kg		10 g SAR W/kg		Whole-body average SAR W/kg	
	Front	Back	Front	Back	Front	Back
30	0,056	0,054	0,034	0,037	0,001 26	0,001 27
75	0,146	0,317	0,083	0,219	0,007 98	0,008 18
150	0,281	0,203	0,226	0,150	0,009 90	0,008 98
300	0,111	0,114	0,067	0,070	0,004 98	0,004 77
450	0,142	0,150	0,103	0,085	0,004 85	0,004 55
800	0,110	0,075	0,073	0,045	0,004 24	0,003 96
1 000	0,128	0,071	0,089	0,046	0,004 00	0,003 64

The corresponding validation configuration with the front and back plane wave exposure is depicted in Figure 8.



IEC

Figure 8 – Benchmark configuration for passenger model exposed to a front or back plane wave

The validation shall be considered successful if the computed peak spatial-average SAR for 1 g and 10 g are within $\pm 10\%$ and the computed whole-body average SAR is within $\pm 5\%$ of the corresponding reference values defined in Table 10 and Table 11. The locations of the peak spatial-average SAR shall be the same as described in Annex C for the corresponding configurations.

6.3 Validation of the vehicle numerical model

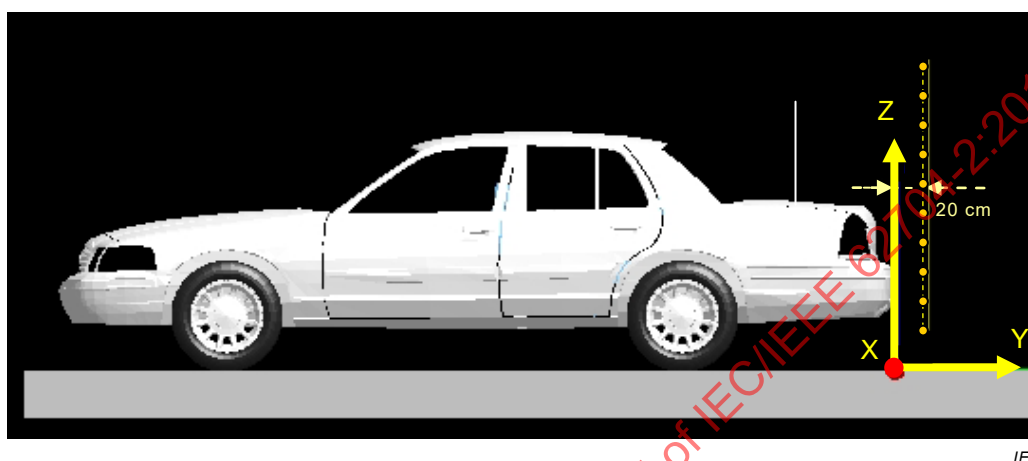
6.3.1 General

The numerical model and simulation configurations defined in 6.3 validate the correct representation of the vehicle model and its meshing in the FDTD grid. This validation test simulates the electromagnetic field produced by a well characterized quarter wave monopole antenna mounted on the vehicle trunk, therefore permitting the assessment of the accuracy of the vehicle model. The selected frequency for a particular validation simulation as defined in

6.3.2 and 6.3.3 shall be the closest to the actual frequency of the exposure configuration to be simulated for compliance evaluation.

6.3.2 Vehicle model validation for bystander exposure simulations

The configuration is defined as shown in Figure 9 with the pavement model as defined in 5.4. The standard vehicle model shall be meshed with the same FDTD grid resolution that will be used in exposure simulations for compliance evaluations. The quarter wave monopole antenna shall be placed in the centre of the trunk.



NOTE Relative to the coordinate system of the standard vehicle CAD model, the antenna base is located at $Y = -57,5$ cm.

Figure 9 – Configuration for vehicle numerical model validation

The lengths of the quarter wave antenna at selected frequencies are listed in Table 12.

Table 12 – Antenna length for the vehicle model validation configurations

Frequency MHz	Antenna length cm
33	115
80	101
150	50,5
450	18,0
800	9,0
1 000	7,0

The electric and magnetic field values shall be computed along a vertical line 20 cm behind the vehicle body, at ten locations starting from 20 cm above the ground and at 20 cm intervals as shown in Figure 9. The line is located in the symmetry plane of the car.

The reference results for this validation model were computed as an average of the results from several different simulation tools validated according to the IEC/IEEE 62704-1 and are presented in Table 13. All results are normalized to 1 W average power emitted from the antenna.

Table 13 – The reference electric field (top) and magnetic field (bottom) values for the numerical validation of the vehicle model for bystander exposure

Point	Position above the ground cm	Electric field magnitude V/m					
		33 MHz	80 MHz	150 MHz	450 MHz	800 MHz	1 000 MHz
1	20	7,32E+00	6,20E+00	3,50E+00	3,38E+00	1,95E+00	2,72E+00
2	40	8,77E+00	8,30E+00	3,82E+00	3,12E+00	3,04E+00	4,11E+00
3	60	9,65E+00	1,04E+01	4,45E+00	5,12E+00	4,33E+00	4,60E+00
4	80	9,61E+00	1,15E+01	6,04E+00	6,13E+00	3,89E+00	5,71E+00
5	100	1,04E+01	1,28E+01	8,74E+00	9,25E+00	1,02E+01	1,13E+01
6	120	1,21E+01	1,31E+01	1,01E+01	1,16E+01	1,32E+01	1,62E+01
7	140	1,51E+01	1,23E+01	9,77E+00	1,16E+01	1,47E+01	1,46E+01
8	160	1,77E+01	1,12E+01	8,56E+00	1,02E+01	1,45E+01	1,15E+01
9	180	1,91E+01	1,02E+01	7,00E+00	8,74E+00	1,18E+01	9,35E+00
10	200	1,90E+01	9,27E+00	5,52E+00	7,83E+00	7,82E+00	7,00E+00
Point	Position above the ground cm	Magnetic field magnitude A/m					
		33 MHz	80 MHz	150 MHz	450 MHz	800 MHz	1 000 MHz
1	20	1,97E-02	1,83E-02	8,68E-03	5,37E-03	7,98E-03	7,28E-03
2	40	2,23E-02	2,07E-02	1,04E-02	1,07E-02	1,02E-02	8,19E-03
3	60	2,71E-02	2,77E-02	1,74E-02	1,36E-02	1,37E-02	1,21E-02
4	80	3,22E-02	3,36E-02	2,30E-02	1,55E-02	1,02E-02	1,50E-02
5	100	3,57E-02	3,38E-02	2,52E-02	1,82E-02	2,66E-02	3,01E-02
6	120	3,77E-02	3,33E-02	2,68E-02	3,21E-02	3,40E-02	4,40E-02
7	140	3,65E-02	3,27E-02	2,58E-02	3,21E-02	3,93E-02	3,78E-02
8	160	3,27E-02	3,10E-02	2,19E-02	2,67E-02	3,85E-02	2,95E-02
9	180	2,72E-02	2,81E-02	1,70E-02	2,33E-02	3,16E-02	2,48E-02
10	200	2,10E-02	2,46E-02	1,26E-02	2,08E-02	2,04E-02	1,89E-02

The validation shall be considered successful if the deviation computed according to Formula (5) in 7.2.3 using the reference results in Table 13 is less than 30 %. This maximum allowed deviation represents the observed variation of the values produced by different codes at a given location relative to their mean, which is the reference value in Table 13 for that location.

NOTE The practically achievable deviation of SAR from the target values defined for the bystander benchmark simulation models in 8.2 does not exceed 17 %, which is much smaller than the deviation of the electric and magnetic field values computed as described in 6.3.2.

6.3.3 Vehicle model validation for passenger exposure simulations

Vehicle model validation for the passenger (and driver) exposure simulations shall be performed similarly to the vehicle model validation for bystander exposure described in 6.3.2 with the exception of the locations where the electric and magnetic fields are computed for comparison with reference values. The coordinates of the test points relative to the standard vehicle model are defined in Table 14. These test points are distributed in the back seat and front seat locations of the vehicle.

Table 14 – Coordinates of the test points for the standard vehicle validation simulations for the passenger

Test point	Location	X mm	Y mm	Z mm
1	Back seat centre	0	–1 560	1 250
2	Back seat centre	0	–1 700	950
3	Back seat centre	0	–1 900	650
4	Back seat side	–430	–1 560	1 250
5	Back seat side	–430	–1 700	950
6	Back seat side	–430	–1 900	650
7	Front seat side	–430	–2 600	1 250
8	Front seat side	–430	–2 700	900
9	Front seat side	–430	–2 800	650

The reference results obtained for this validation test using several different simulation tools compliant with the requirements of this document and validated according to IEC/IEEE 62704-1 are given in Table 15. All results are normalized to 1 W average power emitted from the antenna.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC/IEEE 62704-2:2017

Table 15 – The reference electric field (top) and magnetic field (bottom) values for the numerical validation of the vehicle model for passenger exposure

Point	Electric field magnitude V/m					
	33 MHz	80 MHz	150 MHz	450 MHz	800 MHz	1 000 MHz
1	10,9	17,3	16,1	18,7	8,45	11,3
2	3,49	7,88	15,1	12,3	11,1	11,8
3	1,05	3,19	14,4	9,08	5,88	12
4	7,69	11,8	10,9	9,27	8,51	8,21
5	2,47	5,42	12,7	13,2	7,99	9,18
6	0,74	2,35	11,9	11,5	6,09	6,42
7	1,36	3,13	5,46	12,7	9,58	7,02
8	0,63	2,35	10,6	6,97	10,7	4,23
9	0,63	2,32	12,6	6,41	9,78	10,7
Point	Magnetic field magnitude 10 ⁻² A/m					
	33 MHz	80 MHz	150 MHz	450 MHz	800 MHz	1 000 MHz
1	2,40	1,71	2,82	1,89	3,05	1,50
2	1,31	1,19	2,32	2,57	2,43	1,45
3	0,71	0,90	3,10	2,10	1,01	1,26
4	3,83	4,15	3,80	2,68	1,22	2,97
5	1,56	1,78	2,39	3,33	1,05	1,49
6	0,72	0,98	2,93	3,34	1,88	1,23
7	0,53	0,84	2,21	2,22	3,41	0,92
8	0,45	0,52	2,37	2,44	0,81	3,24
9	0,39	0,49	3,16	2,55	1,48	1,69

The validation shall be considered successful if the deviation computed according to Formula (5) in 7.2.3 using the reference results in Table 15 is less than 45 %. This maximum allowed deviation represents the observed variation of the values produced by different codes at a given location relative to their means, which is the reference value in Table 15 for that location.

NOTE The practically achievable deviation of SAR from the target values defined for the passenger benchmark simulation model in 8.3 does not exceed 20 %, which is much smaller than the deviation of the electric and magnetic field values computed inside the unloaded vehicle model as described in 6.3.3.

7 Computational uncertainty

7.1 General considerations

Similar to any experimental methods, the SAR computational procedure has a level of uncertainty associated with numerical exposure evaluation in specific exposure conditions described in this document and with the approximate numerical representation of the antennas. To minimize the uncertainty, 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:—. This validation is usually done by the software vendor. For the purpose of SAR evaluations with vehicle mounted antennas, not all validation tests described in IEC/IEEE 62704-1:— are required. In particular, 8.3.3 and 8.3.4 of IEC/IEEE 62704-1:— may

be excluded since they are specifically defined for the exposure simulations of portable transmitters, i.e. those transmitters which are intended to operate within 200 mm of the body.

Specific validation tests developed for the bystander and passenger exposure evaluations are defined in Clause 6. These validation tests shall be performed at the frequencies within or closest to the operating band(s) of antenna for which numerical SAR evaluation is required and the results shall be reported.

7.2 Contributors to overall numerical uncertainty in standard test configurations

7.2.1 General

The validation test procedures described in Clause 6 are used to evaluate the overall uncertainty of SAR simulations in standard test configurations as defined in this document by assessing the uncertainty contributions from various components of the numerical model. In particular the computational and modelling uncertainties are divided into the following categories.

- a) uncertainty of the numerical algorithm;
- b) uncertainty of the numerical representation of the antenna model;
- c) uncertainty of the numerical representation of the standard vehicle and ground models;
- d) uncertainty of SAR evaluation in the standard bystander and passenger models.

Initially, the physical model of the antenna and the vehicle described in Clause 5 are numerically represented by a CAD model. The CAD model is then numerically rendered in the simulation grid. Two uncertainty contributions can be separated and evaluated individually. The first one is the uncertainty of the numerical representation of the vehicle CAD model together with pavement modelling using a quarter wave antenna with the length defined in Table 12. The second one is the uncertainty of antenna modelling used in actual exposure simulation.

7.2.2 Uncertainty of the numerical algorithm

The uncertainty of the numerical algorithm shall be evaluated according to Table 3 in IEC/IEEE 62704-1:—. However, the mesh resolution (device rendering) contribution shall be excluded from this evaluation since it is already accounted for as described in 7.2.3 and 7.2.4. The combined standard uncertainty from Table 3 of IEC/IEEE 62704-1:— that excludes the mesh resolution contribution shall be entered directly in column *g* of Table 16.

7.2.3 Uncertainty of the numerical representation of the vehicle and pavement

The standardized vehicle model is predefined and therefore the uncertainty of its numerical representation can be evaluated *a priori*. The metal body of the vehicle model together with the specific ground model can have a major impact on the EM field distribution inside and outside of the vehicle where the exposure is evaluated. Uncertainty of the SAR simulations related to the numerical representation of the vehicle model and ground can be evaluated according to 6.3 using a quarter wave antenna mounted on the vehicle in the predefined location. To this end the uncertainty due to numerical modelling of the vehicle and ground shall be evaluated based on the reference results computed for the standard vehicle model as described in 6.3 and the corresponding results computed with the numerical tool employed. This uncertainty contribution shall be evaluated separately for the bystander and passenger exposure conditions. The procedure requires computation of the electric and magnetic field amplitudes in a number of reference test points P_i described in Table 13 for bystander (exposure outside the vehicle) and Table 14 and Table 15 for passenger (exposure inside the vehicle).

For the 1 g and 10 g peak spatial-average SAR the uncertainty is based on maximum deviation of the computed squares of the electric and magnetic field amplitudes from the respective reference values. This maximum deviation for each validation shall be computed as follows:

$$SAR_{\text{vehicle_uncert}}^{1\text{-g},10\text{-g}}[\%] = 100 \times MAX_{i=1}^N \left(\frac{|E_{\text{ref}}^2(P_i) - E_{\text{num}}^2(P_i)|}{E_{\text{ref max}}^2(P_n)}, \frac{|H_{\text{ref}}^2(P_i) - H_{\text{num}}^2(P_i)|}{H_{\text{ref max}}^2(P_n)} \right) \quad (5)$$

The uncertainty contribution for the whole-body average SAR is based on the combined contribution of the computed deviations for all test points from the respective reference values. This combined deviation for each validation shall be computed as follows:

$$SAR_{\text{vehicle_uncert}}^{\text{WB}}[\%] = 100 \times MAX \left(\sqrt{\frac{\sum_i |E_{\text{ref}}^2(P_i) - E_{\text{num}}^2(P_i)|^2}{\sum_i |E_{\text{ref}}^2(P_i)|^2}}, \sqrt{\frac{\sum_i |H_{\text{ref}}^2(P_i) - H_{\text{num}}^2(P_i)|^2}{\sum_i |H_{\text{ref}}^2(P_i)|^2}} \right) \quad (6)$$

where

- $E_{\text{ref}}(P_i)$ is the reference magnitude of the electric field evaluated at the test point P_i ;
- $H_{\text{ref}}(P_i)$ is the reference magnitude of the magnetic field evaluated at the test point P_i ;
- $E_{\text{ref max}}(P_n)$ is the maximum electric field reference magnitude across all the evaluated test points P_i , which occurs for some $i = n$;
- $H_{\text{ref max}}(P_n)$ is the maximum magnetic field reference magnitude across all the evaluated test points P_i , which occurs for some $i = n$;
- $E_{\text{num}}(P_i)$ is the magnitude of the electric field numerically determined at the test point P_i using the numerical code;
- $H_{\text{num}}(P_i)$ is the magnitude of the magnetic field numerically determined at the test point P_i using the numerical code;
- MAX is the operator that selects the maximum value of the data set in parentheses.

The highest deviations computed according to Formulas (5) and (6) are entered in column c of Table 16. The standard uncertainty contributions are computed from these deviations as prescribed in column g of Table 16 and entered therein.

7.2.4 Uncertainty of the antenna model

Unlike the standard vehicle model, the vehicle mounted antenna can vary from product to product ranging from simple wire monopole radiators to more complex structures including the monopoles with reactive coils, etc. Different antenna types may also be supplied with the same mobile radio product and need to be evaluated for compliance individually. Most mobile radio antennas are typically mounted on the metal body of the vehicle. To operate properly they rely on the ground plane in the vicinity of the mounting location (e.g. trunk or roof mounting locations which are described in this document). To assess the uncertainty of the antenna modelling, a similar operating condition shall be created that allows reliable and accurate evaluation of the near-field produced by the transmitting antenna. For the antennas that shall be mounted on the metal ground plane, the reference condition applicable for uncertainty assessment of antenna numerical modelling shall be the setup described in 6.1 and the reference electric and magnetic field values shall be determined at all test points P_i according to 6.1.2 or 6.1.3. The uncertainty components shall be computed based on maximum deviation of the numerical values simulated for the antenna model from the corresponding reference values as follows:

$$SAR_{\text{DUT_uncertainty}}[\%] = 100 \times MAX_{i=1}^N \left(\frac{|E_{\text{ref}}^2(P_i) - E_{\text{num}}^2(P_i)|}{E_{\text{ref max}}^2(P_n)}, \frac{|H_{\text{ref}}^2(P_i) - H_{\text{num}}^2(P_i)|}{H_{\text{ref max}}^2(P_n)} \right) \quad (7)$$

where

- $E_{\text{ref}}(P_i)$ is the reference magnitude of the electric field evaluated at the test point P_i ;
- $H_{\text{ref}}(P_i)$ is the reference magnitude of the magnetic field evaluated at the test point P_i ;
- $E_{\text{num}}(P_i)$ is the numerically determined magnitude of the electric field evaluated at the test point P_i ;
- $H_{\text{num}}(P_i)$ is the numerically determined magnitude of the magnetic field evaluated at the test point P_i ;
- $E_{\text{ref max}}(P_n)$ is the maximum electric field reference magnitude across all the evaluated test points P_i , which occurs for some $i = n$;
- $H_{\text{ref max}}(P_n)$ is the maximum magnetic field reference magnitude across all the evaluated test points P_i , which occurs for some $i = n$;
- MAX is the operator that selects the maximum value of the data set in parentheses.

The maximum deviation computed according to Formula (7) is entered in column c of Table 16. The standard uncertainty contribution is computed from this deviation as prescribed in column g of Table 16 and entered therein.

NOTE If the simulated antennas are straight wire monopoles similar to those described in 6.3 which are used for the vehicle numerical model validation, then no additional uncertainty contribution is required as it is already included in the results evaluated according to 7.2.3.

7.2.5 Uncertainty of SAR evaluation in the standard bystander and passenger models

The uncertainty contribution associated with the representation of the standard bystander and passenger models in the FDTD grid and SAR calculations for those models is evaluated based on the plane wave exposure conditions defined in 6.2. The standard human body models shall be rendered in the FDTD grid with the 3 mm resolution required by this document that will be used for actual compliance exposure simulations from vehicle mounted antennas. The assessment shall be performed separately for bystander and passenger model. The details of the exposure conditions are defined in 6.2. The SAR uncertainty contribution is determined based on deviations of the computed peak spatial-average SAR values for 1 g, 10 g, and/or whole-body average SAR from the corresponding reference SAR values provided in Table 10 and Table 11 for bystander and passenger models, respectively. The relative deviations shall be computed for all exposure conditions defined in 6.2 as:

$$SAR_{\text{uncertainty}}^{\text{body_model}} [\%] = 100 \times \left| \frac{SAR_{\text{ref}} - SAR_{\text{num}}}{SAR_{\text{ref}}} \right| \quad (8)$$

where

- SAR_{ref} is the reference peak spatial-average SAR for 1 g, peak spatial-average SAR for 10 g or whole-body average SAR values;
- SAR_{num} is a peak spatial-average SAR for 1 g, peak spatial-average SAR for 10 g or whole-body average SAR values determined using the numerical code.

The maximum deviation computed according to Formula (8) for the peak spatial-average SAR for 1 g and/or 10 g and the whole-body average SAR are entered in column c of Table 16. The standard uncertainty contributions are computed from these deviations as prescribed in column g of Table 16 and entered therein.

7.3 Uncertainty budget

The overall uncertainty budget shall be reported and described according to Table 16.

**Table 16 – Numerical uncertainty budget for exposure simulations
with vehicle mounted antennas and bystander and/or passenger models**

<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>c</i> × <i>f</i> / <i>e</i>			<i>h</i>
Uncertainty component	Reference	Deviation/ uncertainty			Prob. dist.	Div.	<i>c_i</i>	Standard uncertainty			<i>v_{eff}</i>
		1 g ± %	10 g ± %	WB ± %				1 g ± %	10 g ± %	WB ± %	
Numerical algorithm	7.2.2	–	–	–	–	–	–				–
Numerical model of the vehicle	7.2.3				R	√3	1				∞
Numerical model of antenna	7.2.4				R	√3	1				∞
SAR evaluation in the standard human body model	7.2.5				R	√3	1				∞
Combined standard uncertainty					RSS						∞
Expanded uncertainty					<i>k</i> = 2						
NOTE 1 Column headings <i>a</i> to <i>h</i> are given for reference. NOTE 2 Abbreviations used in this table: a) Div. — divisor used to get standard uncertainty. It is a function of probability distribution reported in column <i>d</i>, and degrees of freedom <i>v_{eff}</i>, reported in column <i>h</i>; b) 1 g, 10 g, and WB — uncertainty components of the peak spatial average SAR for 1 g and 10 g, and the whole-body average SAR, respectively; c) R — rectangular probability distributions; d) <i>k</i> — coverage factor; e) <i>c_i</i> — sensitivity coefficient. The sensitivity coefficient <i>c_i</i> is applied to convert each uncertainty component into the corresponding standard uncertainty for the SAR.											

The standard vehicle model and human body model validation results were independently generated using up to five different numerical codes according to the description in 6.2 and 6.3. Based on these results, the maximum combined uncertainty contribution is less than 46 % for the passenger and 32 % for the bystander exposure conditions, respectively. The combined standard uncertainty of the numerical SAR results will be increased by the uncertainty contribution of the antenna model when such contribution is separately required for evaluation according to 6.1. Lower uncertainty may be achieved based on the specific implementation of the recommended procedures. For example, the observed SAR deviation for the benchmark model simulations described in Clause 8 which were independently computed using three different numerical codes compliant with IEC/IEEE 62704-1 requirements, was less than 17 % for the bystander and 20 % for the passenger exposures from the respective target values defined in 8.2 and 8.3.

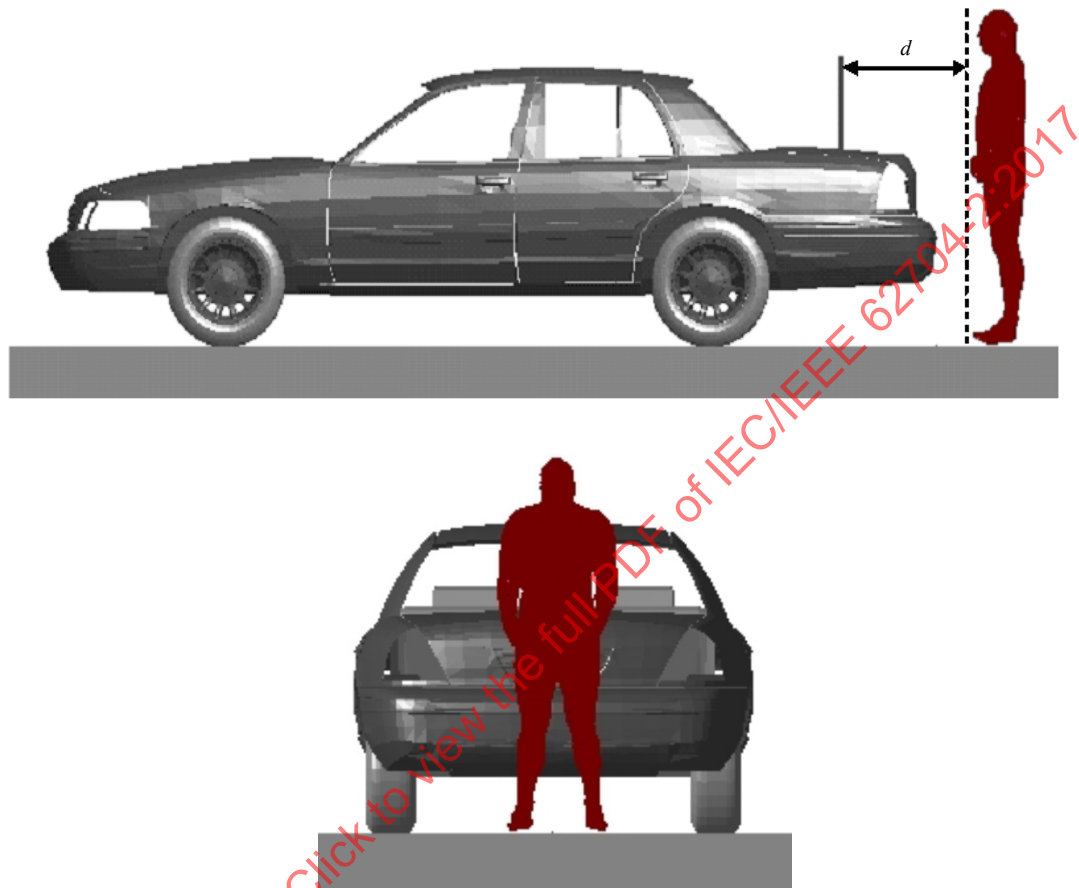
8 Benchmark simulation models

8.1 General

The benchmark models defined in Clause 8 are required to assess the validity of SAR calculations for bystander and passenger exposure conditions corresponding to standard simulation configurations. The standard vehicle model with a monopole antenna mounted on the trunk is used with the standard passenger or bystander model in the benchmark simulations. The simulations shall be performed using codes validated according to the code validation procedures defined in IEC/IEEE 62704-1.

8.2 Benchmark for bystander exposure simulations

The configuration for bystander exposure includes the standard vehicle model with a trunk mount monopole antenna. The standard bystander model is positioned behind the vehicle at a distance $d = 1,0$ m from the antenna as shown in Figure 10. The antenna lengths for specific operating frequencies defined in Table 12 shall be used for the benchmark simulations.



IEC

Figure 10 – Side view (top) and rear view (bottom) benchmark validation configuration for bystander and trunk mount antenna

The distance d between the antenna and the bystander is defined as a distance projected onto the ground (see Figure 10), which corresponds to the distance between the two nearest vertical lines touching the antenna and the nearest point on the bystander model respectively. The simulations shall be performed with the bystander model facing the vehicle. All other conditions and parameters for the benchmark simulation shall be set according to the requirements of this document.

The bystander and vehicle models in this document are defined separately in their own coordinate systems. The correct position of the bystander in these benchmark configurations is defined by the coordinates of its bounding box corner nearest to the front of the right foot in the model. The coordinates of this corner shall be (–291, 424, 10) mm relative to the vehicle coordinate system which also corresponds to the coordinates (3, 596, 931) mm of the bystander bounding box centre (see the details of the bystander model in Annex A).

The benchmark test configurations shall be simulated only at frequencies identified in Table 12 that are closest to the actual compliance exposure simulation frequencies. The antenna corresponding to the benchmark test frequency shall be placed at the centre of the trunk along the vehicle symmetry line. For the standard vehicle model, the centre of the trunk

is 37 cm from the trunk edge at the rear window, which corresponds to (0, -575, 1 080) mm relative to the vehicle coordinate system.

The 3-mm resolution standard bystander model shall be used in the benchmark simulation to compute 1 g and 10 g peak spatial-average SAR and the whole-body average SAR. The SAR results shall be normalized to 1 W average power emitted by the antenna and compared with the corresponding reference data in Table 17. To pass this benchmark test the computed SAR values shall be within the expanded uncertainty determined in Table 16 when compared with the corresponding reference value in Table 17. In addition, the peak spatial-average SAR locations for each frequency are provided in Annex C for reference.

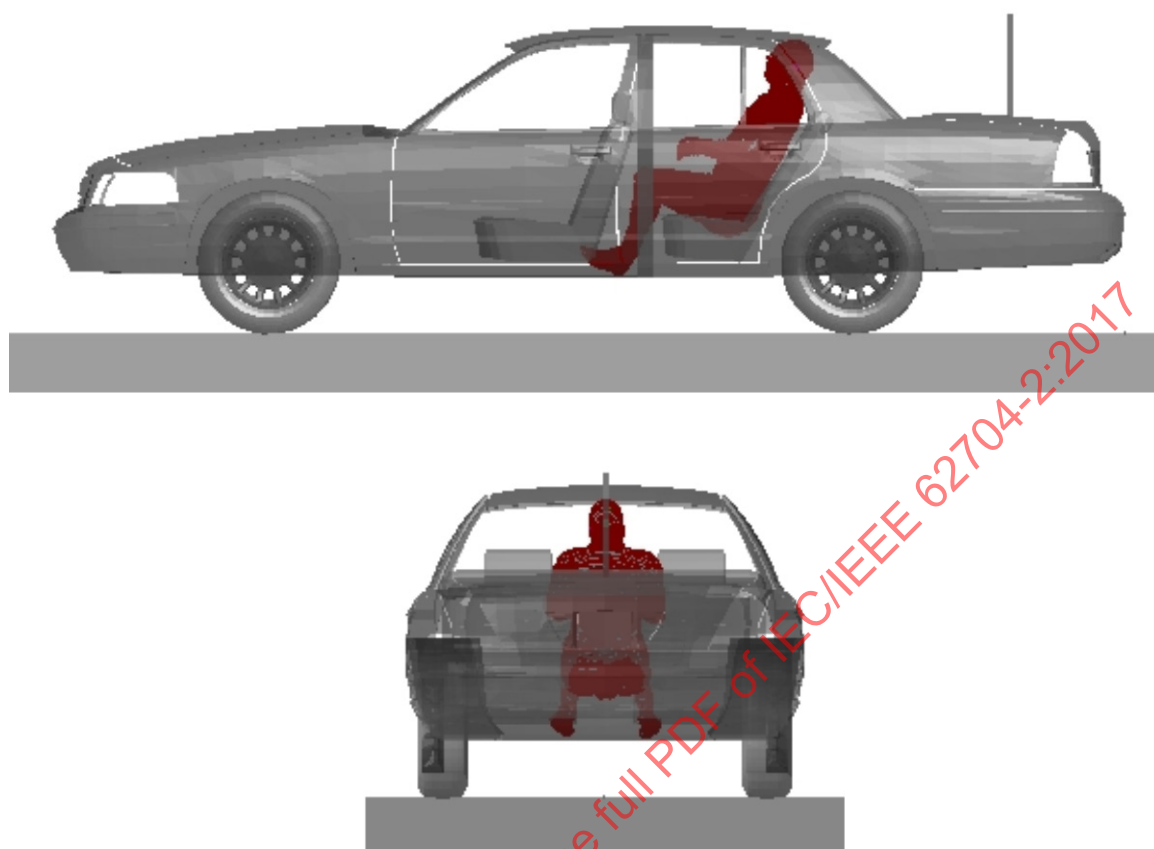
Table 17 – Reference SAR values for the bystander benchmark validation model

Frequency MHz	1 g peak spatial-average SAR W/kg	10 g peak spatial-average SAR W/kg	Whole-body average SAR W/kg
33	7,14E-03	4,38E-03	1,58E-04
80	3,43E-02	2,23E-02	8,57E-04
150	4,96E-03	4,20E-03	2,94E-04
450	6,05E-03	4,76E-03	2,43E-04
800	2,62E-02	1,18E-02	3,68E-04
1 000	4,91E-02	2,15E-02	3,90E-04

8.3 Benchmark for passenger exposure simulations

The configuration for passenger exposure includes the standard vehicle model with a trunk mount monopole antenna. The standard passenger model is positioned in the centre of the back seat as shown in Figure 11.

The passenger and vehicle models in this document are defined separately in their own coordinate systems. The correct position of the passenger in these benchmark configurations is defined by the coordinates of its bounding box corner nearest to the right foot of the model. The coordinates of this corner shall be (-291, -2 726, 284) mm relative to the vehicle coordinate system which also corresponds to the coordinates (3, -2 145,5, 872) mm of the bystander bounding box centre (see the details of the passenger model in Annex A).



IEC

Figure 11 – Benchmark validation configuration for passenger and trunk mount antenna

The antenna lengths for specific operating frequencies defined in Table 12 shall be used for benchmark simulations. The benchmark test configurations shall be simulated only at frequencies identified in Table 12 that are closest to the actual compliance exposure simulation frequencies.

Table 18 – Reference SAR values for the passenger benchmark validation model

Frequency MHz	1 g peak spatial-average SAR W/kg	10 g peak spatial-average SAR W/kg	Whole-body average SAR W/kg
33	1,65E-04	9,89E-05	6,69E-06
80	9,14E-03	5,64E-03	1,69E-04
150	3,10E-02	1,88E-02	1,42E-03
450	1,38E-02	9,24E-03	5,46E-04
800	1,75E-02	1,33E-02	3,58E-04
1 000	9,98E-03	7,34E-03	2,60E-04

The antenna shall be placed at the centre of the trunk along the vehicle symmetry line. For the standard vehicle model the centre of the trunk is 37 cm from the trunk edge at the rear window, which corresponds to (0, -575, 1 080) mm relative to the vehicle coordinate system.

The 3-mm resolution standard passenger model shall be used for the benchmark simulation to compute 1 g and 10 g peak spatial-average SAR and the whole-body average SAR. The SAR

results shall be normalized to 1 W average power transmitted by the antenna and compared with the corresponding reference data in Table 18. To pass this benchmark test, the computed SAR values shall be within the expanded uncertainty determined in Table 16 when compared with the corresponding reference values in Table 18. In addition, the peak spatial-average SAR locations for each frequency are provided in Annex C for reference.

9 Documenting SAR simulation results

9.1 General

The SAR results computed according to this document shall be reported for all simulated configurations, including those not producing the highest peak spatial-average or whole-body average SAR values. In addition, relevant information on the simulated configurations and antenna modelling shall be included in the report. Clause 9 provides a summary of the recommended procedures for documenting numerical SAR evaluations for vehicle mounted antennas.

9.2 Test device

At the minimum, descriptions of the test device (mobile radio) shall include: operating frequency band, maximum transmit power, applicable duty cycle and descriptions of the antenna geometry and location on the vehicle.

9.3 Simulated configurations

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

- a) transmit frequency,
- b) model name of the antenna (or antenna kit number),
- c) detailed specifications of the antenna (e.g. antenna type and length, etc.),
- d) location of the antenna on the vehicle,
- e) exposure condition (bystander or passenger), and
- f) exposure location details (bystander separation from the antenna or passenger location inside the vehicle).

9.4 Software and standard model validation

A description of the software used for the simulations shall be included in the report. This information includes the name and version of the software. Compliance of the software with requirements of this document and IEC/IEEE 62704-1 shall be documented including all applicable validation test results required by this document. Evidence of the standard vehicle and standard human models validation according to the procedures specified in this document shall be documented as well.

9.5 Antenna numerical model validation

Results of the antenna modelling validation shall be reported including the reference results for the antenna and deviations of the simulated results from the reference data described in 6.1 and 7.2.4. If required, additional results can be derived from simulations, such as comparing measured and simulated return loss often requested by regulatory bodies to support the antenna model validation.

9.6 Results of the benchmark simulation models

Results of the benchmark simulations for the applicable passenger and/or bystander exposure configurations at applicable frequencies shall be reported, including deviations of the results from the reference data as described in Clause 8.

9.7 Simulation uncertainty

The computational and modelling uncertainty evaluated according to Clause 7 and Table 16 shall be provided in the report. A description of the minimum and maximum mesh resolution and absorbing boundary conditions of the computational domain shall be provided as well. Depending on the simulation uncertainty, regulatory bodies may have additional requirements for accepting the results.

9.8 SAR results

The applicable 1 g and/or 10 g peak spatial-average SAR and whole-body average SAR results for all simulated configurations shall be reported including details of the simulation configurations described in 9.3, to clearly associate individual SAR results with the respective configurations. In addition, the SAR results shall be scaled according to the adjustment factors described in 5.6. The scaled values shall be reported alongside the original (non-scaled) SAR values.

The maximum scaled peak spatial-average SAR and the maximum scaled whole-body average SAR from all simulated conditions shall be clearly identified in the report. SAR distribution plots for the maximum scaled peak spatial-average SAR configuration shall be provided in a 2D colour map format. This plot shall correspond to the cross section of the human model (sagittal or coronal) containing the peak spatial-average SAR location. If the peak SAR location cannot be illustrated clearly with a single plot, multiple cross sections shall be used. In addition, electric and magnetic field distributions in the cross section aligned with the antenna shall be provided in the report.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC/IEEE 62704-2:2017

Annex A (normative)

File format and description of the standard human body models

A.1 File format

The bystander and passenger models are each described by two files: one file for the raw data which identifies each tissue type with an RGB colour index, and another that contains information about the number of voxels and mapping of RGB colour indices to tissue types. The raw data file is described with a *.raw.gz ending to indicate that it is a raw data file in a compressed binary format. The information file has a *.mmf extension signifying it is a metafile that describes the raw data file format. Both files are needed to interpret the data.

The raw data file is in binary format. The tissue type present at every voxel location in a three-dimensional volume is identified by a single RGB colour index. The volume containing the voxel for each human model is written in a triple-nested loop with “x” values on the inner loop, “y” values in the middle, and “z” values on the outer loop. An example C-language code fragment for reading the raw data is shown below.

```
For (k=0;k<nzfile;k++)
For (j=0;j<nyfile;j++)
For (i=0;i<nxfile;i++)
byte=getc(fin);
```

The values “nxfile”, “nyfile”, and “nzfile” represent the limits of the volume in the x, y, and z dimensions, respectively.

The metafile (*.mmf) contains text information that describes the values for the three-dimensional limits of the space (in terms of voxel count), the sampling size of each voxel (for example, 3 mm), and the table of tissue types presented by the RGB colour indices stored in the raw data file. An excerpt from the bystander file is shown below.

```
<!DOCTYPE TissueMeshData SYSTEM "TissueMeshData.dtd">
<TissueMeshData FileName="bystander_3mm_positioned.raw.gz" DataType="Raw" Name="AF 'man'
Mesh- 3mm" Format="0">
  <MeshData XCount="196" YCount="114" ZCount="614" >
    <Resolution X="3.000000" Y="3.000000" Z="3.000000" Units="mm" />
  </MeshData>
  <TissueData Count="39" >
    <Tissue Name="bile" Value="2" Visible="Yes" Color="4718592"
Density="1010.000000" VoxelCount="711" UserData="17" Priority="10" />
  ...
</TissueData>
</TissueMeshData>
```

The second line of the file beginning with “TissueMeshData” contains entries for the file name, the data format (which is “Raw” for all standard human body model files), a text name string to describe the data, and a file format option (which is always “0” for standard human body model files).

The third line beginning with “MeshData” describes the extents of the three-dimensional space in voxels. These are variables identical to the “nxfile”, “nyfile”, and “nzfile” values in the code excerpt shown for the raw data file. Following this line is a description of the resolution of the

voxels in each dimension and the units. In the sample here, the voxels for both bystander and passenger models are cubical, (3 × 3 × 3) mm. The values for the voxel counts in each direction for all data files are given in Table A.1.

Following this is a count of the number of tissues in the file and lines describing each tissue type. Only the first tissue (bile) is shown in the excerpt above. There are numerous values shown in the tissue description, but the only important ones are the “Name” and “Value” which give the mapping of tissue types and RGB colour indices. The other values in the list may be ignored for the purposes of this document. The complete mapping of all tissues present in the bystander and passenger files is given in Table A.2. The dielectric properties of tissues shall be set in accordance with Table A.3 and are not included in the *.mmf metafile.

Table A.1 – Voxel counts in each data file

Voxel size	Bystander model			Passenger model		
	X	Y	Z	X	Y	Z
3 mm	196	114	614	196	387	392
NOTE The values for X, Y, and Z indicate the number of voxels present in the binary data files in each direction.						

Table A.2 – Tissues and the associated RGB colours in the binary data file

Tissue	RGB value	Tissue	RGB value
bile	2	ligaments	142
body fluid	3	skin	143
eye cornea	4	large intestine	148
fat	5	tooth	152
lymph	6	grey matter	160
mucous membrane	7	eye lens	163
toe and finger nails	8	outer lung	164
nerve spine	11	small intestine	168
muscle	17	eye sclera	183
heart	25	inner lung	184
white matter	30	pancreas	188
stomach	48	blood	189
glands	49	cerebrospinal fluid	190
blood vessel	65	eye vitreous humour	204
liver	68	kidneys	207
gall bladder	88	bone marrow	209
spleen	108	bladder	227
cerebellum	110	testicles	228
cortical bone	111	cancellous bone	253
cartilage	133		
NOTE Voxels outside the body region contain RGB values of 0.			

A.2 Tissue parameters

Dielectric tissue parameters are defined based on the Cole–Cole model [4]. The list of Cole–Cole parameters is provided in Table A.3. These parameters are applicable for the full frequency range covered by this document and can be used to compute the complex dielectric constant using the following formula:

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_{\infty} + \sum_{m=1}^4 \frac{\Delta\varepsilon_m}{1 + (j\omega\tau_m)^{(1-\alpha_m)}} + \sigma / j\omega\varepsilon_0 \quad (\text{A.1})$$

where

ε_0 is the permittivity of free space;

ω is the angular frequency.

For reference purposes and to verify that the Cole–Cole model is implemented correctly, values of dielectric constant and conductivity of all tissues at several frequencies are provided in Table A.4.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC/IEEE 62704-2:2017

Table A.3 – Cole–Cole parameters and density for the standard human body model tissues (1 of 2)

#	Tissue label(s)	ε_{∞}	$\Delta\varepsilon_1$	τ_1 (ps)	α_1	$\Delta\varepsilon_2$	τ_2 (ns)	α_2	σ	$\Delta\varepsilon_3$	τ_3 (μ s)	α_3	$\Delta\varepsilon_4$	τ_4 (ms)	α_4	Density kg/m ³
2	bile	4	66	7,579	0,05	50	1,592	0	1,4	0	159,155	0,2	0	15,915	0,2	928
3	body_fluid	4	56	8,377	0,1	5 200	132,629	0,1	0,7	0	159,155	0,2	0	15,915	0	1 050
4	eye_cornea	4	48	7,958	0,1	4 000	159,155	0,05	0,4	1,00E+05	15,915	0,2	4,00E+07	15,915	0	1 051
5	fat	2,5	9	7,958	0,2	35	15,915	0,1	0,035	33 000	159,155	0,05	1,00E+07	15,915	0,01	911
6	lymph	4	55	7,958	0,1	2 500	159,155	0,1	0,5	100 000	159,155	0,2	4,00E+07	15,915	0	1 035
7	mucous_membrane	4	39	7,958	0,1	280	79,577	0	0,000 4	30 000	1,592	0,16	3,00E+04	1,592	0,2	1 102
8	toe_and_finger_nails	2,5	10	13,263	0,2	180	79,577	0,2	0,02	5,00E+03	159,155	0,2	1,00E+05	15,915	0	1 908
9	nerve_spine	4	26	7,958	0,1	500	106,103	0,15	0,006	7,00E+04	15,915	0,2	4,00E+07	15,915	0	1 075
10	muscle	4	50	7,234	0,1	7 000	353,678	0,1	0,2	1,20E+06	318,310	0,1	2,50E+07	2,274	0	1 090
11	heart	4	50	7,958	0,1	1 200	159,155	0,05	0,05	4,50E+05	72,343	0,22	2,50E+07	4,547	0	1 081
12	white_matter	4	32	7,958	0,1	100	7,958	0,1	0,02	4,00E+04	53,052	0,3	3,50E+07	7,958	0,02	1 041
13	stomach	4	60	7,958	0,1	2 000	79,577	0,1	0,05	1,00E+05	159,155	0,2	4,00E+07	15,915	0	1 088
14	glands	4	55	7,958	0,1	2 500	159,155	0,1	0,5	100 000	159,155	0,2	4,00E+07	15,915	0	1 028
15	blood_vessel	4	56	8,377	0,1	5 200	132,629	0,1	0,7	0	159,155	0,2	0	15,915	0	1 102
16	liver	4	39	8,842	0,1	6 000	530,516	0,2	0,02	5,00E+04	22,736	0,2	3,00E+07	15,915	0,05	1 079
17	gall_bladder	4	55	7,579	0,05	40	1,592	0	0,9	1,00E+03	159,155	0,2	1,00E+04	15,915	0	1 071
18	spleen	4	48	7,958	0,1	2 500	63,662	0,15	0,03	200 000	265,258	0,25	5,00E+07	6,366	0	1 089
19	cerebellum	4	40	7,958	0,1	700	15,915	0,15	0,04	2,00E+05	106,103	0,22	4,50E+07	5,305	0	1 045
20	cortical_bone	2,5	10	13,263	0,2	180	79,577	0,2	0,02	5,00E+03	159,155	0,2	1,00E+05	15,915	0	1 908
21	cartilage	4	38	13,263	0,15	2 500	144,686	0,15	0,15	1,00E+05	318,310	0,1	4,00E+07	15,915	0	1 100
22	ligaments	4	42	12,243	0,1	60	6,366	0,1	0,25	6,00E+04	318,310	0,22	2,00E+07	1,326	0	1 142
23	skin	4	32	7,234	0	1 100	32,481	0,2	0,000 2	0	159,155	0,2	0	15,915	0,2	1 109
24	large_intestine	4	50	7,958	0,1	3 000	159,155	0,2	0,01	1,00E+05	159,155	0,2	4,00E+07	1,592	0	1 088
25	tooth	2,5	10	13,263	0,2	180	79,577	0,2	0,02	5 000	159,155	0,2	1,00E+05	15,915	0	2 180

Table A.3 (2 of 2)

#	Tissue label(s)	ε_{∞}	$\Delta\varepsilon_1$	τ_1 (ps)	α_1	$\Delta\varepsilon_2$	τ_2 (ns)	α_2	σ	$\Delta\varepsilon_3$	τ_3 (μ s)	α_3	$\Delta\varepsilon_4$	τ_4 (ms)	α_4	Density kg/m ³
26	grey_matter	4	45	7,958	0,1	400	15,915	0,15	0,02	2,00E+05	106,103	0,22	4,50E+07	5,305	0	1 045
27	eye_lens	3	32	8,842	0,1	100	10,610	0,2	0,2	1 000	15,915	0,2	5,00E+03	15,915	0	1 076
28	outer_lung	4	45	7,958	0,1	1 000	159,155	0,1	0,2	500 000	159,155	0,2	1,00E+07	15,915	0	1 050
29	small_intestine	4	50	7,958	0,1	10 000	159,155	0,1	0,5	5,00E+05	159,155	0,2	4,00E+07	15,915	0	1 030
30	eye_sclera	4	50	7,958	0,1	4 000	159,155	0,1	0,5	1,00E+05	159,155	0,2	5,00E+06	15,915	0	1 032
31	inner_lung	2,5	18	7,958	0,1	500	63,662	0,1	0,03	250 000	159,155	0,2	4,00E+07	7,958	0	394
32	pancreas	4	55	7,958	0,1	2 500	159,155	0,1	0,5	100 000	159,155	0,2	4,00E+07	15,915	0	1 087
33	blood	4	56	8,377	0,1	5 200	132,629	0,1	0,7	0	159,155	0,2	0	15,915	0	1 050
34	cerebro_spinal_fluid	4	65	7,958	0,1	40	1,592	0	2	0	159,155	0	0	15,915	0	1 007
35	eye_vitreoushumor	4	65	7,234	0	30	159,155	0,1	1,5	0	159,155	0	0	15,915	0	1 005
36	kidneys	4	47	7,958	0,1	3 500	198,944	0,22	0,06	2,50E+05	79,577	0,22	3,00E+07	4,547	0	1 066
37	bone_marrow	2,5	9	14,469	0,2	80	15,915	0,1	0,1	10 000	1591,549	0,1	2,00E+06	15,915	0,1	1 029
38	bladder	2,5	16	8,842	0,1	400	159,155	0,1	0,2	1,00E+05	159,155	0,2	1,00E+07	15,915	0	1 086
39	testicles	4	55	7,958	0,1	5 000	159,155	0,1	0,4	1,00E+05	159,155	0,2	4,00E+07	15,915	0	1 082
40	cancellous_bone	2,5	18	13,263	0,22	300	79,577	0,25	0,07	2,00E+04	159,155	0,2	2,00E+07	15,915	0	1 178

Table A.4 – Relative dielectric constant and conductivity for the standard human body model at selected reference frequencies (1 of 2)

#	Tissue label	30 MHz		75 MHz		150 MHz		300 MHz		450 MHz		800 MHz		1 000 MHz	
		ε	σ (S/m)	ε	σ (S/m)	ε	σ (S/m)	ε	σ (S/m)	ε	σ (S/m)	ε	σ (S/m)	ε	σ (S/m)
2	bile	115,9	1,42	102,0	1,50	85,3	1,60	74,9	1,67	72,2	1,71	70,4	1,80	70,0	1,88
3	body_fluid	119,5	1,16	82,5	1,22	71,3	1,26	65,7	1,32	63,7	1,37	61,7	1,50	61,1	1,58
4	eye_cornea	121,8	0,95	82,8	1,01	69,0	1,07	61,4	1,15	58,5	1,21	55,7	1,35	54,8	1,44
5	fat	17,2	0,06	13,2	0,07	12,2	0,07	11,7	0,08	11,6	0,08	11,4	0,10	11,3	0,12
6	lymph	90,5	0,75	71,9	0,78	65,7	0,81	62,4	0,85	61,2	0,89	59,9	1,00	59,5	1,08
7	mucous_membrane	108,3	0,43	72,4	0,50	59,2	0,56	51,9	0,63	49,2	0,69	46,5	0,81	45,7	0,88
8	toe_and_finger_nails	20,9	0,05	16,1	0,06	14,4	0,07	13,4	0,08	13,0	0,10	12,6	0,13	12,4	0,16
9	nerve_spine	77,6	0,27	51,9	0,32	42,3	0,36	36,9	0,42	34,9	0,46	32,9	0,55	32,3	0,60
10	muscle	91,8	0,66	69,7	0,69	62,2	0,73	58,2	0,77	56,8	0,81	55,3	0,91	54,8	0,98
11	heart	150,4	0,60	100,3	0,70	80,7	0,79	69,3	0,90	65,0	0,99	60,6	1,18	59,3	1,28
12	white_matter	100,6	0,23	63,3	0,30	50,3	0,35	43,8	0,41	41,5	0,46	39,3	0,56	38,6	0,62
13	stomach	113,3	0,84	82,6	0,89	73,3	0,92	68,7	0,97	67,1	1,02	65,4	1,14	64,8	1,23
14	glands	90,5	0,75	71,9	0,78	65,7	0,81	62,4	0,85	61,2	0,89	59,9	1,00	59,5	1,08
15	blood_vessel	86,5	0,38	65,2	0,44	54,0	0,49	48,3	0,54	46,6	0,57	45,0	0,67	44,6	0,73
16	liver	113,5	0,39	76,0	0,46	61,7	0,53	53,5	0,61	50,4	0,67	47,3	0,81	46,4	0,90
17	gall_bladder	95,8	0,92	84,6	0,98	71,3	1,06	62,9	1,12	60,7	1,15	59,3	1,23	59,0	1,29
18	spleen	175,0	0,65	102,4	0,76	78,8	0,86	66,5	0,97	62,1	1,05	57,9	1,22	56,6	1,32
19	cerebellum	202,8	0,59	105,4	0,74	74,6	0,85	59,7	0,97	54,7	1,06	50,2	1,22	48,9	1,31
20	cortical_bone	20,9	0,05	16,1	0,06	14,4	0,07	13,4	0,08	13,0	0,10	12,6	0,13	12,4	0,16
21	cartilage	85,6	0,42	60,0	0,46	51,4	0,50	46,8	0,55	45,0	0,60	43,0	0,74	42,3	0,83

Table A.4 (2 of 2)

#	Tissue label	30 MHz		75 MHz		150 MHz		300 MHz		450 MHz		800 MHz		1 000 MHz	
		ε	σ (S/m)	ε	σ (S/m)	ε	σ (S/m)	ε	σ (S/m)	ε	σ (S/m)	ε	σ (S/m)	ε	σ (S/m)
22	ligaments	75,6	0,44	57,2	0,48	50,8	0,50	48,0	0,54	47,0	0,57	46,0	0,68	45,6	0,76
23	skin	152,9	0,34	84,3	0,46	61,5	0,54	49,8	0,64	45,8	0,71	42,0	0,83	40,9	0,90
24	large_intestine	132,9	0,57	89,5	0,65	73,8	0,72	65,0	0,81	61,7	0,88	58,5	1,03	57,5	1,13
25	tooth	20,9	0,05	16,1	0,06	14,4	0,07	13,4	0,08	13,0	0,10	12,6	0,13	12,4	0,16
26	grey_matter	152,6	0,42	90,3	0,53	70,1	0,60	60,0	0,69	56,6	0,76	53,3	0,90	52,3	0,99
27	eye_lens	65,6	0,26	48,2	0,29	41,7	0,32	38,4	0,35	37,2	0,38	36,0	0,46	35,7	0,51
28	outer_lung	98,9	0,49	72,0	0,54	61,9	0,59	56,2	0,65	54,0	0,70	51,8	0,82	51,1	0,90
29	small_intestine	188,1	1,49	109,5	1,61	83,4	1,72	69,8	1,84	64,9	1,93	60,2	2,11	58,9	2,22
30	eye_sclera	99,5	0,85	72,3	0,89	63,5	0,93	58,9	0,98	57,2	1,02	55,6	1,13	55,0	1,21
31	inner_lung	54,2	0,26	34,9	0,29	28,3	0,32	24,8	0,36	23,5	0,38	22,2	0,44	21,8	0,47
32	pancreas	90,5	0,75	71,9	0,78	65,7	0,81	62,4	0,85	61,2	0,89	59,9	1,00	59,5	1,08
33	blood	119,5	1,16	82,5	1,22	71,3	1,26	65,7	1,32	63,7	1,37	61,7	1,50	61,1	1,58
34	cerebro_spinal_fluid	105,7	2,02	94,5	2,08	81,2	2,16	72,7	2,22	70,5	2,26	68,9	2,37	68,4	2,46
35	eye_vitreoushumor	69,3	1,50	69,1	1,50	69,1	1,51	69,0	1,52	69,0	1,54	68,9	1,61	68,9	1,67
36	kidneys	176,9	0,64	110,4	0,77	85,0	0,88	70,5	1,02	65,0	1,13	59,6	1,33	57,9	1,45
37	bone_marrow	24,5	0,14	15,5	0,16	13,2	0,16	12,1	0,17	11,8	0,19	11,4	0,22	11,2	0,24
38	bladder	30,3	0,28	23,8	0,29	21,4	0,30	20,1	0,32	19,6	0,33	19,0	0,37	18,9	0,40
39	testicles	113,9	0,84	80,9	0,89	70,3	0,94	64,8	0,99	62,9	1,04	60,9	1,17	60,3	1,25
40	cancellous_bone	40,2	0,14	29,6	0,16	25,5	0,19	23,2	0,22	22,2	0,24	21,0	0,32	20,6	0,36

Annex B (informative)

Population coverage

The heterogeneous standard human body models of bystander and passenger were derived from the same original source model – the Visible Human model [1]. Since the anatomical composition of the standard model is fixed, the evaluation of exposure obtained with this model in relation to the exposure of other different human body models is required to properly account for possible variation of the whole-body average SAR and the peak spatial-average SAR for 1 g and 10 g that depend on the body parameters such as mass, height, age, and gender. The whole-body average SAR, especially, may be sensitive to the size of the body due to whole-body resonance effect. To this end different Virtual Family human body models [15] have been evaluated in the bystander and passenger configurations at selected frequencies as shown in Table B.1. The employed Virtual Family models represent quite a diverse population (different age, gender, mass, body mass index) and such a comparison provides a good estimate of the variation of exposure. The adjustment factors were conservatively derived by comparing the SAR results for the Virtual Family models with those computed using the heterogeneous standard human body model.

Exposures involving vertically polarized plane wave as well as trunk and roof mount antennas have been evaluated for the Virtual Family and standard human body models. Exposure simulations for both the bystander and the passenger configurations were performed with quarter wave vehicle mounted antennas [11]. For each configuration, six different size models [15] representing the 5, 6, 8, 11, 26, and 34 year old subjects were simulated and the SAR results were compared with those computed using the standard human body model in the same exposure conditions yielding the corresponding SAR ratios. These ratios and variations of the SAR results provided the basis for defining the SAR adjustment factors, which, when applied to the SAR computed in the standard test configuration, produce a conservative estimate of exposure applicable to all models included in the analysis, thus covering a very wide population range across age, gender and body parameters. The derived SAR adjustment factors, corresponding to the peak SAR ratios for each exposure configuration at each frequency, are summarized in Tables B.1 to B.8. As an additional informative detail the average adjustment factors for all different human body models in the corresponding exposure configurations were also computed. These average values are provided in parentheses alongside the peak factor values.

**Table B.1 – Whole-body average SAR adjustment factors
for the bystander model and trunk mount antenna**

Frequency MHz	Bystander distance from the trunk mount antenna			Plane wave
	80 cm	100 cm	120 cm	
30	1,0	1,0	1,0	1,0
50	1,3 (1,0)	1,3 (1,0)	1,4 (1,1)	1,4 (1,3)
75	1,7 (1,3)	2,0 (1,5)	2,2 (1,6)	2,3 (1,9)
100	2,5 (1,8)	2,5 (1,8)	2,5 (1,9)	3,5 (2,5)
150	1,9 (1,5)	1,9 (1,6)	2,5 (1,8)	4,5 (2,9)
300	2,1 (1,5)	2,6 (1,6)	2,6 (1,5)	2,6 (1,8)
450	1,4 (1,3)	1,3 (1,2)	1,5 (1,1)	2,0 (1,6)
800	1,0	1,0	1,0	1,0
1 000	1,0	1,0	1,0	1,0
NOTE The values at 30 MHz, 800 MHz, and 1 000 MHz in this table were derived by linearly extrapolating the available results from 50 MHz to 450 MHz and taking the maximum between the extrapolated value and unity.				

Table B.2 – Whole-body average SAR adjustment factors for the bystander model and roof mount antenna

Frequency MHz	Centre roof mount antenna		Side roof mount antenna	
	20 cm from the vehicle	40 cm from the vehicle	20 cm from the vehicle	40 cm from the vehicle
33	1,2 (1,0)	1,2 (1,0)	1,3 (0,9)	1,2 (1,0)
80	1,6 (0,9)	1,5 (0,9)	1,7 (1,1)	1,7 (1,3)
150	1,6 (0,9)	1,5 (1,0)	1,8 (1,5)	1,8 (1,5)
450	1,5 (0,9)	1,5 (1,1)	1,5 (1,3)	1,8 (1,5)
800	1,3 (0,8)	1,3 (0,9)	1,6 (1,3)	1,6 (1,3)
1 000	1,2 (0,7)	1,2 (0,8)	1,3 (1,0)	1,2 (1,1)
NOTE See also Table 3 for distances larger than 40 cm.				

Table B.3 – Whole-body average SAR adjustment factors for the passenger model and trunk mount antenna

Frequency MHz	Passenger location in the vehicle		
	Back seat, centre	Back seat, side	Front seat
33	1,0 (0,6)	1,0 (0,5)	1,2 (0,8)
80	1,4 (1,1)	1,0 (0,8)	7,1 (3,1)
150	2,4 (1,7)	3,0 (2,1)	2,0 (1,4)
450	2,8 (1,9)	2,6 (1,7)	2,6 (1,7)
800	2,2 (1,6)	1,9 (1,5)	2,4 (1,7)
1 000	1,9 (1,5)	1,7 (1,4)	2,2 (1,6)

Table B.4 – Whole-body average SAR adjustment factors for the passenger model and roof mount antenna

Frequency MHz	Centre roof mount antenna			Side roof mount antenna		
	Passenger location in the vehicle					
	Back seat, centre	Back seat, side	Front seat	Back seat, centre	Back seat, side	Front seat
33	1,8 (1,1)	1,0 (0,6)	1,3 (0,9)	1,4 (0,9)	1,1 (0,7)	1,3 (0,9)
80	1,0 (0,5)	1,3 (0,7)	8,2 (3,1)	1,0 (0,6)	1,4 (0,8)	8,3 (3,4)
150	1,9 (1,4)	2,4 (1,3)	1,6 (1,2)	2,0 (1,5)	1,5 (1,2)	1,7 (1,5)
450	1,8 (1,5)	2,9 (1,8)	2,5 (1,8)	4,7 (2,1)	2,7 (1,9)	1,8 (1,4)
800	2,7 (1,8)	2,1 (1,6)	2,2 (1,6)	2,7 (1,6)	2,3 (1,7)	2,8 (1,9)
1 000	2,8 (1,8)	2,4 (1,6)	2,3 (1,7)	5,7 (2,3)	3,1 (1,9)	2,7 (1,9)

Table B.5 – Peak spatial-average SAR adjustment factors for the bystander model and trunk mount antenna

Frequency MHz	1 g SAR factor	10 g SAR factor
30	1,0	1,0
50	1,0 (0,5)	1,0 (0,4)
75	1,0 (0,6)	1,1 (0,6)
100	1,4 (1,1)	1,3 (1,2)
150	1,3 (0,9)	1,3 (1,0)
300	1,6 (0,9)	1,6 (0,9)
450	1,5 (0,8)	1,8 (1,1)
800	1,3	2,3
1 000	1,1	2,5

NOTE The values at 30 MHz, 800 MHz, and 1 000 MHz in this table were derived by linearly extrapolating the available results from 50 MHz to 450 MHz and taking the maximum between the extrapolated value and unity.

Table B.6 – Peak spatial-average SAR adjustment factors for the bystander model and roof mount antenna

Frequency MHz	Centre roof mount antenna				Side roof mount antenna			
	20 cm from the vehicle		40 cm from the vehicle		20 cm from the vehicle		40 cm from the vehicle	
	1 g	10 g	1 g	10 g	1 g	10g	1 g	10g
33	1,3 (0,8)	1,2 (0,7)	1,3 (0,6)	1,0 (0,6)	1,4 (0,7)	1,3 (0,6)	1,2 (0,6)	1,0 (0,6)
80	1,1 (0,7)	1,2 (0,8)	1,3 (0,8)	1,0 (0,9)	1,3 (0,8)	1,2 (0,8)	1,3 (0,9)	1,1 (0,8)
150	1,4 (0,7)	1,3 (0,7)	1,2 (0,8)	1,0 (0,6)	1,2 (0,8)	1,3 (0,9)	1,3 (1,0)	1,4 (1,1)
450	1,6 (0,8)	1,4 (0,8)	1,6 (1,0)	1,3 (0,9)	1,2 (1,0)	1,9 (1,6)	1,8 (1,2)	2,3 (1,5)
800	2,5 (0,8)	2,3 (0,9)	2,6 (0,8)	2,4 (0,9)	2,0 (0,9)	2,0 (1,0)	1,4 (0,9)	1,4 (1,1)
1 000	3,2 (0,8)	2,8 (0,8)	3,4 (1,0)	2,9 (1,0)	2,2 (0,8)	2,2 (0,9)	2,8 (1,0)	2,5 (1,0)

NOTE See also Table 7 for distances larger than 40 cm.

Table B.7 – Peak spatial-average SAR adjustment factors for the passenger model and trunk mount antenna

Frequency MHz	Trunk mount antenna					
	Back seat, centre		Back seat, side		Front seat	
	1 g	10 g	1 g	10 g	1 g	10 g
33	1,0 (0,6)	1,2 (0,6)	1,0 (0,3)	1,0 (0,4)	1,0 (0,4)	1,0 (0,4)
80	1,0 (0,7)	1,0 (0,7)	1,0 (0,5)	1,0 (0,5)	3,6 (1,9)	3,6 (1,9)
150	1,9 (1,3)	2,0 (1,3)	4,2 (2,1)	4,4 (2,3)	2,2 (1,2)	2,6 (1,3)
450	2,4 (1,7)	2,4 (1,5)	2,0 (1,3)	2,3 (1,5)	1,3 (0,9)	1,3 (1,1)
800	1,0 (0,7)	1,0 (0,6)	1,4 (1,1)	1,2 (1,0)	1,0 (0,6)	1,0 (0,8)
1 000	1,3 (0,9)	1,1 (0,8)	1,0 (0,9)	1,0 (0,9)	1,3 (1,1)	1,1 (1,0)

Table B.8 – Peak spatial-average SAR adjustment factors for the passenger model and roof mount antenna

Frequency MHz	Centre roof mount antenna						Side roof mount antenna					
	Back seat, centre		Back seat, side		Front seat		Back seat, centre		Back seat, side		Front seat	
	1 g	10 g	1 g	10 g	1 g	10 g	1 g	10 g	1 g	10 g	1 g	10 g
33	1,1 (0,6)	1,1 (0,6)	1,0 (0,4)	1,0 (0,4)	1,0 (0,5)	1,0 (0,5)	1,0 (0,5)	1,0 (0,6)	1,0 (0,4)	1,0 (0,4)	1,0 (0,5)	1,0 (0,5)
80	1,0 (0,5)	1,0 (0,5)	1,3 (0,6)	1,4 (0,6)	5,8 (2,7)	6,5 (3,1)	1,0 (0,5)	1,0 (0,5)	1,0 (0,6)	1,0 (0,6)	6,3 (3,1)	6,1 (3,0)
150	1,3 (1,0)	1,1 (0,8)	1,0 (0,8)	1,0 (0,6)	1,0 (0,7)	1,1 (0,8)	1,2 (0,8)	1,0 (0,7)	1,0 (0,5)	1,0 (0,4)	1,9 (1,3)	1,8 (1,2)
450	2,6 (1,7)	2,3 (1,8)	1,7 (1,1)	1,4 (1,1)	2,3 (1,6)	2,6 (1,8)	3,9 (1,9)	3,8 (1,7)	1,8 (1,3)	2,3 (1,4)	1,0 (0,8)	1,0 (0,8)
800	2,7 (1,7)	2,7 (1,6)	1,6 (1,3)	1,8 (1,4)	1,0 (0,7)	1,0 (0,8)	2,6 (1,5)	2,2 (1,4)	1,9 (1,5)	1,5 (1,2)	2,0 (1,3)	1,5 (1,1)
1 000	2,2 (1,2)	2,3 (1,1)	1,4 (1,2)	1,4 (1,2)	1,7 (1,4)	2,1 (1,5)	5,6 (2,1)	4,8 (1,8)	2,5 (1,7)	3,1 (1,8)	1,3 (1,1)	1,5 (1,1)

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC/IEEE 62704-2:2017

Annex C (informative)

Peak spatial-average SAR locations for the validation and the benchmark simulation models

To validate the simulation setup and implementation of the simulation procedures described in this document, in Clauses 6 and 8 the specific benchmark simulation models were developed separately for the bystander and the passenger exposure conditions. The mean values of the respective peak spatial-average and whole-body average SAR results computed for those models using three different computational codes are provided in this document as a reference for this purpose and should be used as required by this document. In addition, the locations of the peak spatial-average SAR induced in these validation and benchmark models at different frequencies are described herein. The locations are specified as an approximate position relative to the human body models since many voxels may have the same exact local-average SAR value. These results apply to the peak spatial average SAR for both 1 g and 10 g.

Table C.1 lists the locations of the peak spatial-average SAR induced in the passenger and bystander models for the plane wave (front and back) exposure conditions used in the human body validation procedure as described in 6.2.

**Table C.1 – Location of the peak spatial-average SAR for
the front and back plane wave exposure of the standard human body models**

Frequency MHz	Bystander exposure		Passenger exposure	
	Front	Back	Front	Back
30	right knee	right ankle	right foot	right foot
75	right knee	right ankle	left arm	right ankle
150	left arm	left hand	right ankle	right ankle
300	left leg	right ankle	left arm	head
450	right knee	left ankle	right foot	right ankle
800	left hand	right ankle	right foot	neck
1 000	left hand	right ankle	right foot	right ankle

Table C.2 lists the locations of the peak spatial-average SAR induced in the passenger and bystander for the vehicle mounted antenna benchmark models described in 8.2 and 8.3.

**Table C.2 – Location of the peak spatial-average SAR for
the vehicle mounted antenna benchmark simulation models**

Frequency MHz	Bystander exposure	Passenger exposure
33	right ankle	neck
80	right ankle	right foot
150	right ankle	right ankle
450	head	head
800	left hand	head
1 000	left hand	head

Bibliography

- [1] Ackerman, M.J. 1998. The visible human project. *Proc. IEEE*, 86: 504-511
- [2] Gabriel, S., et al. The dielectric properties of biological tissues: III. Parametric models for the dielectric spectrum of tissues. *Phys. Med. Biol.* 41 (1996) 2271–2293
- [3] Dielectric Properties of Body Tissues in the frequency range 10 Hz – 100 GHz. Italian National Research Council, Institute for Applied Physics, Florence, Italy. [Online]. Available at: <http://niremf.ifac.cnr.it/tissprop/>
- [4] Cole K.S. and Cole R.H. Dispersion and absorption in dielectrics: I. Alternating current characteristics, *J. Chem. Phys.*, April 1941, pp.341–351
- [5] Gosselin, M, Christ, A, Kühn, S., and Kuster, N. Dependence of the Occupational Exposure to Mobile Phone Base Stations on the Properties of the Antenna and the Human Body, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* 51 (2009) 227–235
- [6] Bit-Babik G. *Convergence of the SAR computed for the IEC/IEEE 62704-2 standard human body model represented with different mesh resolution*, Report to ICES TC34/SC2, Tokyo, Japan, May 22, 2014
- [7] Jaselskis, E.J., Grigas, J., Brilingas, A., Dielectric Properties of Asphalt Pavement, *J. Mater. Civil Eng.*, September/October 2003, pp. 427–434,
- [8] Shang, J.Q., Umana, J.A., Dielectric Constant and Relaxation Time of Asphalt Pavement Materials, *J. Infrastruct. Syst.*, December 1999, pp. 135–142
- [9] Bit-Babik G. and Nadakuduti J. *On the Ground Modeling Implementation: Simulation & numerical assessment of RF exposure from vehicle mount antenna*, Report to ICES TC34/SC2, Tokyo, Japan, October 23, 2006
- [10] Dimbylow, P.J. FDTD calculations of the whole-body averaged SAR in an anatomically realistic voxel model of the human body from 1 MHz to 1 GHz, *Phys. Med. Biol.* 42 (1997) 479–490
- [11] Simon, W., Bit-Babik, G., “Effect of the variation in population on the whole-body average SAR of persons exposed to vehicle mounted antennas”, in *Proc. International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA '12)*, September 2–7, 2012, Cape Town (IEEE, Piscataway, USA) pp. 780–783
- [12] IEEE Std. C95.3-2002, *IEEE Recommended Practice for Measurements and Computations of Radio Frequency Electromagnetic Fields with Respect to Human Exposure to Such Fields, 100 kHz-300 GHz*
- [13] IEEE Std. 1309-2005, *IEEE Standard for Calibration of Electromagnetic Field Sensors and Probes, Excluding Antennas from 9 kHz to 40 GHz*
- [14] IEEE Std. 291-1991, *IEEE Standard Methods for Measuring Electromagnetic Field Strength of Sinusoidal Continuous Waves, 30 Hz to 30 GHz*
- [15] Christ, A., et al., The Virtual Family – Development of Surface Based Anatomical Models of two Adults and two Children for Dosimetric Simulations, *Phys. Med. Biol.* 55(2) (2010) 23-38

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC/IEEE 62704-2:2017

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	57
INTRODUCTION.....	59
1 Domaine d'application	60
2 Références normatives	60
3 Termes et définitions	60
4 Abréviations	62
5 Modélisation de configuration d'exposition.....	62
5.1 Considérations générales	62
5.2 Modélisation du véhicule.....	63
5.3 Modélisation des dispositifs de communication	63
5.4 Modélisation du sujet exposé	66
5.5 Conditions d'exposition	68
5.6 Prise en compte des variations dans la population par rapport au modèle normalisé de corps humain	71
5.6.1 Facteurs d'ajustement du DAS global moyen	71
5.6.2 Facteurs d'ajustement du DAS maximal moyenné.....	73
6 Validation des modèles numériques.....	76
6.1 Validation du modèle d'antenne	76
6.1.1 Généralités	76
6.1.2 Validation du modèle expérimental d'antenne	76
6.1.3 Validation du modèle numérique d'antenne.....	77
6.2 Validation du modèle du corps humain.....	78
6.3 Validation du modèle numérique du véhicule	80
6.3.1 Généralités	80
6.3.2 Validation du modèle du véhicule pour les simulations d'exposition du passant.....	81
6.3.3 Validation du modèle du véhicule pour les simulations d'exposition du passager	82
7 Incertitude informatique	84
7.1 Considérations générales	84
7.2 Contributions à l'incertitude numérique globale dans les configurations normalisées d'essai	85
7.2.1 Généralités	85
7.2.2 Incertitude de l'algorithme numérique	85
7.2.3 Incertitude de la représentation numérique du véhicule et de la chaussée	85
7.2.4 Incertitude du modèle de l'antenne	86
7.2.5 Incertitude de l'évaluation du DAS dans les modèles normalisés du passant et du passager	87
7.3 Bilan d'incertitude	88
8 Modèles de simulation de référence	89
8.1 Généralités	89
8.2 Référence pour les simulations d'exposition du passant.....	89
8.3 Référence pour les simulations d'exposition du passager	91
9 Documentation des résultats de simulation du DAS	93
9.1 Généralités	93
9.2 Dispositif en essai.....	93

9.3	Configurations simulées	93
9.4	Validation du logiciel et du modèle normalisé	93
9.5	Validation du modèle numérique de l'antenne	93
9.6	Résultats des modèles de simulation de référence	94
9.7	Incertitude de simulation	94
9.8	Résultats du DAS	94
Annexe A (normative) Format de fichier et description des modèles normalisés de corps humains		95
A.1	Format de fichier	95
A.2	Paramètres des tissus	97
Annexe B (informative) Couverture de la population		102
Annexe C (informative) Emplacements de DAS maximal moyenné pour les modèles de validation et de simulation de référence		106
Bibliographie		108
Figure 1 – Modèle d'alimentation de l'antenne		65
Figure 2 – Tension et courant au point d'alimentation de l'antenne adaptée		66
Figure 3 – Modèle du passant (à gauche) et modèle du passager/conducteur (à droite) pour les simulations de DAS		68
Figure 4 – Positions du passager et du conducteur dans le véhicule pour les simulations de DAS		70
Figure 5 – Positions du passant par rapport au véhicule pour les simulations de DAS		71
Figure 6 – Montage expérimental pour validation du modèle d'antenne		77
Figure 7 – Configuration de référence pour l'exposition avant ou arrière du modèle de passant à une onde plane		79
Figure 8 – Configuration de référence pour l'exposition avant ou arrière du modèle de passager à une onde plane		80
Figure 9 – Configuration pour la validation du modèle numérique du véhicule		81
Figure 10 – Configuration de validation de référence, vue de côté (en haut) et vue arrière (en bas) pour configuration avec passant et antenne sur coffre		90
Figure 11 – Configuration de validation de référence pour configuration avec passager et antenne sur coffre		92
Tableau 1 – Paramètres du modèle de chaussée		67
Tableau 2 – Facteurs d'ajustement du DAS global moyen pour configuration avec passant et antennes sur coffre		72
Tableau 3 – Facteurs d'ajustement du DAS global moyen pour configuration avec passant et antennes sur toit		73
Tableau 4 – Facteurs d'ajustement du DAS global moyen pour configuration avec passager et antennes sur coffre		73
Tableau 5 – Facteurs d'ajustement du DAS global moyen pour configuration avec passager et antennes sur toit		73
Tableau 6 – Facteurs d'ajustement du DAS maximal moyenné pour configuration avec passant et antennes sur coffre		74
Tableau 7 – Facteurs d'ajustement du DAS maximal moyenné pour configuration avec modèle de passant et antennes sur toit		75
Tableau 8 – Facteurs d'ajustement du DAS maximal moyenné pour configuration avec modèle de passager et antennes sur coffre		75

Tableau 9 – Facteurs d’ajustement du DAS maximal moyenné pour configuration avec modèle de passager et antennes sur toit.....	75
Tableau 10 – DAS maximal moyenné pour 1 g et pour 10 g et DAS global moyen pour l’exposition avant et arrière à l’onde plane du modèle de passant d’une résolution de 3 mm	79
Tableau 11 – DAS maximal moyenné pour 1 g et pour 10 g et DAS global moyen pour l’exposition avant et arrière à l’onde plane du modèle de passager avec résolution de 3 mm	80
Tableau 12 – Longueur d’antenne pour les configurations de validation du modèle de véhicule	81
Tableau 13 – Valeurs de référence du champ électrique (en haut) et du champ magnétique (en bas) pour la validation numérique du modèle du véhicule, pour l’exposition du passant	82
Tableau 14 – Coordonnées des points d’essai pour les simulations de validation avec véhicule normalisé, pour passager.....	83
Tableau 15 – Valeurs de référence du champ électrique (en haut) et du champ magnétique (en bas) pour la validation numérique du modèle du véhicule, pour l’exposition du passager	84
Tableau 16 – Bilan numérique d’incertitude pour les simulations d’exposition avec antennes sur véhicule et modèles de passant et/ou de passager	88
Tableau 17 – Valeurs de référence du DAS pour le modèle de validation de référence du passant.....	91
Tableau 18 – Valeurs de référence du DAS pour le modèle de validation de référence du passager.....	92
Tableau A.1 – Nombre de voxels dans chaque fichier de données	96
Tableau A.2 – Tissus et couleurs RVB associées dans le fichier de données binaire	97
Tableau A.3 – Paramètres de Cole–Cole et densité pour les tissus du modèle normalisé de corps humain	98
Tableau A.4 – Constante diélectrique relative et conductivité pour le modèle normalisé de corps humain aux fréquences de référence sélectionnées.....	100
Tableau B.1 – Facteurs d’ajustement du DAS global moyen pour configuration avec modèle de passant et antenne sur coffre	103
Tableau B.2 – Facteurs d’ajustement du DAS global moyen pour configuration avec modèle de passant et antenne sur toit	103
Tableau B.3 – Facteurs d’ajustement du DAS global moyen pour configuration avec modèle de passager et antenne sur coffre	103
Tableau B.4 – Facteurs d’ajustement du DAS global moyen pour configuration avec modèle de passager et antenne sur toit	104
Tableau B.5 – Facteurs d’ajustement du DAS maximal moyenné pour configuration avec modèle de passant et antenne sur coffre	104
Tableau B.6 – Facteurs d’ajustement du DAS maximal moyenné pour configuration avec modèle de passant et antenne sur toit	104
Tableau B.7 – Facteurs d’ajustement du DAS maximal moyenné pour configuration avec modèle de passager et antenne sur coffre	105
Tableau B.8 – Facteurs d’ajustement du DAS maximal moyenné pour configuration avec modèle de passager et antenne sur toit	105
Tableau C.1 – Emplacement du DAS maximal moyenné pour l’exposition avant et arrière à l’onde plane des modèles normalisés de corps humains	106
Tableau C.2 –Emplacement du DAS maximal moyenné pour les modèles de référence de simulation d’antenne sur véhicule	107

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 –

Partie 2: Exigences spécifiques relatives à la modélisation de l'exposition des antennes sur véhicule, à l'aide de la méthode des différences finies dans le domaine temporel (FDTD)

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, 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.

- 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 62704-2 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 Electromagnétique de l'IEEE Standards Association¹, selon l'accord double logo IEC/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
106/391/FDIS	106/392/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 d'ensembles de données de modèle CAO décrits à l'Annexe A. 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.

Le comité d'études de l'IEC et le comité d'études de l'IEEE ont décidé que le contenu de ce document 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 au document recherché. A cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

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.

¹ Une liste des participants IEEE est disponible à l'adresse suivante: <http://standards.ieee.org/downloads/24748-5/24748-5-2017/wg-participants.pdf>.

INTRODUCTION

Les techniques de calcul ont atteint un degré de maturité qui permet de les utiliser dans les évaluations de conformité des dispositifs de communications sans fil avec antennes sur véhicule. Cependant, compte tenu de l'évaluation toujours plus complexe de la conformité des produits aux normes d'exposition conformément aux limites du débit d'absorption spécifique (DAS), il est nécessaire d'appliquer de nouvelles techniques de conformité. Il convient que cette technique soit rentable en termes de temps et de coûts. Il est extrêmement difficile, voire tout à fait impossible, d'effectuer des évaluations expérimentales de conformité pour les dispositifs de communications sans fil utilisés avec des véhicules. Les organismes de réglementation nationaux (par exemple, la Commission fédérale des communications des États-Unis) ont encouragé l'élaboration de normes consensuelles, et ont soutenu la création de structures associées telles que le sous-comité 2 du comité d'études 34 de l'IEEE et le groupe de travail PT62704-2 de l'IEC. Les avantages que cela représente pour l'utilisateur sont notamment l'existence de protocoles normalisés et acceptés, de modèles anatomiques normalisés, de techniques de validation, de données de référence, d'un format de rapport, de moyens permettant d'estimer l'incertitude globale, afin d'obtenir des résultats valides, exacts, répétables et reproductibles.

Les résultats obtenus en appliquant les protocoles spécifiés dans le présent document constituent une estimation prudente du DAS maximal moyenné et du DAS global moyen, induits dans les modèles normalisés de corps humains et dans les conditions d'exposition établies pour le présent document à l'intérieur ou à proximité des véhicules représentant les cas typiques d'utilisation avec radios mobiles d'émission. Les protocoles mis en œuvre dans le présent document donnent des résultats subordonnés à la modélisation, aux simulations et autres incertitudes définies dans le présent document.

Les modèles normalisés de véhicules et de corps humains, les configurations d'essai et les résultats associés sont représentatifs des conditions typiques d'exposition attendues par les passagers et les passants se tenant près des véhicules avec antennes sur véhicule. L'objectif du présent document n'est pas de fournir un résultat représentatif de la valeur du DAS maximal absolu, pour toutes les combinaisons imaginables de taille et de position du corps, de modèle de véhicule, et de distance entre le corps et le véhicule et l'antenne. Seuls les éléments suivants sont détaillés: les concepts de simulation, les techniques de simulation, la méthode numérique des différences finies dans le domaine temporel (FDTD²), les techniques d'intercomparaison, les modèles de corps humains normalisés et corrects sur le plan anatomique représentant le passager et le passant, les conditions d'exposition, les configurations d'exposition de référence pour la validation du logiciel de simulation du DAS, et les limitations de ces modèles et outils utilisés pour simuler le DAS maximal moyenné et le DAS global moyen. Le présent document spécifie les procédures de validation des outils numériques utilisés pour les simulations de DAS et les procédures d'évaluation des incertitudes de simulation du DAS. Le présent document est principalement destinée à être utilisée par les ingénieurs et autres spécialistes ayant une bonne connaissance de la théorie électromagnétique (EM), des méthodes numériques, et en particulier, des techniques FDTD. Le présent document ne recommande pas de valeurs limites spécifiques de DAS, celles-ci étant disponibles dans d'autres documents.

² FDTD = *finite difference time domain*.

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 –

Partie 2: Exigences spécifiques relatives à la modélisation de l'exposition des antennes sur véhicule, à l'aide de la méthode des différences finies dans le domaine temporel (FDTD)

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC/IEEE 62704 définit les concepts, les techniques, les procédures de validation, les incertitudes et les limitations de la technique des différences finies dans le domaine temporel (FDTD) appliqués pour déterminer le débit d'absorption spécifique (DAS) maximal moyenné et le débit d'absorption spécifique global moyen. Cette détermination est réalisée au moyen d'un modèle normalisé de corps humain, exposé au champ électromagnétique émis par des antennes sur véhicule, dans la plage de fréquences de 30 MHz à 1 GHz, qui concerne les produits et les applications typiques de radio mobile haute puissance. La présente partie de l'IEC/IEEE 62704 définit et fournit les données relatives aux véhicules d'essai, aux modèles de corps humains et les données générales de référence pour ces modèles. Elle définit les emplacements des antennes, les configurations de fonctionnement, les conditions d'exposition et les positions typiques des personnes exposées aux champs générés par des antennes sur véhicule. La plage de fréquences étendue jusqu'à 6 GHz sera prise en compte dans les futures révisions du présent document. Le présent document ne recommande pas de limites spécifiques de DAS maximal moyenné et de DAS global moyen, celles-ci étant disponibles dans d'autres documents, par exemple, l'IEEE C95.1-2005, ICNIRP (1998).

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 Electrotechnique International (IEV)* (disponible sous: <http://www.electropedia.org>)

IEC/IEEE 62704-1:—3, *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 – Partie 1: Exigences générales pour l'utilisation de la méthode des différences finies dans le domaine temporel (FDTD) pour les calculs de DAS*

IEEE Standards Dictionary Online (l'abonnement est disponible sous: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/dictionary.jsp>)

3 Termes et définitions

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

³ En préparation. Stade au moment de la publication: IEC/IEEE FDIS 62704-1:2016.

3.1

modèle de passant

modèle de corps humain hétérogène en position debout, défini dans le présent document pour représenter un passant se tenant près du véhicule normalisé

3.2

estimation prudente

estimation du DAS maximal moyenné et du DAS global moyen, telle que définie dans le présent document, représentative des phénomènes attendus dans les corps des passants et des passagers d'une majorité significative de la population, dans des conditions normales de fonctionnement des radios mobiles avec antennes sur véhicule

Note 1 à l'article: Une estimation prudente n'implique pas la valeur du DAS maximal absolu pouvant être observée pour toutes les combinaisons imaginables de taille et de morphologie de corps humain, et de distance entre le corps et l'antenne et/ou le véhicule.

3.3

modèle normalisé de corps humain hétérogène

modèle anthropomorphe du corps humain avec de multiples structures anatomiques, chacune étant constituée du seul type approprié de simulation de tissu, comme la peau, le crâne (os), le muscle, le cerveau, le tissu oculaire, etc., comme défini dans le présent document

Note 1 à l'article: Le modèle normalisé de corps humain est basé sur l'ensemble de données "Visible Human" [1]⁴.

3.4

perte d'insertion

perte résultant de l'insertion d'un composant dans un système de transmission, calculée comme le rapport de la puissance fournie à la charge connectée au générateur, à la puissance fournie à la charge après l'insertion du composant.

Note 1 à l'article: La perte d'insertion est généralement exprimée en décibels (dB).

3.5

modèle de passager

modèle de corps humain hétérogène en position assise, défini dans le présent document pour représenter un passager assis dans le véhicule normalisé

3.6

modèle de véhicule

modèle numérique du véhicule, obtenu par CAO, adapté aux simulations numériques électromagnétiques développées spécifiquement pour le présent document

⁴ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

4 Abréviations

Abréviation	Anglais	Français
CAO		conception assistée par ordinateur
DAS		débit d'absorption spécifique
FDTD	finite difference time domain	différences finies dans le domaine temporel
MPE	maximum permissible exposure	exposition maximale autorisée
PEC	perfect electric conductor	conducteur électrique parfait
PML	perfectly matched layers	couches parfaitement adaptées
PTT	push-to-talk	bouton de microphone
RF		radiofréquence
RSS	root sum square	somme quadratique

5 Modélisation de configuration d'exposition

5.1 Considérations générales

Les trois éléments pertinents qui définissent les conditions d'exposition dans des environnements automobiles sont: le ou les dispositifs de communication avec antenne(s), le modèle du véhicule et l'emplacement du sujet exposé.

Le ou les dispositifs de communication intègrent généralement un ou plusieurs émetteurs-récepteurs connectés à une seule antenne. La connexion de plusieurs émetteurs-récepteurs peut exiger des multiplexeurs et/ou des combineurs de puissance, en plus de la ligne de transmission RF (radiofréquence) (par exemple, section de câble coaxial) acheminée de l'émetteur-récepteur (ou du combineur) au connecteur de l'antenne.

Dans le présent document, le terme "émetteur-récepteur" fait référence à un seul émetteur-récepteur ou à un système plus complexe comprenant un nombre arbitraire d'émetteurs-récepteurs et de combineurs, et éventuellement d'autres dispositifs installés le long du trajet du signal RF. Par convention, les composants insérés avant le câble (le cas échéant) relié à l'antenne font partie intégrante de l'émetteur-récepteur. L'émetteur-récepteur comprend un port RF (généralement le connecteur auquel le câble est relié). Les caractéristiques pertinentes du signal RF (fréquence, largeur de bande, puissance moyenne) au niveau de ce port doivent être connues.

Les caractéristiques pertinentes de la ou des antennes sont les dimensions géométriques, la construction physique (par exemple, matériaux), les caractéristiques électriques (par exemple, la réponse en fréquence de l'affaiblissement de réflexion, le gain et le diagramme de rayonnement), les mécanismes de réglage électriques/mécaniques (le cas échéant), et les emplacements de montage.

Les parties métalliques de la carrosserie du véhicule et l'emplacement de l'antenne constituent les paramètres les plus importants qui définissent un scénario d'exposition. La forme et les caractéristiques de la carrosserie du véhicule (par exemple, les fenêtres) doivent être représentatives de l'application typique du dispositif de communication, sans compliquer inutilement la modélisation informatique. Le modèle de la chaussée doit également être pris en compte dans la simulation.

5.2 Modélisation du véhicule

Le présent document utilise le modèle CAO du véhicule défini spécifiquement pour obtenir des résultats de simulation fiables et reproductibles. Le modèle CAO de ce véhicule normalisé doit être utilisé pour réaliser une simulation satisfaisante selon le présent document. Certains résultats obtenus en utilisant ce modèle de véhicule normalisé peuvent ne pas s'appliquer à certains autres types de véhicules ou à des conditions d'installation d'antenne différentes, par exemple si l'installation sur toit non métallique est autorisée.

Le modèle de véhicule normalisé défini dans le présent document pour l'évaluation de la conformité s'applique à tous les modèles de véhicule lorsque les conditions suivantes sont satisfaites. Pour les antennes sur toit ou sur coffre, la distance entre l'antenne et le passant doit être définie avec l'antenne montée conformément aux exigences d'installation. Pour aider à garantir la ou les configurations les plus prudentes utilisées dans l'évaluation de l'exposition, la distance de séparation avec le passant ne doit pas être supérieure à la distance minimale de séparation exigée pour la conformité, indiquée dans les instructions d'installation. Les mêmes conditions doivent s'appliquer à la distance de séparation entre l'antenne et le passager, sauf pour les configurations d'antenne sur toit, pour lesquelles le passager est partiellement protégé par le toit en métal. Dans ce cas, il n'est pas nécessaire de prendre en compte l'impact du modèle de véhicule lors des simulations utilisant le modèle de véhicule normalisé qui permet de réaliser ce processus d'évaluation.

Selon le code FDTD, il est possible d'utiliser des algorithmes de maillage uniforme ou nivelé. Dans le cas du maillage uniforme, la résolution du modèle informatique est généralement déterminée par les détails anatomiques du modèle humain utilisé pour représenter le sujet exposé. Dans le cas du maillage nivelé, lorsqu'il ne s'agit pas du modèle de corps humain, il est possible de relaxer la résolution du maillage dans certaines parties du modèle informatique (selon les lignes directrices relatives au maillage nivelé présentées en 5.2) afin d'augmenter la vitesse d'exécution des simulations numériques et/ou d'agrandir les dimensions géométriques du domaine de calcul. Cependant, il est important que les résolutions du maillage définies et utilisées pour les modèles de validation et de référence soient également utilisées pour toutes les simulations d'exposition associées.

Le modèle informatique de la carrosserie du véhicule comporte principalement des tôles présentant les propriétés d'un conducteur électrique parfait (PEC). Il est important d'examiner la représentation maillée du modèle CAO normalisé afin d'assurer d'une part la continuité des tôles constituant la carrosserie du véhicule, et d'assurer d'autre part que les espaces et les petites séparations nécessaires entre les différentes parties métalliques du véhicule ne sont pas réduits au point de devenir continus dans le processus de maillage. Les tôles peuvent être modélisées sous la forme d'un ensemble de couches fines, c'est-à-dire que, dans ces couches, la condition du PEC est appliquée uniquement à une série de faces de voxel contiguës correctement interconnectées sur un plan des coordonnées; ou sous la forme d'une combinaison d'objets fins et volumétriques. Pour des raisons de cohérence et pour s'assurer que la maille générée pour le modèle de véhicule normalisé défini dans le présent document est valide, un pas maximal de maille de 10 mm doit être utilisé.

Comparé au PEC, le champ électromagnétique dispersé par les surfaces en verre et les autres parties diélectriques est un effet de second ordre, qui ne se produit donc pas dans le modèle de véhicule normalisé. De la même façon, les désembueurs de lunette arrière contiennent des conducteurs à haute résistivité agissant comme des diffuseurs électromagnétiques, qui peuvent diminuer le flux d'énergie RF passant par la lunette. Pour les besoins du présent document, l'effet des désembueurs est négligé.

5.3 Modélisation des dispositifs de communication

Avant de traiter l'exposition à l'énergie RF émise par l'antenne radio mobile, il doit être vérifié que les émissions électromagnétiques provenant de l'équipement de l'émetteur-récepteur sont insignifiantes au regard du niveau d'exposition. Cette vérification peut être effectuée en se référant aux données d'émissions rayonnées figurant dans le rapport de conformité CEM

établi pour l'émetteur-récepteur évalué selon des mesures ou sur la base d'autres moyens adaptés recommandés par les normes CEM reconnues au niveau international.

Il convient d'appliquer les lignes directrices générales présentées dans l'IEC/IEEE 62704-1 pour la modélisation de la source RF sous la forme d'un générateur résistif dans le modèle FDTD. Il convient d'appliquer la source d'excitation au point d'alimentation de l'antenne, sauf en cas de circonstances particulières ou uniques, qui doivent faire l'objet d'une explication et d'une justification dans le rapport d'évaluation.

Il convient, si possible, d'identifier et de quantifier les pertes fixes, afin de déterminer la surestimation de l'exposition. L'effet des pertes d'insertion du câble relié au point d'alimentation de l'antenne peut ne pas être pris en compte dans les calculs grâce à une mise à l'échelle appropriée de la puissance RF au point d'alimentation. Cette mise à l'échelle introduit un biais prudent dans l'évaluation de l'exposition RF. Cependant, si les pertes du câble peuvent être quantifiées de façon suffisamment satisfaisante selon les spécifications du câble et la longueur exigées pour le montage de l'antenne à des emplacements spécifiques, l'effet des pertes du câble peut être pris en compte dans l'évaluation en réduisant la puissance d'entrée nette d'une valeur égale à celle des pertes du câble moins 0,5 dB. Par exemple, si les pertes du câble sont de 1,25 dB, au cours de la simulation il est appliqué au point d'alimentation de l'antenne une puissance rayonnée inférieure de 0,75 dB à la puissance disponible au niveau du port de l'émetteur-récepteur. Si les pertes du câble sont inférieures à 0,5 dB, elles ne doivent pas être prises en compte. Ce biais délibéré est introduit pour tenir compte des variations mineures de longueur de câble et des spécifications ou des propriétés de câble, et garantir le caractère prudent de l'évaluation de l'exposition RF. Par ailleurs, il est aussi possible de ne pas prendre en compte l'affaiblissement de réflexion dû à la désadaptation de l'antenne, ce qui introduit un biais prudent supplémentaire. Dans tous ces cas de figure, une justification appropriée doit être fournie afin de quantifier les pertes d'insertion du câble et l'affaiblissement de réflexion, s'ils sont pris en compte dans l'analyse informatique.

En raison de la linéarité des champs simulés dans une condition définie d'exposition électromagnétique, les simulations FDTD peuvent être effectuées à tout niveau de puissance souhaité, mis ensuite à l'échelle de la puissance de sortie moyenne maximale réelle du dispositif de communication.

L'antenne doit être modélisée pour représenter l'antenne physique, afin de garantir des résultats valides. Cela peut exiger de réaliser le modèle sous la forme d'un ensemble de fils, de plaques, d'objets volumétriques, diélectriques ou métalliques, etc. Il est possible de simplifier le modèle d'antenne pour en réduire la complexité. Par exemple, dans le modèle FDTD, il peut être possible de remplacer des réactances de faible longueur électrique par des constantes réactives localisées, telles que des bobines de charge (parfois appelées "pièges") utilisées pour mettre en phase différentes sections de fil d'antennes de grande longueur électrique. Les composants de l'antenne de longueur inférieure à un dixième de la longueur d'onde du matériau diélectrique local doivent être considérés comme étant de faible longueur électrique. Tout élément localisé dans le modèle de l'antenne doit être validé selon les procédures présentées en 6.1.

Les modèles d'antenne doivent être placés sur le véhicule aux emplacements correspondant au montage d'essai pris en charge par le présent document et conformément aux exigences d'installation de l'antenne et aux exigences du manuel du produit. Les exigences d'essai relatives aux antennes sur toit et sur coffre sont spécifiées dans le présent document. L'antenne et le véhicule sont considérés comme des structures rayonnantes. Dans la plupart des cas, le point d'alimentation de l'antenne est situé à la base de l'antenne, à son point de contact avec la carrosserie du véhicule. Il s'agit de la configuration la plus fréquente. Cependant, dans certains cas, le point d'alimentation peut être situé à un autre endroit, par exemple au milieu d'un doublet à manchon. Le rapport de simulation doit fournir une justification appropriée au choix de l'emplacement du point d'alimentation de l'antenne. Dans certains cas, des réseaux d'adaptation sont utilisés au point d'alimentation de l'antenne, afin d'adapter correctement l'impédance de source RF. Dans ces cas de figure, le réseau d'adaptation peut ne pas être pris en compte dans le modèle FDTD, car les résultats calculés

peuvent toujours être mis à l'échelle pour obtenir la valeur souhaitée de la puissance d'entrée de l'antenne, comme indiqué ci-dessous.

Les simulations permettent d'obtenir l'impédance du point d'alimentation de l'antenne et la puissance totale rayonnée dans les conditions d'adaptation d'impédance à la fréquence d'essai. L'impédance d'entrée est calculée en intégrant le champ magnétique en régime établi entourant le bord sur lequel est situé le point d'alimentation, afin de calculer le courant de point d'alimentation en régime établi (I), qui est ensuite utilisé pour déduire la tension en régime établi (V) sur l'écart avec le point d'alimentation. La puissance d'entrée moyenne nette est calculée comme suit

$$P_{in} = \frac{1}{2} \text{Re}\{VI^*\} \quad (1)$$

où l'astérisque indique le conjugué complexe.

Le DAS peut être normalisé à P_{in} afin d'obtenir la puissance d'entrée par watt du DAS. Le DAS global moyen et le DAS maximal moyenné pour 1 g ou pour 10 g peuvent être déterminés en mettant à l'échelle le DAS normalisé à la puissance assignée maximale au niveau du port de l'émetteur-récepteur/antenne. Les résultats finaux peuvent aussi prendre en compte le temps d'intégration autorisé par les exigences d'exposition des réglementations nationales (par exemple, le cycle de service de 50 % fourni à certaines radios mobiles à bouton de microphone).

La Figure 1 représente un modèle de Thévenin, dans lequel la source alimente l'antenne. La source de tension V_S et l'impédance de source réelle R_S sont utilisées dans les calculs.

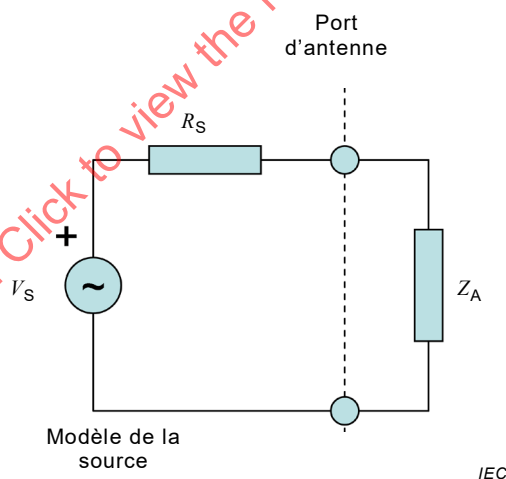


Figure 1 – Modèle d'alimentation de l'antenne

L'impédance d'antenne est égale à $Z_A = R_A + jX_A$. La puissance disponible de la source correspond à la valeur maximale dissipée dans la charge dans des conditions parfaites d'adaptation d'impédance (également connues sous le nom de conditions d'adaptation du conjugué $Z_A = R_S$):

$$P_{av} = \frac{1}{2} \text{Re}\{V_A I_A^*\} = \frac{1}{2} \frac{V_S}{2} \frac{V_S^*}{2R_S} = \frac{|V_S|^2}{8R_S} \quad (2)$$

Les conditions de fonctionnement pour la puissance maximale correspondant à R_S sont représentées à la Figure 2. Il s'agit des mêmes conditions, la résistance de charge adaptée

étant représentée par un wattmètre, utilisé pour mesurer la puissance conduite maximale d'une radio.

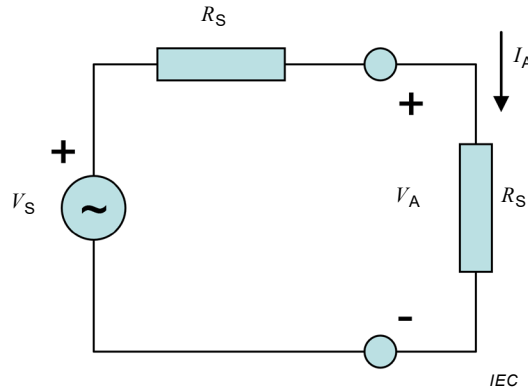


Figure 2 – Tension et courant au point d'alimentation de l'antenne adaptée

Il est donc possible de déterminer la tension de Thévenin V_S représentative d'un émetteur radio avec une puissance assignée maximale $P_{\max}$ et l'impédance de source R_S , comme suit:

$$P_{\max} = P_{\text{av}} = \frac{|V_S|^2}{8R_S} \Rightarrow |V_S| = \sqrt{8R_S P_{\max}} \quad (3)$$

Lorsque l'émetteur est connecté à une antenne qui présente l'impédance d'entrée Z_A , la puissance rayonnée ne peut être supérieure à la puissance assignée maximale $P_{\max}$, à cause de deux mécanismes physiques: la dissipation d'énergie dans la structure de l'antenne et la réflexion d'énergie au niveau du port de l'antenne. Le premier mécanisme découle des pertes diélectriques et ohmiques, alors que le second découle de la désadaptation d'impédance au niveau du port de l'antenne. La non-prise en compte de la dissipation d'énergie introduit un biais prudent dans les évaluations de la conformité. Dans les calculs pour les structures rayonnantes, il s'agit d'appliquer des propriétés des matériaux idéales (sans perte), auquel cas, la puissance rayonnée P_{rad} est égale à la puissance d'entrée d'antenne P_{in} . Un biais prudent supplémentaire est introduit en ne tenant pas compte des pertes de désadaptation. Le facteur de perte de désadaptation est:

$$\eta = \frac{P_{\text{rad}}}{P_{\max}} = 1 - |\Gamma|^2 = 1 - \left| \frac{Z_A - R_S}{Z_A + R_S} \right|^2 = \frac{4R_A R_S}{|Z_A + R_S|^2} \quad (4)$$

où Γ est le facteur de réflexion au niveau du port de l'antenne. Les champs calculés sont donc mis à l'échelle supérieure selon un facteur $\sqrt{1/\eta}$ après les simulations, afin de ne pas prendre en compte les pertes de désadaptation. Cette méthode équivaut au réglage $P_{\text{rad}} = P_{\max}$ et donc $\Gamma = 0$, ce qui revient à dire que les pertes de désadaptation sont nulles et que la puissance maximale de l'émetteur radio est rayonnée.

Sur la base de l'approche décrite ci-dessus, l'effet des pertes ohmiques dues aux composants du réseau d'adaptation n'est pas pris en compte dans le modèle FDTD, ce qui introduit un biais prudent supplémentaire dans l'évaluation.

5.4 Modélisation du sujet exposé

Pour les simulations, le sujet exposé doit être modélisé au moyen des modèles normalisés de passant et de passager, qui sont basés sur l'ensemble de données "Visible Human" [1]. Ces modèles sont disponibles gratuitement et sont fournis dans le présent document au format FDTD généralisé. Ils comportent 39 types différents de tissus dont les propriétés diélectriques

et les masses volumiques sont déduites de la publication de Gabriel [2] et consultables dans des bases de données publiques [3]. Les propriétés diélectriques sont déterminées selon les caractéristiques de dispersion de fréquence en appliquant les formules de Cole–Cole [4].

Le modèle "Visible Human" représente un homme se tenant debout. La position de certaines parties de son corps a été adaptée pour obtenir un modèle assis (c'est-à-dire un modèle de passager) et un modèle approprié de passant debout. Ces manipulations ont nécessité l'utilisation d'un logiciel spécialisé.⁵ Les modèles obtenus de passant et de passager sont représentés dans le présent document et peuvent être importés dans des codes FDTD du commerce ou personnalisés. À cet effet, les fichiers de ces modèles et les structures de tissus sont donnés au format utilisant le voxel. Le format du fichier et les autres détails relatifs aux modèles normalisés de corps humains, y compris les paramètres des tissus, sont décrits à l'Annexe A. Les données de référence relatives aux constantes diélectriques et aux conductivités des tissus pour quelques fréquences sélectionnées, sont également fournies à l'Annexe A afin de confirmer que les paramètres des tissus sont correctement mis en œuvre conformément au modèle de Cole–Cole [4].

Pour ce qui concerne l'évaluation de la conformité conformément au présent document, les modèles de corps humains ne doivent pas être modifiés ni utilisés dans une résolution de voxel différente de celles fournies. La résolution de 3 mm définie pour ces modèles doit être utilisée dans la plage de fréquences jusqu'à 1 GHz définie pour le présent document, ce qui correspond à peu près à une valeur au moins égale à un douzième de la longueur d'onde dans le corps. La récente étude de Gosselin et al. [5] a examiné l'incidence de la résolution du maillage sur le DAS maximal moyenné et sur le DAS global moyen. Les résultats de cette étude indiquent que dans la plage de fréquences de 30 MHz à 1 GHz, et en appliquant une résolution de voxel de 3 mm, il est attendu une convergence pour le DAS maximal moyenné pour 10 g d'environ 0,5 dB et d'environ 0,2 dB pour le DAS global moyen. Une autre étude [6] a évalué la convergence dans la même plage de fréquences et constate une convergence supérieure à 0,3 dB pour le DAS maximal moyenné à la fois pour 1 g et pour 10 g et supérieure à 0,15 dB pour le DAS global moyen, lors de la comparaison des résultats calculés pour un modèle de corps humain de passant maillé avec une résolution de 3 mm, de 1,5 mm et de 1 mm. Ces études indiquent que les résultats ne varient pas de manière significative lorsque des modèles de résolution supérieure à 3 mm sont utilisés.

NOTE La résolution réelle en termes de longueur d'onde est généralement bien meilleure que le cas le plus défavorable correspondant à un douzième de la longueur d'onde, sur la base d'une fréquence maximale de 1 GHz et des tissus sélectionnés avec la constante diélectrique la plus élevée.

Pour les simulations d'exposition du passant, il est nécessaire de modéliser correctement la chaussée. Les chaussées classiques (à revêtement en asphalte et en béton par exemple) présentent des propriétés électriques relativement stables dans une large plage de fréquences [7], [8]. En général, ces types de chaussées, même en condition humide, ainsi que de nombreux types différents de conditions de sol, peuvent être représentés systématiquement par une plaque de séparation diélectrique présentant une constante diélectrique relative de 8 et une conductivité de 0,01 S/m. La chaussée doit être représentée par une plaque de séparation diélectrique avec une épaisseur minimale, une constante diélectrique relative et une conductivité telles que définies dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Paramètres du modèle de chaussée

Constante diélectrique relative	Conductivité	Épaisseur de la plaque de séparation
8	0,01 S/m	30 cm

Les simulations d'exposition avec des plaques de séparation diélectriques plus épaisses ne révèlent pas d'effet significatif sur le DAS maximal moyenné pour 1 g et pour 10 g, sur le DAS

⁵ VariPose®. Version 1.2, Remcom Inc., State College, PA USA. Cette information est donnée à l'intention des utilisateurs du présent document et ne signifie nullement que IEC approuve ou recommande l'emploi exclusif du produit ainsi désigné.

global moyen et sur les distributions du DAS dans le modèle exposé du passant [9]. Le modèle du passant ne doit pas être en contact direct avec la plaque de séparation diélectrique représentant la chaussée, afin de simuler correctement l'espace d'isolation entre les pieds et le sol représentant généralement les chaussures. La distance entre les pieds et le sol doit être de 10 mm.

La Figure 3 représente les modèles du passant et du passager (conducteur) fournis par le présent document pour les simulations du DAS.

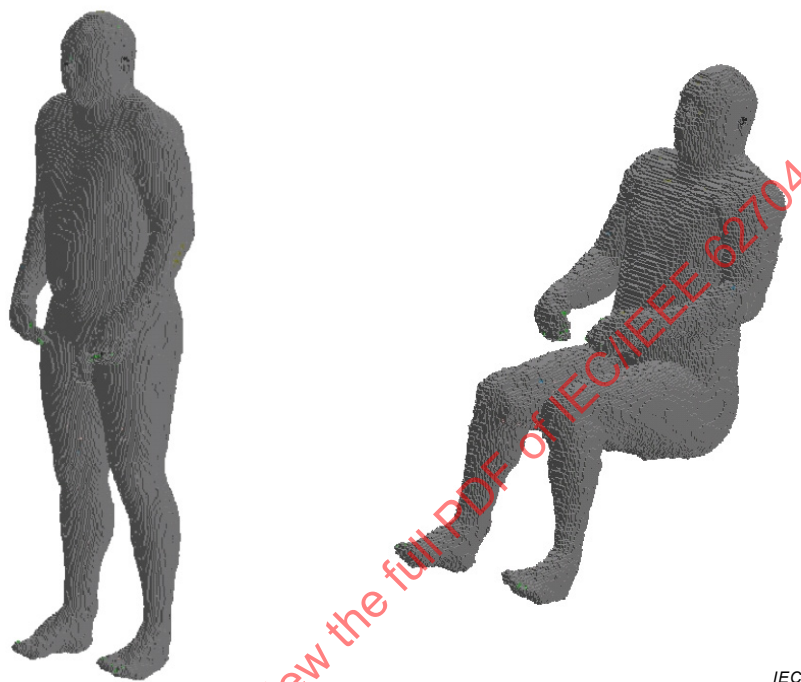


Figure 3 – Modèle du passant (à gauche) et modèle du passager/conducteur (à droite) pour les simulations de DAS

5.5 Conditions d'exposition

Les antennes sur véhicule peuvent constituer une exposition RF pour les sujets se trouvant à l'intérieur ou à l'extérieur du véhicule. Les sujets à l'intérieur du véhicule sont désignés ci-après "passagers" (y compris le conducteur) et les sujets à l'extérieur "passants".

Les emplacements de l'antenne sur la carrosserie du véhicule doivent être clairement spécifiés, selon le montage d'essai exigé par le présent document pour l'installation des antennes sur toit ou sur coffre. Les emplacements de montage de l'antenne sur le véhicule doivent aussi être conformes aux spécifications recommandées par le fabricant dans le manuel du produit, décrivant la ou les positions correctes de montage de l'antenne. Selon l'emplacement de montage de l'antenne, différentes configurations d'exposition utilisant les modèles du passant et/ou du passager peuvent être exigées pour l'évaluation du DAS. Toutes les configurations d'exposition doivent assurer une distance prudente de séparation entre l'antenne et le modèle du passant ou du passager, cohérente avec l'installation réelle de l'antenne, le manuel de sécurité du produit et les exigences de fonctionnement.

Toutes les configurations d'essai applicables décrites ci-dessous pour les corps humains normalisés du passager et du passant doivent être simulées pour évaluer le DAS, à moins que la conformité ne soit déterminée pour une configuration d'essai de DAS à l'aide d'autres techniques et limites d'exposition (par exemple, sur la base des limites MPE (exposition maximale autorisée) définies dans l'IEEE 95.1-2005 ou des niveaux de référence contenus dans les lignes directrices ICNIRP (1998)).

L'exposition du passager peut se produire sur les sièges avant et arrière d'un véhicule. Les expositions sur les sièges avant doivent être évaluées pour les antennes montées sur le toit du véhicule normalisé. Les expositions sur les sièges arrière doivent être évaluées pour les antennes montées sur le toit et le coffre du véhicule. Les expositions sur les sièges avant doivent être évaluées pour le côté du conducteur ou du passager, selon la proximité avec l'antenne. Plus précisément, si l'antenne est montée près du côté du toit, l'exposition doit être évaluée en plaçant le modèle du passager assis du même côté que l'antenne. Lorsque l'antenne est montée au centre, c'est-à-dire, le long de la ligne centrale longitudinale du véhicule, il convient d'évaluer le côté du conducteur. Les expositions sur les sièges arrière doivent être évaluées au centre et sur un des côtés des sièges arrière. Lorsque les antennes ne sont pas installées au centre du toit ou du coffre, le côté le plus proche de l'antenne doit être évalué avec les modèles du passager et du passant. Pour les véhicules disposant de deux rangées de sièges, trois emplacements de passager doivent donc être évalués: un sur les sièges avant et deux sur les sièges arrière. Étant donné que deux rangées de sièges peuvent se trouver à la même distance d'une antenne sur toit, au moins trois emplacements de passager doivent être évalués, dont deux sur le côté de l'antenne sur les rangées suivantes (ou un côté arbitraire si l'antenne est montée au centre). La Figure 4 représente une vue de dessus de l'emplacement du passager applicable aux antennes. Selon le modèle du véhicule normalisé, la position verticale du passager (position sur l'axe Z) doit être définie conformément à 8.3. Par exemple, si une antenne est montée sur le côté droit de la ligne centrale du toit, trois emplacements de passager doivent alors être évalués: l'emplacement du siège avant droit, celui du siège arrière central, et celui du siège arrière droit.

La distance de séparation entre le passant et l'antenne, spécifiée dans le manuel utilisateur du fabricant, ne doit pas être inférieure à la distance utilisée pour les évaluations de conformité. De plus, l'emplacement de l'antenne dans toutes les configurations d'essai doit être cohérent avec le manuel d'installation d'antenne du fabricant. Selon les différents produits de radios mobiles, différentes distances de conformité peuvent être exigées, à cause des différentes spécifications des valeurs de puissance de sortie RF qui s'étendent normalement de quelques watts à plus de 100 W. Le présent document spécifie les procédures permettant de positionner le modèle du passant selon l'emplacement de l'antenne sur le véhicule normalisé pour la simulation du DAS, et permettant de tenir compte des différentes dimensions des véhicules. La distance d'essai utilisée pour les évaluations de la conformité doit être définie comme la distance entre la surface de l'antenne et le point le plus proche sur le modèle de passant. Les différentes dimensions des véhicules ne permettent pas toujours d'obtenir cette distance dans certaines configurations positionnant le modèle de passant près du modèle du véhicule normalisé. Par exemple, l'antenne peut être installée sur un véhicule plus petit que le véhicule normalisé. Dans ce cas, lorsque le manuel utilisateur du produit spécifie une distance minimale de séparation entre une antenne et le passant, cette distance peut être obtenue en ajustant l'emplacement de l'antenne sur le véhicule normalisé, si possible, afin d'obtenir la distance exigée de séparation entre l'antenne et le passant (par exemple, en rapprochant l'antenne du passant). Si le manuel utilisateur du produit ne spécifie aucune distance minimale de séparation, la distance d'essai entre le passant et le véhicule doit être déterminée conformément aux exigences de conformité stipulées dans les réglementations locales. La Figure 5 représente certaines positions possibles du passant près du véhicule, vues de dessus, pour les configurations d'antennes sur toit et sur coffre, définies dans le présent document.

NOTE Certains organismes de réglementation nationaux exigent que les fabricants définissent dans le manuel du produit la distance minimale de séparation.

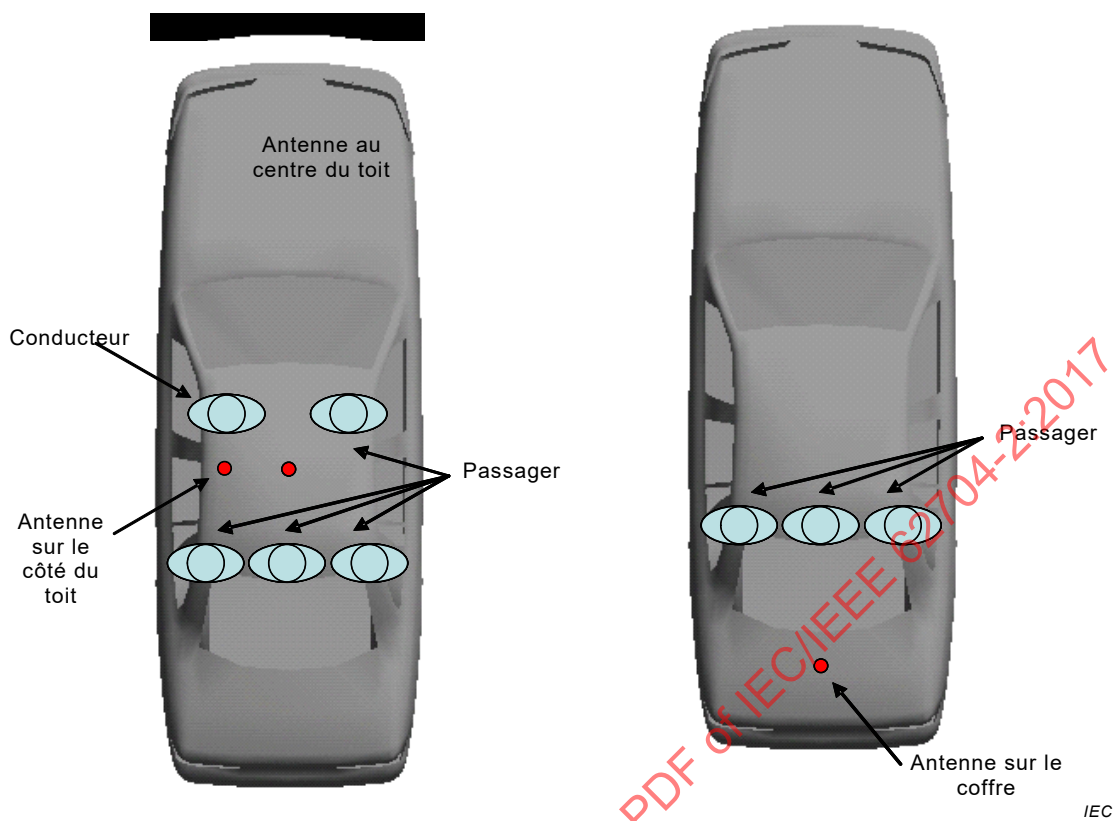


Figure 4 – Positions du passager et du conducteur dans le véhicule pour les simulations de DAS

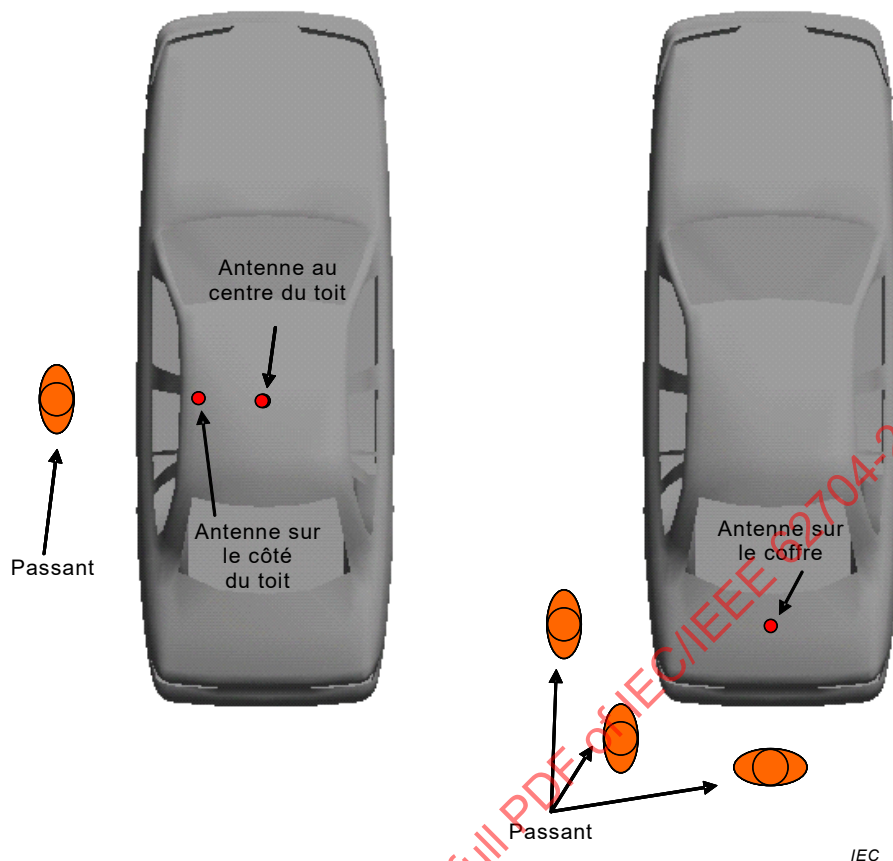


Figure 5 – Positions du passant par rapport au véhicule pour les simulations de DAS

5.6 Prise en compte des variations dans la population par rapport au modèle normalisé de corps humain

5.6.1 Facteurs d'ajustement du DAS global moyen

Les modèles normalisés du passant et du passager, exigés par le présent document, doivent être utilisés pour simuler l'exposition des antennes sur véhicule. Le niveau d'exposition peut varier selon les personnes, en raison des différences physiques et anatomiques. Alors que de nombreux facteurs peuvent influencer le DAS maximal moyenné et le DAS global moyen, il est reconnu que le DAS global moyen peut varier significativement pour certaines fréquences selon la taille physique, en raison de l'effet de résonance global sur l'exposition. Ce phénomène est très bien caractérisé dans les conditions d'exposition à l'onde plane [10] qui permettent d'observer une augmentation significative du DAS global d'environ 75 MHz pour l'adulte moyen (avec le champ E de l'onde incidente copolarisée le long du corps). Dans le cas d'un corps humain de plus petite taille (par exemple, un enfant) la résonance se produit à des fréquences plus élevées selon la taille physique. Par conséquent, pour une configuration et une fréquence d'exposition fixes, le DAS global moyen peut être significativement différent selon la taille du sujet exposé.

En théorie, dans la mesure où les conditions d'exposition du passant près du véhicule ne sont pas équivalentes à l'exposition à l'onde plane, il convient d'effectuer l'évaluation prudente du DAS global moyen en utilisant plusieurs modèles de corps humains de tailles et de constitutions différentes dans les mêmes conditions d'exposition. Dans ce cas, seul le DAS global moyen le plus élevé, calculé pour tous ces modèles, doit être consigné, mais la procédure peut être longue et pénible.

La variation du DAS global moyen due aux différentes tailles physiques a été estimée pour les configurations spécifiques d'essai (antennes sur coffre ou sur toit, conditions d'exposition du passant et du passager) définies dans le présent document et utilisées pour déduire les

facteurs d'ajustement du DAS, dépendants de la fréquence. Ces facteurs d'ajustement doivent être appliqués au DAS global moyen évalué pour les modèles du passant et du passager définis dans le présent document, afin d'obtenir une estimation prudente du DAS global moyen dans les conditions d'essai correspondantes.

Les Tableaux 2 à 5 présentent les facteurs d'ajustement du DAS global moyen obtenus dans l'étude informatique de l'IEC/IEEE 62704-2 [11]. Les détails de l'étude sont fournis dans l'Annexe A. Cette étude démontre en particulier que la variation du DAS global moyen, selon les différents modèles de corps humains, peut dépendre de façon significative des conditions d'exposition (passager ou passant et antenne sur toit ou sur coffre). Pour ces raisons, dans le présent document, les facteurs d'ajustement au niveau global sont définis séparément pour les différentes conditions d'exposition qui couvrent les antennes sur coffre et sur toit. De plus, les emplacements de l'antenne centrée sur le toit et de l'antenne sur le côté du toit sont étudiés séparément, l'emplacement sur le côté du toit étant défini comme l'emplacement décalé par rapport au centre du toit de plus d'un quart de la largeur du toit. Les emplacements décalés de moins d'un quart de la largeur du toit sont définis comme des emplacements centrés sur le toit.

L'interpolation ou l'extrapolation linéaire de ces facteurs d'ajustement doit être utilisée pour toutes les autres fréquences de 30 MHz à 1 GHz, ainsi que les distances entre l'antenne et le passant qui sont inférieures à la distance maximale disponible figurant dans les tableaux. Ces facteurs ne sont pas applicables aux configurations utilisant d'autres installations d'antenne non couvertes par le présent document.

Tableau 2 – Facteurs d'ajustement du DAS global moyen pour configuration avec passant et antennes sur coffre

Fréquence MHz	Distance entre le passant et l'antenne montée sur coffre			
	80 cm	100 cm	120 cm	> 130 cm
30	1,0	1,0	1,0	1,0
50	1,3	1,3	1,4	1,4
75	1,7	2,0	2,2	2,3
100	2,5	2,5	2,5	3,5
150	1,9	1,9	2,5	4,5
300	2,1	2,6	2,6	2,6
450	1,4	1,3	1,5	2,0
800	1,0	1,0	1,0	1,0
1 000	1,0	1,0	1,0	1,0

NOTE 1 Les facteurs indiqués dans ce tableau s'appliquent à toutes les positions du passant avec antenne sur coffre, représentées à la Figure 5.

NOTE 2 Les valeurs de 30 MHz, de 800 MHz et de 1 000 MHz indiquées dans ce tableau ont été déduites par extrapolation linéaire des résultats obtenus et en retenant la valeur maximale entre la valeur extrapolée et l'unité (voir l'Annexe B).

Tableau 3 – Facteurs d’ajustement du DAS global moyen pour configuration avec passant et antennes sur toit

Fréquence MHz	Antenne au centre du toit		Antenne sur le côté du toit		Antennes au centre et sur le côté du toit avec passant à une distance > 50 cm du véhicule
	à 20 cm du véhicule	à 40 cm du véhicule	à 20 cm du véhicule	à 40 cm du véhicule	
33	1,2	1,2	1,3	1,2	1,1
80	1,6	1,5	1,7	1,7	2,5
150	1,6	1,5	1,8	1,8	4,5
450	1,5	1,5	1,5	1,8	2,0
800	1,3	1,3	1,6	1,6	1,0
1 000	1,2	1,2	1,3	1,2	1,0

Tableau 4 – Facteurs d’ajustement du DAS global moyen pour configuration avec passager et antennes sur coffre

Fréquence MHz	Emplacement du passager dans le véhicule	
	Siège arrière, centre	Siège arrière, côté
33	1,0	1,0
80	1,4	1,0
150	2,4	3,0
450	2,8	2,6
800	2,2	1,9
1 000	1,9	1,7

Tableau 5 – Facteurs d’ajustement du DAS global moyen pour configuration avec passager et antennes sur toit

Fréquence MHz	Antenne au centre du toit			Antenne sur le côté du toit		
	Emplacement du passager dans le véhicule					
	Siège arrière, centre	Siège arrière, côté	Siège avant	Siège arrière, centre	Siège arrière, côté	Siège avant
33	1,8	1,0	1,3	1,4	1,1	1,3
80	1,0	1,3	8,2	1,0	1,4	8,3
150	1,9	2,4	1,6	2,0	1,5	1,7
450	1,8	2,9	2,5	4,7	2,7	1,8
800	2,7	2,1	2,2	2,7	2,3	2,8
1 000	2,8	2,4	2,3	5,7	3,1	2,7

5.6.2 Facteurs d’ajustement du DAS maximal moyenné

La variation du DAS maximal moyenné pour 1 g et pour 10 g par rapport aux différents modèles de corps humains a aussi été évaluée pour déduire les facteurs d’ajustement prudents (Annexe A). Alors que, comme prévu, les différents modèles de corps humains, dans des conditions similaires d’exposition, correspondent à des valeurs différentes de DAS maximal moyenné, cette variation est généralement attribuée à la différence de composition du tissu local des différents modèles. Toutes les conditions d’exposition et les modèles de corps humains utilisés pour l’étude de variation du DAS global ont aussi été utilisés pour

évaluer le DAS maximal moyenné. Par rapport au DAS global moyen, la tendance des valeurs du DAS maximal moyenné en fonction de la hauteur, de la masse ou de l'âge des sujets exposés, n'est pas cohérente et pour déduire les facteurs d'ajustement applicables dans toutes les conditions d'exposition, le calcul est basé sur l'évaluation prudente (le facteur le plus élevé parmi tous les modèles) des résultats.

Les Tableaux 6 à 9 présentent les facteurs d'ajustement du DAS maximal pour 1 g et pour 10 g pour les configurations avec passant et d'antenne sur coffre ainsi que les configurations d'antenne sur toit, obtenus dans l'étude informatique de l'IEC/IEEE 62704-2 [11] (voir l'Annexe B pour de plus amples informations). Ces facteurs d'ajustement doivent être appliqués à la moyenne spatiale maximale du DAS pour 1 g et 10 g évalués pour les modèles du passant et du passager définis dans ce document pour fournir l'estimation conservatrice de la moyenne spatiale maximale du DAS dans les conditions équivalentes de test. L'interpolation ou l'extrapolation linéaire de ces facteurs d'ajustement doit être utilisée pour toutes les autres fréquences de 30 MHz à 1 GHz, ainsi que les distances par rapport au passant qui sont inférieures à la distance maximale figurant dans les Tableaux 6 à 9.

Tableau 6 – Facteurs d'ajustement du DAS maximal moyenné pour configuration avec passant et antennes sur coffre

Fréquence MHz	Facteur du DAS pour 1 g	Facteur du DAS pour 10 g
30	1,0	1,0
50	1,0	1,0
75	1,0	1,1
100	1,4	1,3
150	1,3	1,3
300	1,6	1,6
450	1,5	1,8
800	1,3	2,3
1 000	1,1	2,5

NOTE 1 Les facteurs indiqués dans ce tableau s'appliquent à toutes les positions et distances du passant avec antenne sur coffre, représentées à la Figure 5.

NOTE 2 Les valeurs de 30 MHz, de 800 MHz et de 1 000 MHz indiquées dans ce tableau ont été déduites par extrapolation linéaire des résultats obtenus et en retenant la valeur maximale entre la valeur extrapolée et l'unité (voir l'Annexe B).

Tableau 7 – Facteurs d’ajustement du DAS maximal moyenné pour configuration avec modèle de passant et antennes sur toit

Fréquence MHz	Antenne au centre du toit				Antenne sur le côté du toit				Antennes au centre et sur le côté du toit avec passant à une distance > 50 cm du véhicule	
	20 cm du véhicule		40 cm du véhicule		20 cm du véhicule		40 cm du véhicule			
	1 g	10 g	1 g	10 g	1 g	10g	1 g	10g	1 g	10 g
33	1,3	1,2	1,3	1,0	1,4	1,3	1,2	1,0	1,0	1,0
80	1,1	1,2	1,3	1,0	1,3	1,2	1,3	1,1	1,0	1,1
150	1,4	1,3	1,2	1,0	1,2	1,3	1,3	1,4	1,3	1,3
450	1,6	1,4	1,6	1,3	1,2	1,9	1,8	2,3	1,5	1,8
800	2,5	2,3	2,6	2,4	2,0	2,0	1,4	1,4	1,5	1,8
1 000	3,2	2,8	3,4	2,9	2,2	2,2	2,8	2,5	1,5	1,8

Tableau 8 – Facteurs d’ajustement du DAS maximal moyenné pour configuration avec modèle de passager et antennes sur coffre

Fréquence MHz	Antenne sur coffre			
	Siège arrière, centre		Siège arrière, côté	
	1 g	10 g	1 g	10 g
33	1,0	1,2	1,0	1,0
80	1,0	1,0	1,0	1,0
150	1,9	2,0	4,2	4,4
450	2,4	2,4	2,0	2,3
800	1,0	1,0	1,4	1,2
1 000	1,3	1,1	1,0	1,0

Tableau 9 – Facteurs d’ajustement du DAS maximal moyenné pour configuration avec modèle de passager et antennes sur toit

Fréquence MHz	Antenne au centre du toit						Antenne sur le côté du toit					
	Siège arrière, centre		Siège arrière, côté		Siège avant		Siège arrière, centre		Siège arrière, côté		Siège avant	
	1 g	10 g	1 g	10 g	1 g	10 g	1 g	10 g	1 g	10 g	1 g	10 g
33	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
80	1,0	1,0	1,3	1,4	5,8	6,5	1,0	1,0	1,0	1,0	6,3	6,1
150	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,1	1,2	1,0	1,0	1,0	1,9	1,8
450	2,6	2,3	1,7	1,4	2,3	2,6	3,9	3,8	1,8	2,3	1,0	1,0
800	2,7	2,7	1,6	1,8	1,0	1,0	2,6	2,2	1,9	1,5	2,0	1,5
1 000	2,2	2,3	1,4	1,4	1,7	2,1	5,6	4,8	2,5	3,1	1,3	1,5

6 Validation des modèles numériques

6.1 Validation du modèle d'antenne

6.1.1 Généralités

Une série de montages d'essai de validation est définie afin de pouvoir valider le modèle d'antenne à utiliser dans les simulations FDTD. Ces montages d'essai sont adaptés pour une mise en œuvre expérimentale ou numérique, afin de fournir des solutions de référence dans les régions d'antenne en champ proche.

6.1.2 Validation du modèle expérimental d'antenne

Dans le montage d'essai expérimental de validation, l'antenne en essai doit être montée sur un plan de masse carré ou rond, simulant les conditions de fonctionnement sur un véhicule. Les mesurages en champ proche sont effectués afin d'obtenir des résultats de référence qui seront comparés aux prévisions des simulations. Par exemple, les modèles de simulation des antennes unipolaires de gain avec bobine de charge inductive doivent être soumis à cet essai de validation pour démontrer l'exactitude de ces modèles. Toutes les simulations pour la validation de l'antenne en essai sur le plan de masse fini doivent être effectuées à l'aide de la résolution de grille FDTD qui est utilisée pour les simulations d'exposition suivantes, avec les modèles de véhicule et de corps humains, afin de garantir la cohérence et l'applicabilité des simulations réelles d'exposition.

Pour ce montage expérimental, le plan de masse de l'antenne doit présenter au moins les dimensions suivantes: 1 000 mm de diamètre s'il est rond, ou 1 000 mm × 1 000 mm de côté s'il est carré. L'antenne doit être montée au centre du plan de masse. Une séparation minimale d'au moins une longueur d'onde doit être maintenue avec les autres objets métalliques entourant l'antenne installée sur le plan de masse, sinon les objets métalliques (par exemple le robot de balayage automatisé) doivent être couverts par des absorbeurs RF. Il est conseillé de placer les matériaux absorbants à une distance latérale minimale d'une demi-longueur d'onde par rapport au plan de masse (voir la Figure 6) afin de réduire le plus possible les réflexions résiduelles des autres objets. Pour les absorbeurs placés sur le sol en dessous du plan de masse, cette distance doit être au moins égale à un quart de longueur d'onde. Le support du plan de masse de l'antenne doit être constitué d'un matériau non conducteur, par exemple du bois ou du plastique à faible constante diélectrique, afin de réduire le plus possible les interactions avec l'antenne en essai. Dans certains cas, notamment à basses fréquences (par exemple, inférieures à 300 MHz), les exigences ci-dessus relatives aux distances de séparation par rapport au montage d'essai, peuvent être difficiles à satisfaire. Dans ces cas de figure, le mesurage doit être effectué dans un environnement anéchoïque ou quasi anéchoïque (par exemple, une chambre anéchoïque) permettant de satisfaire aux exigences indiquées ci-dessus.

L'antenne étant placée sur le plan de masse, comme décrit ci-dessus, les amplitudes des champs électriques et magnétiques doivent être mesurées au-dessus du plan de masse le long de la ligne verticale, comme représenté à la Figure 6. La ligne de mesure doit se situer à la distance d , égale à 200 mm, de l'axe de l'antenne. Les points d'essai auxquels les valeurs de champs électriques et magnétiques sont mesurées, doivent être répartis de manière uniforme sur la ligne de mesure, espacés de 100 mm ou d'une longueur d'onde de 0,1, selon la valeur la plus faible.

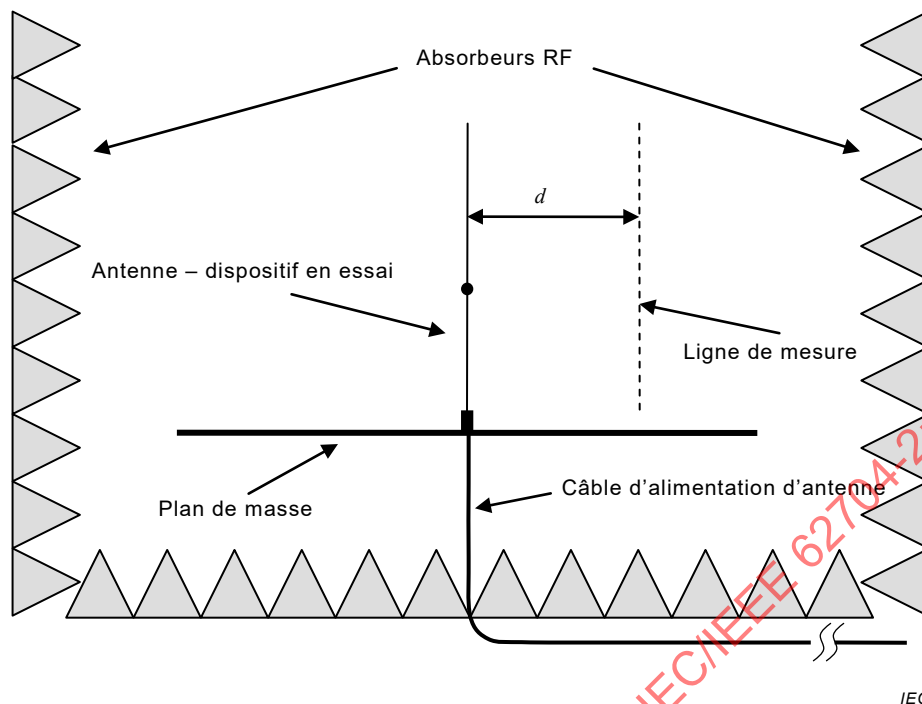


Figure 6 – Montage expérimental pour validation du modèle d'antenne

Le câble d'alimentation de l'antenne doit descendre verticalement du centre du plan de masse (point d'alimentation de l'antenne) et être acheminé jusqu'à la source RF sous les absorbeurs disposés sous le plan de masse (voir la Figure 6).

La puissance fournie à l'antenne doit être mesurée avant d'effectuer les mesurages de champ. À cet effet, un coupleur directif avec wattmètres ou un analyseur de réseau doit être utilisé pour évaluer la puissance directe et la puissance réfléchie au niveau du port de l'antenne. La puissance reçue par l'antenne doit pour sa part être calculée pour normaliser les résultats de simulation du modèle de validation numérique de l'antenne, en tenant compte de la perte de puissance dans le câble d'alimentation. Les mesurages de champs doivent être effectués à l'aide des sondes de champ électrique et magnétique étalonnées avec une valeur connue d'incertitude de mesure. Les meilleures pratiques de mesure du champ électromagnétique doivent être observées conformément aux spécifications données en [12], [13] et [14]. Afin de réduire le plus possible l'incertitude de mesure, il convient de ne pas utiliser, pour ce type de mesure, les sondes de mesure RF équipées de capteurs de plus de 5 cm, car elles peuvent ne pas établir correctement la distribution de champ près de l'antenne et peuvent interagir de façon significative avec la distribution. Pour les mêmes raisons, il est recommandé d'automatiser le positionnement de la sonde au cours du mesurage.

Selon le calcul spécifié en 7.2.4, l'écart des résultats numériques par rapport aux mesurages doit être compris dans les limites d'une incertitude-type des mesurages. Le modèle numérique de l'antenne pouvant présenter un biais prudent (par exemple, le fait de ne pas prendre en compte les pertes de désadaptation en appliquant numériquement les conditions parfaites d'adaptation ou le fait de ne pas prendre en compte les pertes métalliques en utilisant le PEC), il est admis que les résultats numériques surestiment les résultats mesurés dans la plage de biais établis au-delà de l'incertitude de mesure.

6.1.3 Validation du modèle numérique d'antenne

Au lieu de les obtenir par les mesurages décrits en 6.1.2, les résultats de référence peuvent aussi être générés sur la base de la modélisation numérique exacte à haute résolution de l'antenne en essai. Le modèle de simulation numérique pour cette validation est défini comme étant le même que pour le montage d'essai expérimental décrit en 6.1.2. Les amplitudes

calculées des valeurs des champs électriques et magnétiques peuvent servir de données de référence, au lieu des données mesurées.

Pour le modèle de référence numérique en essai, un modèle pleine-onde d'exactitude élevée de l'antenne montée sur le ou les plans de masse (voir 6.1.2) est simulé à l'aide d'un code numérique différent, appliquant de préférence une méthodologie autre que FDTD, par exemple un code de méthode des moments pour les structures métalliques. L'utilisation de la méthode des moments (MoM⁶) est justifiée par le fait que, dans le cas des structures métalliques, il s'agit probablement de la méthode qui garantit la plus grande exactitude possible. À l'instar de la FDTD, la méthode MoM permet de modéliser une amplitude de signal de source produisant une puissance rayonnée prédéfinie, ce qui fournit un élément de comparaison pertinent pour les régions en champ proche et en champ lointain. Les codes FDTD ou de la Méthode des éléments finis (FEM⁷) peuvent aussi être utilisés à cet effet pour modéliser l'antenne avec une résolution très élevée, qui ne peut être obtenue dans les configurations de simulation de l'exposition du véhicule.

La validation numérique est particulièrement adaptée par exemple aux antennes unipolaires rectilignes filaires de différentes longueurs, ou aux antennes filaires avec bobines inductives généralement situées sur l'élément rayonnant de l'antenne, pour mettre correctement en phase les courants induits le long des différentes sections de l'antenne. Ces structures peuvent être simulées de façon exacte et fiable à l'aide de différentes méthodes numériques, y compris la MoM ou la FEM ou la FDTD à haute résolution. La convergence et l'exactitude des simulations doivent être consignées dans le rapport.

6.2 Validation du modèle du corps humain

La validation numérique des modèles normalisés du passant et du passager a pour objet de vérifier par des essais la validité et l'exactitude de la modélisation mise en œuvre dans un code particulier FDTD. La validation est fondée sur les simulations de l'exposition des modèles du passant et du passager à une source RF de référence bien définie, telle qu'une onde plane. L'essai vérifie que les modèles sont correctement importés dans le projet de simulation et que l'outil logiciel est cohérent avec les procédures de simulation de DAS définies dans le présent document et dans l'IEC/IEEE 62704-1. L'essai évalue également l'écart des résultats calculés du DAS par rapport aux valeurs de référence obtenues pour ces modèles. Les modèles normalisés de corps humains (passant et passager) en voxels définis dans le présent document doivent être utilisés sans modifications pour cette procédure de validation. Les modèles doivent être simulés dans l'espace libre comportant une onde plane incidente polarisée verticalement. Les conditions d'exposition à l'avant et à l'arrière doivent être évaluées séparément. La fréquence sélectionnée pour une simulation particulière de validation doit être la plus proche possible de la fréquence réelle de la configuration d'exposition à simuler pour l'évaluation de conformité. Tous les résultats de DAS doivent être normalisés à la densité de puissance de l'onde plane moyenne de $1,0 \text{ W/m}^2$. Les modèles du passager et du passant, exigés pour ces validations, ont été simulés à une distance minimale de 200 mm des couches parfaitement adaptées (PML) définies dans les limites du domaine de calcul. D'autres conditions aux limites du domaine de calcul peuvent être utilisées, comme spécifié dans l'IEC/IEEE 62704-1.

Les résultats de référence du DAS pour le modèle du passant sont indiqués dans le Tableau 10 et ceux pour le modèle du passager sont indiqués dans le Tableau 11. Ces résultats ont été calculés pour l'exposition à l'onde plane à l'aide des modèles du passant et du passager d'une résolution de 3 mm, maillés uniformément dans le domaine de calcul.

Afin d'utiliser les résultats de référence, et pour que l'essai soit valide et applicable à l'évaluation d'exactitude de la simulation, toutes les simulations de conformité doivent être effectuées à l'aide des modèles normalisés de corps humains de passant et/ou de passager, d'une résolution de 3 mm.

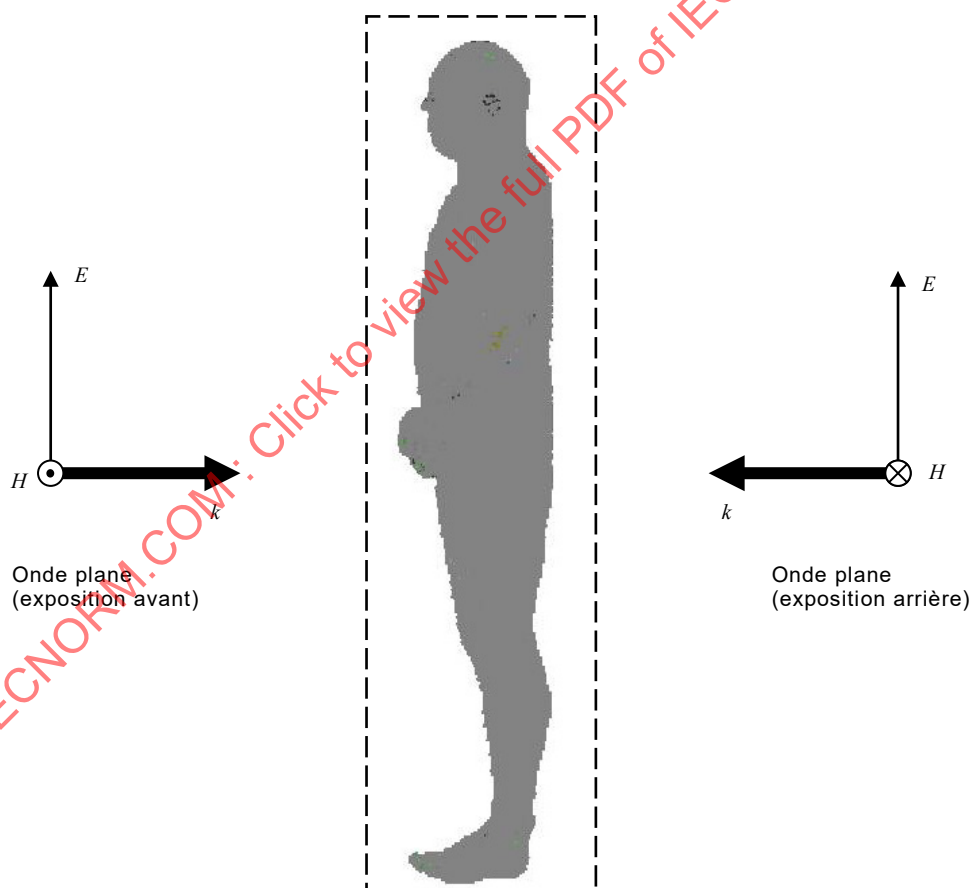
⁶ MoM = *method of moments*.

⁷ FEM = *finite element method*

Tableau 10 – DAS maximal moyenné pour 1 g et pour 10 g et DAS global moyen pour l'exposition avant et arrière à l'onde plane du modèle de passant d'une résolution de 3 mm

Fréquence MHz	DAS pour 1 g W/kg		DAS pour 10 g W/kg		DAS global moyen W/kg	
	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière
30	0,198	0,186	0,123	0,117	0,004 63	0,004 63
75	0,458	0,455	0,319	0,290	0,020 13	0,019 63
150	0,140	0,143	0,068	0,089	0,006 93	0,006 61
300	0,096	0,119	0,074	0,076	0,005 80	0,005 65
450	0,170	0,182	0,103	0,110	0,006 28	0,006 12
800	0,386	0,131	0,171	0,092	0,006 05	0,005 60
1 000	0,404	0,097	0,175	0,055	0,005 66	0,005 18

La Figure 7 représente la configuration correspondante de validation de référence caractérisant l'exposition avant et arrière du passant à une onde plane.



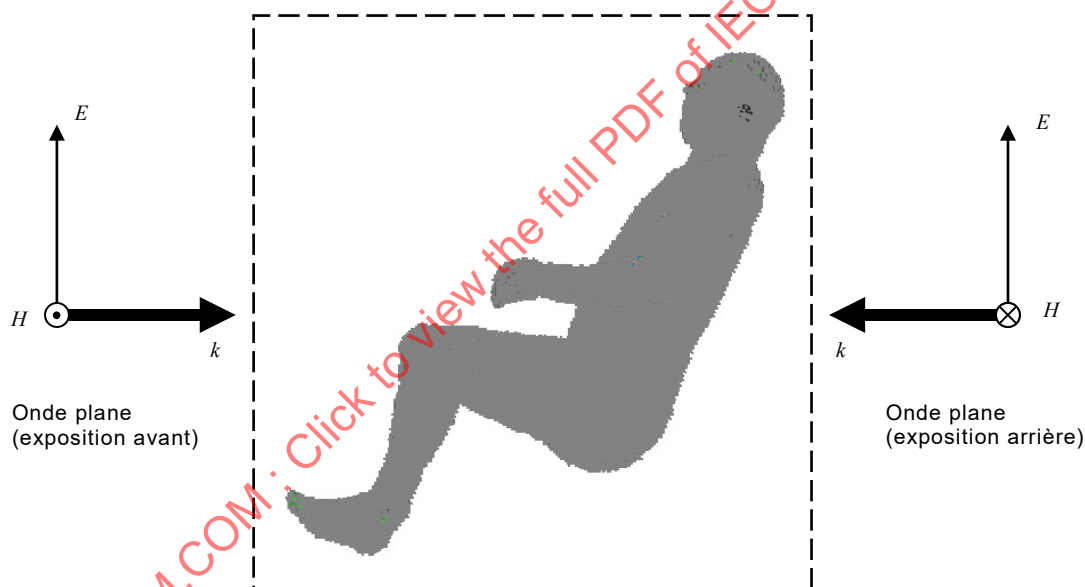
IEC

Figure 7 – Configuration de référence pour l'exposition avant ou arrière du modèle de passant à une onde plane

**Tableau 11 – DAS maximal moyenné pour 1 g et pour 10 g
et DAS global moyen pour l'exposition avant et arrière à l'onde
plane du modèle de passager avec résolution de 3 mm**

Fréquence MHz	DAS pour 1 g W/kg		DAS pour 10 g W/kg		DAS global moyen W/kg	
	Avant	Arrière	Avant	Arrière	Avant	Arrière
30	0,056	0,054	0,034	0,037	0,001 26	0,001 27
75	0,146	0,317	0,083	0,219	0,007 98	0,008 18
150	0,281	0,203	0,226	0,150	0,009 90	0,008 98
300	0,111	0,114	0,067	0,070	0,004 98	0,004 77
450	0,142	0,150	0,103	0,085	0,004 85	0,004 55
800	0,110	0,075	0,073	0,045	0,004 24	0,003 96
1 000	0,128	0,071	0,089	0,046	0,004 00	0,003 64

La Figure 8 représente la configuration correspondante de validation de l'exposition avant et arrière à l'onde plane.



IEC

Figure 8 – Configuration de référence pour l'exposition avant ou arrière du modèle de passager à une onde plane

La validation doit être réputée satisfaisante si les résultats du calcul du DAS maximal moyenné pour 1 g et pour 10 g et du DAS global moyen sont respectivement compris dans les limites de $\pm 10\%$ et $\pm 5\%$, des valeurs de référence correspondantes définies dans le Tableau 10 et le Tableau 11. Les emplacements du DAS maximal moyenné doivent être les mêmes que ceux décrits à l'Annexe C pour les configurations correspondantes.

6.3 Validation du modèle numérique du véhicule

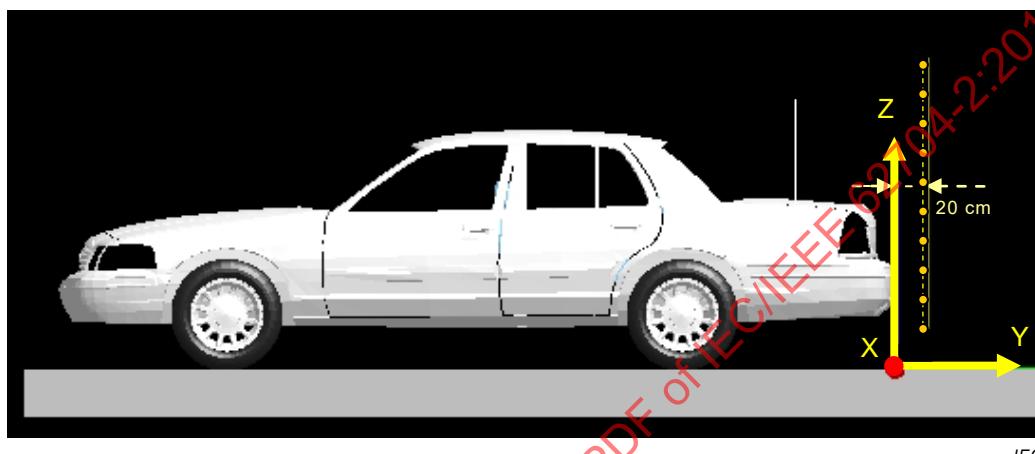
6.3.1 Généralités

Le modèle numérique et les configurations de simulation définis en 6.3 valident la représentation correcte du modèle du véhicule et son maillage dans la grille FDTD. Cet essai de validation simule le champ électromagnétique produit par une antenne unipolaire quart

d'onde bien caractérisée sur le coffre du véhicule, ce qui permet donc l'évaluation de l'exactitude du modèle du véhicule. La fréquence sélectionnée pour une simulation de validation particulière comme défini en 6.3.2 et 6.3.3 doit être la plus proche de la fréquence réelle de la configuration d'exposition à simuler pour l'évaluation de conformité.

6.3.2 Validation du modèle du véhicule pour les simulations d'exposition du passant

La configuration est définie selon la Figure 9 avec le modèle de chaussée défini en 5.4. Le modèle du véhicule normalisé doit être maillé avec la même résolution de grille FDTD utilisée pour les simulations d'exposition pour les évaluations de conformité. L'antenne unipolaire quart d'onde doit être placée au centre du coffre.



IEC

NOTE Selon le système de coordonnées du modèle CAO du véhicule normalisé, la base de l'antenne est située à $Y = -57,5$ cm.

Figure 9 – Configuration pour la validation du modèle numérique du véhicule

Les longueurs de l'antenne quart d'onde aux fréquences sélectionnées sont indiquées dans le Tableau 12.

Tableau 12 – Longueur d'antenne pour les configurations de validation du modèle de véhicule

Fréquence MHz	Longueur d'antenne cm
33	115
80	101
150	50,5
450	18,0
800	9,0
1 000	7,0

Les valeurs des champs électriques et magnétiques doivent être calculées sur une ligne verticale située à 20 cm derrière la carrosserie du véhicule, en dix emplacements espacés de 20 cm, en commençant à 20 cm au-dessus du sol (voir la Figure 9). La ligne est située dans le plan de symétrie du véhicule.

Pour ce modèle de validation, les résultats de référence ont été calculés comme une moyenne des résultats obtenus de plusieurs outils différents de simulation validés

conformément à l'IEC/IEEE 62704-1 et sont présentés dans le Tableau 13. Tous les résultats sont normalisés à une puissance moyenne de 1 W émise par l'antenne.

Tableau 13 – Valeurs de référence du champ électrique (en haut) et du champ magnétique (en bas) pour la validation numérique du modèle du véhicule, pour l'exposition du passant

Point	Position au-dessus du sol cm	Amplitude du champ électrique V/m					
		33 MHz	80 MHz	150 MHz	450 MHz	800 MHz	1 000 MHz
1	20	7,32E+00	6,20E+00	3,50E+00	3,38E+00	1,95E+00	2,72E+00
2	40	8,77E+00	8,30E+00	3,82E+00	3,12E+00	3,04E+00	4,11E+00
3	60	9,65E+00	1,04E+01	4,45E+00	5,12E+00	4,33E+00	4,60E+00
4	80	9,61E+00	1,15E+01	6,04E+00	6,13E+00	3,89E+00	5,71E+00
5	100	1,04E+01	1,28E+01	8,74E+00	9,25E+00	1,02E+01	1,13E+01
6	120	1,21E+01	1,31E+01	1,01E+01	1,16E+01	1,32E+01	1,62E+01
7	140	1,51E+01	1,23E+01	9,77E+00	1,16E+01	1,47E+01	1,46E+01
8	160	1,77E+01	1,12E+01	8,56E+00	1,02E+01	1,45E+01	1,15E+01
9	180	1,91E+01	1,02E+01	7,00E+00	8,74E+00	1,18E+01	9,35E+00
10	200	1,90E+01	9,27E+00	5,52E+00	7,83E+00	7,82E+00	7,00E+00
Point	Position au-dessus du sol cm	Amplitude du champ magnétique A/m					
		33 MHz	80 MHz	150 MHz	450 MHz	800 MHz	1 000 MHz
1	20	1,97E-02	1,83E-02	8,68E-03	5,37E-03	7,98E-03	7,28E-03
2	40	2,23E-02	2,07E-02	1,04E-02	1,07E-02	1,02E-02	8,19E-03
3	60	2,71E-02	2,77E-02	1,74E-02	1,36E-02	1,37E-02	1,21E-02
4	80	3,22E-02	3,36E-02	2,30E-02	1,55E-02	1,02E-02	1,50E-02
5	100	3,57E-02	3,38E-02	2,52E-02	1,82E-02	2,66E-02	3,01E-02
6	120	3,77E-02	3,33E-02	2,68E-02	3,21E-02	3,40E-02	4,40E-02
7	140	3,65E-02	3,27E-02	2,58E-02	3,21E-02	3,93E-02	3,78E-02
8	160	3,27E-02	3,10E-02	2,19E-02	2,67E-02	3,85E-02	2,95E-02
9	180	2,72E-02	2,81E-02	1,70E-02	2,33E-02	3,16E-02	2,48E-02
10	200	2,10E-02	2,46E-02	1,26E-02	2,08E-02	2,04E-02	1,89E-02

La validation doit être réputée satisfaisante si l'écart calculé conformément à la Formule (5) de 7.2.3 à l'aide des résultats de référence du Tableau 13 est inférieur à 30 %. Cet écart maximal autorisé représente la variation observée des valeurs produites par différents codes à un emplacement donné, par rapport à leur moyenne, qui correspond à la valeur de référence du Tableau 13 pour cet emplacement.

NOTE L'écart qui peut être obtenu en pratique, entre le DAS et les valeurs cibles définies pour les modèles de simulation de référence du passant en 8.2, ne dépasse pas 17 %, ce qui est bien inférieur à l'écart des valeurs de champ électrique et magnétique, calculées comme décrit en 6.3.3.

6.3.3 Validation du modèle du véhicule pour les simulations d'exposition du passager

La validation du modèle du véhicule pour les simulations d'exposition du passager (et du conducteur) doit être effectuée de façon analogue à la validation du modèle du véhicule pour

l'exposition du passant, décrite en 6.3.3, à l'exception des emplacements de calcul des champs électriques et magnétiques, pour la comparaison avec les valeurs de référence. Les coordonnées des points d'essai par rapport au modèle du véhicule normalisé sont définies dans le Tableau 14. Ces points d'essai sont répartis sur les emplacements des sièges arrière et avant du véhicule.

Tableau 14 – Coordonnées des points d'essai pour les simulations de validation avec véhicule normalisé, pour passager

Point d'essai	Emplacement	X mm	Y mm	Z mm
1	Siège arrière centre	0	–1 560	1 250
2	Siège arrière centre	0	–1 700	950
3	Siège arrière centre	0	–1 900	650
4	Siège arrière côté	–430	–1 560	1 250
5	Siège arrière côté	–430	–1 700	950
6	Siège arrière côté	–430	–1 900	650
7	Siège avant côté	–430	–2 600	1 250
8	Siège avant côté	–430	–2 700	900
9	Siège avant côté	–430	–2 800	650

Le Tableau 15 indique les résultats de référence obtenus pour cet essai de validation à l'aide de plusieurs outils différents de simulation conformes aux exigences du présent document et validés conformément à l'IEC/IEEE 62704-1. Tous les résultats sont normalisés à une puissance moyenne de 1 W émise par l'antenne.

Tableau 15 – Valeurs de référence du champ électrique (en haut) et du champ magnétique (en bas) pour la validation numérique du modèle du véhicule, pour l'exposition du passager

Point	Amplitude du champ électrique					
	V/m					
	33 MHz	80 MHz	150 MHz	450 MHz	800 MHz	1 000 MHz
1	10,9	17,3	16,1	18,7	8,45	11,3
2	3,49	7,88	15,1	12,3	11,1	11,8
3	1,05	3,19	14,4	9,08	5,88	12
4	7,69	11,8	10,9	9,27	8,51	8,21
5	2,47	5,42	12,7	13,2	7,99	9,18
6	0,74	2,35	11,9	11,5	6,09	6,42
7	1,36	3,13	5,46	12,7	9,58	7,02
8	0,63	2,35	10,6	6,97	10,7	4,23
9	0,63	2,32	12,6	6,41	9,78	10,7
Point	Amplitude du champ magnétique					
	10 ⁻² A/m					
	33 MHz	80 MHz	150 MHz	450 MHz	800 MHz	1 000 MHz
1	2,40	1,71	2,82	1,89	3,05	1,50
2	1,31	1,19	2,32	2,57	2,43	1,45
3	0,71	0,90	3,10	2,10	1,01	1,26
4	3,83	4,15	3,80	2,68	1,22	2,97
5	1,56	1,78	2,39	3,33	1,05	1,49
6	0,72	0,98	2,93	3,34	1,88	1,23
7	0,53	0,84	2,21	2,22	3,41	0,92
8	0,45	0,52	2,37	2,44	0,81	3,24
9	0,39	0,49	3,16	2,55	1,48	1,69

La validation doit être réputée satisfaisante si l'écart calculé conformément à la Formule (5) de 7.2.3 à l'aide des résultats de référence du Tableau 15 est inférieur à 45 %. Cet écart maximal autorisé représente la variation observée des valeurs produites par différents codes à un emplacement donné, par rapport à leur moyenne, qui correspond à la valeur de référence du Tableau 15 pour cet emplacement.

NOTE L'écart qui peut être obtenu en pratique, entre le DAS et les valeurs cibles définies pour le modèle de simulation de référence du passager en 8.3, ne dépasse pas 20 %, ce qui est bien inférieur à l'écart des valeurs de champ électrique et magnétique calculées dans le modèle de véhicule à vide, comme décrit en 6.3.3.

7 Incertitude informatique

7.1 Considérations générales

À l'instar de toute méthode expérimentale, la procédure informatique du DAS présente un niveau d'incertitude associé à l'évaluation numérique de l'exposition dans des conditions spécifiques d'exposition décrites dans le présent document et avec la représentation numérique approximative des antennes. Pour réduire le plus possible l'incertitude, toutes les évaluations de DAS décrites dans le présent document doivent être effectuées en utilisant un code informatique validé selon l'Article 8 de l'IEC/IEEE 62704-1:—. Cette validation est

généralement effectuée par le fournisseur du logiciel. Pour les besoins des évaluations du DAS avec antennes sur véhicule, il n'est pas exigé d'effectuer tous les essais de validation décrits dans l'IEC/IEEE 62704-1:—. Plus précisément, les spécifications de 8.3.3 et de 8.3.4 de l'IEC/IEEE 62704-1:— peuvent ne pas être appliquées car elles concernent plus particulièrement les simulations d'exposition des émetteurs portables, c'est-à-dire les émetteurs destinés à fonctionner à une distance du corps humain inférieure ou égale à 200 mm.

Des essais spécifiques de validation développés pour les évaluations d'exposition du passant et du passager sont définis à l'Article 6. Ces essais de validation doivent être effectués aux fréquences comprises dans la ou les bandes de fonctionnement de l'antenne, ou aux fréquences les plus proches possible de la ou des bandes, pour lesquelles l'évaluation numérique du DAS est exigée et les résultats doivent être consignés dans le rapport.

7.2 Contributions à l'incertitude numérique globale dans les configurations normalisées d'essai

7.2.1 Généralités

Les procédures d'essai de validation de l'Article 6 sont utilisées pour évaluer l'incertitude globale des simulations du DAS dans les configurations normalisées d'essai, comme cela est défini dans le présent document en évaluant les contributions à l'incertitude de différents composants du modèle numérique. En particulier, les incertitudes informatiques et de modélisation correspondent aux catégories suivantes:

- a) l'incertitude de l'algorithme numérique;
- b) l'incertitude de la représentation numérique du modèle de l'antenne;
- c) l'incertitude de la représentation numérique des modèles du véhicule normalisé et du sol;
- d) l'incertitude de l'évaluation du DAS dans les modèles normalisés du passant et du passager.

Initialement, les modèles physiques de l'antenne et du véhicule, décrits à l'Article 5, sont représentés numériquement par un modèle CAO. Le modèle CAO est ensuite traduit numériquement dans la grille de simulation. Deux contributions à l'incertitude peuvent être distinguées et évaluées individuellement. La première est l'incertitude de la représentation numérique du modèle CAO du véhicule avec modélisation de la chaussée, à l'aide d'une antenne quart d'onde de la longueur définie dans le Tableau 12. La deuxième est l'incertitude de la modélisation de l'antenne utilisée pour la simulation réelle d'exposition.

7.2.2 Incertitude de l'algorithme numérique

L'incertitude de l'algorithme numérique doit être évaluée selon le Tableau 3 de l'IEC/IEEE 62704-1:—. Cependant, la contribution de la résolution de maille (rendu du dispositif) doit être exclue de cette évaluation, car elle est déjà prise en compte en 7.2.3 et en 7.2.4. L'incertitude-type composée du Tableau 3 de l'IEC/IEEE 62704-1:— qui exclut la contribution de la résolution de maille doit être renseignée directement dans la colonne g du Tableau 16.

7.2.3 Incertitude de la représentation numérique du véhicule et de la chaussée

Le modèle du véhicule normalisé est prédéfini et donc l'incertitude de sa représentation numérique peut être évaluée *a priori*. La carrosserie métallique du modèle du véhicule et le modèle spécifique du sol peuvent avoir un impact décisif sur la distribution du champ EM à l'intérieur et à l'extérieur du véhicule, aux points d'évaluation de l'exposition. L'incertitude des simulations du DAS en fonction de la représentation numérique des modèles du véhicule et du sol peut être évaluée selon 6.3 à l'aide d'une antenne quart d'onde montée sur le véhicule à l'emplacement prédéfini. À cet effet, l'incertitude due à la modélisation numérique du véhicule et du sol doit être évaluée sur la base des résultats de référence calculés pour le modèle du véhicule normalisé (voir 6.3) et des résultats correspondants calculés avec l'outil numérique employé. Cette contribution à l'incertitude doit être évaluée séparément pour les

conditions d'exposition du passant et du passager. La procédure exige le calcul des amplitudes du champ électrique et du champ magnétique à plusieurs points d'essai de référence P_i indiqués dans le Tableau 13 pour le passant (exposition à l'extérieur du véhicule) et le Tableau 14 et le Tableau 15 pour le passager (exposition à l'intérieur du véhicule).

Pour le DAS maximal moyenné pour 1 g et pour 10 g, l'incertitude est basée sur l'écart maximal des carrés calculés des amplitudes de champ électrique et magnétique, par rapport aux valeurs de référence respectives. Cet écart maximal pour chaque validation doit être calculé comme suit:

$$DAS_{\text{vehicle_uncert}}^{1\text{-g},10\text{-g}}[\%] = 100 \times \text{MAX}_{i=1}^N \left(\frac{|E_{\text{ref}}^2(P_i) - E_{\text{num}}^2(P_i)|}{E_{\text{ref max}}^2(P_n)}, \frac{|H_{\text{ref}}^2(P_i) - H_{\text{num}}^2(P_i)|}{H_{\text{ref max}}^2(P_n)} \right) \quad (5)$$

Pour le DAS global moyen, la contribution à l'incertitude est basée sur la contribution combinée des écarts calculés pour tous les points d'essai par rapport aux valeurs de référence respectives. Cet écart combiné pour chaque validation doit être calculé comme suit:

$$DAS_{\text{vehicle_uncert}}^{\text{WB}}[\%] = 100 \times \text{MAX} \left(\sqrt{\frac{\sum_i |E_{\text{ref}}^2(P_i) - E_{\text{num}}^2(P_i)|^2}{\sum_i |E_{\text{ref}}^2(P_i)|^2}}, \sqrt{\frac{\sum_i |H_{\text{ref}}^2(P_i) - H_{\text{num}}^2(P_i)|^2}{\sum_i |H_{\text{ref}}^2(P_i)|^2}} \right) \quad (6)$$

où

- $E_{\text{ref}}(P_i)$ est l'amplitude de référence du champ électrique, évaluée au point d'essai P_i ;
- $H_{\text{ref}}(P_i)$ est l'amplitude de référence du champ magnétique, évaluée au point d'essai P_i ;
- $E_{\text{ref max}}(P_n)$ est l'amplitude de référence maximale du champ électrique à tous les points d'essai P_i évalués, qui se produit pour $i = n$;
- $H_{\text{ref max}}(P_n)$ est l'amplitude de référence maximale du champ magnétique à tous les points d'essai P_i évalués, qui se produit pour $i = n$;
- $E_{\text{num}}(P_i)$ est l'amplitude du champ électrique déterminée numériquement au point d'essai P_i à l'aide du code numérique;
- $H_{\text{num}}(P_i)$ est l'amplitude du champ magnétique déterminée numériquement au point d'essai P_i à l'aide du code numérique;
- MAX est l'opérateur qui sélectionne la valeur maximale de l'ensemble de données entre parenthèses.

Les écarts les plus importants, calculés selon les Formules (5) et (6) sont renseignés dans la colonne c du Tableau 16. Les contributions à l'incertitude-type sont calculées à partir de ces écarts selon les indications de la colonne g du Tableau 16, et renseignées dans cette colonne.

7.2.4 Incertitude du modèle de l'antenne

Contrairement au modèle de véhicule normalisé, l'antenne sur véhicule peut être différente d'un produit à l'autre, du simple émetteur unipolaire à fils à des structures plus complexes, y compris des structures unipolaires à bobines réactives, etc. De même, un produit radio mobile peut comporter différents types d'antennes dont il est nécessaire d'évaluer individuellement la conformité. La plupart des antennes radios mobiles sont généralement installées sur la carrosserie métallique du véhicule. Pour fonctionner correctement, elles utilisent le plan de masse à proximité de l'emplacement de montage (par exemple, emplacements de montage sur coffre ou sur toit, décrits dans le présent document). Pour évaluer l'incertitude de la modélisation de l'antenne, une condition similaire de fonctionnement doit être créée pour

permettre une évaluation fiable et exacte du champ proche produit par l'antenne émettrice. Pour les antennes qui doivent être installées sur le plan de masse métallique, la condition de référence applicable pour l'évaluation de l'incertitude de la modélisation numérique de l'antenne doit être le montage décrit en 6.1. Les valeurs de référence de champ électrique et magnétique doivent pour leur part être déterminées pour tous les points d'essai P_i , conformément à 6.1.2 ou 6.1.3. Les composantes d'incertitude doivent être calculées sur la base de l'écart maximal des valeurs numériques simulées pour le modèle de l'antenne par rapport aux valeurs de référence correspondantes, comme suit:

$$DAS_{DUT_uncertainty} [\%] = 100 \times MAX_{i=1}^N \left(\frac{|E_{ref}^2(P_i) - E_{num}^2(P_i)|}{E_{ref\ max}^2(P_n)}, \frac{|H_{ref}^2(P_i) - H_{num}^2(P_i)|}{H_{ref\ max}^2(P_n)} \right) \quad (7)$$

où

$E_{ref}(P_i)$	est l'amplitude de référence du champ électrique, évaluée au point d'essai P_i ;
$H_{ref}(P_i)$	est l'amplitude de référence du champ magnétique, évaluée au point d'essai P_i ;
$E_{num}(P_i)$	est l'amplitude déterminée numériquement du champ électrique évaluée au point d'essai P_i ;
$H_{num}(P_i)$	est l'amplitude déterminée numériquement du champ magnétique évaluée au point d'essai P_i ;
$E_{ref\ max}(P_n)$	est l'amplitude de référence maximale du champ électrique à tous les points d'essai P_i évalués, qui se produit pour $i = n$;
$H_{ref\ max}(P_n)$	est l'amplitude de référence maximale du champ magnétique à tous les points d'essai P_i évalués, qui se produit pour $i = n$;
MAX	est l'opérateur qui sélectionne la valeur maximale de l'ensemble de données entre parenthèses.

L'écart maximal calculé selon la Formule (7) est renseigné dans la colonne c du Tableau 16. La contribution à l'incertitude-type est calculée à partir de cet écart selon les indications de la colonne g du Tableau 16, et renseignée dans cette colonne.

NOTE Si les antennes simulées sont unipolaires rectilignes filaires, similaires à celles décrites en 6.3, utilisées pour la validation du modèle numérique du véhicule, aucune contribution supplémentaire à l'incertitude n'est exigée, car elle est déjà comprise dans les résultats évalués selon 7.2.3.

7.2.5 Incertitude de l'évaluation du DAS dans les modèles normalisés du passant et du passager

La contribution à l'incertitude associée à la représentation des modèles normalisés du passant et du passager dans la grille FDTD et aux calculs du DAS pour ces modèles, est évaluée sur la base des conditions d'exposition à l'onde plane, définies en 6.2. Les modèles normalisés de corps humains doivent être traduits dans la grille FDTD avec la résolution de 3 mm exigée par le présent document, utilisée pour les simulations réelles d'exposition pour la conformité des antennes sur véhicule. L'évaluation doit être effectuée séparément pour le modèle du passant et du passager. Les conditions d'exposition sont détaillées en 6.2. La contribution à l'incertitude du DAS est déterminée sur la base des écarts des valeurs calculées du DAS maximal moyenné pour 1 g et pour 10 g et/ou du DAS global moyen, par rapport aux valeurs de référence correspondantes du DAS, indiquées dans le Tableau 10 et le Tableau 11 respectivement pour les modèles du passant et du passager. Les écarts relatifs doivent être calculés dans toutes les conditions d'exposition indiquées en 6.2, comme suit:

$$DAS_{body_model_uncertainty} [\%] = 100 \times \left| \frac{DAS_{ref} - DAS_{num}}{DAS_{ref}} \right| \quad (8)$$