

CONSOLIDATED VERSION

VERSION CONSOLIDÉE



Exposure to electric or magnetic fields in the low and intermediate frequency range – Methods for calculating the current density and internal electric field induced in the human body –

Part 3-1: Exposure to electric fields – Analytical and 2D numerical models

Exposition aux champs électriques ou magnétiques à basse et moyenne fréquence – Méthodes de calcul des densités de courant induit et des champs électriques induits dans le corps humain –

Partie 3-1: Exposition à des champs électriques – Modèles analytiques et numériques 2D

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 17.220.20

ISBN 978-2-8322-3683-3

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

REDLINE VERSION

VERSION REDLINE



Exposure to electric or magnetic fields in the low and intermediate frequency range – Methods for calculating the current density and internal electric field induced in the human body –

Part 3-1: Exposure to electric fields – Analytical and 2D numerical models

Exposition aux champs électriques ou magnétiques à basse et moyenne fréquence – Méthodes de calcul des densités de courant induit et des champs électriques induits dans le corps humain –

Partie 3-1: Exposition à des champs électriques – Modèles analytiques et numériques 2D

CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	8
2 Exposure to electric field	8
3 General procedure.....	11
3.1 Shape factor.....	11
3.2 Procedure	11
4 Human body models	12
4.1 General.....	12
4.2 Surface area	12
4.3 Semi-spheroidal model.....	13
4.4 Axisymmetrical body model	15
5 Calculation of induced current	16
5.1 General.....	16
5.2 Semi-spheroid	16
5.3 Axisymmetrical models.....	20
5.4 Comparison of the analytical and numerical models	27
6 Influence of electrical parameters	28
6.1 General.....	28
6.2 Influence of permittivity	28
6.3 Influence of conductivity	28
6.4 Non-homogeneous conductivity.....	29
7 Measurement of currents induced by electric fields.....	29
7.1 General.....	29
7.2 Current flowing to the ground	29
Annex A (normative) Analytical solutions for a spheroid in a uniform electric field.....	31
Annex B (normative) Human body axisymmetrical model	34
Annex C (informative) Child body model	39
Annex D (informative) Example of use of this standard	41
Annex E (informative) Numerical calculation methods.....	45
Bibliography.....	53
Figure 1 – Illustration of the phenomenon of currents induced by electric field in a human body standing on the ground	10
Figure 2 – Potential lines of the electric field generated by an energised wire in the absence of any objects (all distances in metres)	10
Figure 3 – A realistic body model.....	12
Figure 4 – Scheme of the semi-spheroid simulating a human being standing on a zero potential plane	13
Figure 5 – Equivalent spheroid radius, R , versus height, L , and for different mass, M	15
Figure 6 – The axisymmetrical body model for the reference man (left) and woman (right).....	15

Figure 7 – Conductive spheroid exposed to electric field	16
Figure 8 – Calculation of the <i>shape factor for electric field</i> K_E for an a spheroid exposed to an unperturbed electric field.....	17
Figure 9 – Current density J_S induced by an unperturbed electric field (1 kV/m, 50 Hz) in a spheroid versus parameter L/R (values in $\mu\text{A}/\text{m}^2$).....	18
Figure 10 – Dimensions and mesh of the semi-spheroid	19
Figure 11 – Distortion of power frequency electric field lines close to the conductive semi-spheroid	19
Figure 12 – Calculated induced current density $J_A(h)$ in the body standing in a vertical 50 Hz electric field of 1 kV/m	21
Figure 13 – Computation domain	23
Figure 14 – Mesh of the man body model and distortion of power frequency electric field lines close to model.....	23
Figure 15 – Distribution of potential lines and 50 Hz electric field magnitude (man model)	24
Figure 16 – Computation of induced currents J_A along a vertical axis, and distribution of induced currents in the man model at 50 Hz	25
Figure 17 – Mesh of the woman body model and distortion of power frequency electric field lines close to model.....	25
Figure 18 – Distribution of potential lines and 50 Hz electric field magnitude (woman model)	26
Figure 19 – Computation of induced currents J_A along a vertical axis, and distribution of induced currents in the woman model at 50 Hz	27
Figure A.1 – Conductive spheroid exposed to electric field	31
Figure B.1 – Normalised axisymmetrical models. Left: man, Right: woman	36
Figure C.1 – Computation of induced currents J_Z along a vertical axis, and distribution of induced currents in the 10 years reference child model.....	40
Figure E.1 – Spheroid model.....	46
Figure E.2 – Space potential model	47
Figure E.3 – Exemple of charge simulation method using rings.....	48
Figure E.4 – Superficial charges integral equation method, cutting of the body into N elements.....	49
Figure E.5 – Mesh of the body using finite element method	50
Figure E.6 – Impedance method	51
Figure E.7 – Yee-method: Electric and magnetic grids for spatial discretization	52
Table 1 – Data for reference man and reference woman	13
Table 2 – Values of $\arcsin(e)/e$ for different values of L/R	14
Table 3 – Derived data using spheroid model at 50 Hz	20
Table 4 – Electric field E_{BR} required to produce basic restrictions J_{BR} or E_{iBR} in the neck at 50 Hz.....	22
Table 5 – Comparison of values of the shape factor for electric field K_E and corresponding current densities for an unperturbed 50 Hz electric field of 1 kV/m	28
Table B.1 – Measures from antropomorphic survey used to construct vertical dimensions of axisymmetrical model [56]	35

Table B.2 – Measures from antropomorphic survey used to construct the radial dimensions of axisymmetrical model [56]	35
Table B.3 – Normalised model dimensions.....	37
Table B.4 – Axisymmetric model dimensions for reference man and reference woman whose mass and height are defined by ICRP [38] and are given in Table 1	38
Table C.1 – Reference values provided by ICRP for male and female children.....	39
Table C.2 – Dimensions of the reference children (in m excepted SB_R in m ²)	39
Table C.3 – Results of analytical method for the reference children	40
Table D.1 – Normalised dimensions of the women model.....	41
Table D.2 – Calculation of the dimensions for a specific person	42

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

EXPOSURE TO ELECTRIC OR MAGNETIC FIELDS IN THE LOW AND INTERMEDIATE FREQUENCY RANGE – METHODS FOR CALCULATING THE CURRENT DENSITY AND INTERNAL ELECTRIC FIELD INDUCED IN THE HUMAN BODY –

Part 3-1: Exposure to electric fields – Analytical and 2D numerical models

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as “IEC Publication(s)”). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

DISCLAIMER

This Consolidated version is not an official IEC Standard and has been prepared for user convenience. Only the current versions of the standard and its amendment(s) are to be considered the official documents.

This Consolidated version of IEC 62226-3-1 bears the edition number 1.1. It consists of the first edition (2007-05) [documents 106/125/FDIS and 106/128/RVD] and its amendment 1 (2016-10) [documents 106/376/FDIS and 106/378/RVD]. The technical content is identical to the base edition and its amendment.

In this Redline version, a vertical line in the margin shows where the technical content is modified by amendment 1. Additions are in green text, deletions are in strikethrough red text. A separate Final version with all changes accepted is available in this publication.

International Standard IEC 62226-3-1 has been prepared by IEC technical committee 106: Methods for the assessment of electric, magnetic and electromagnetic fields associated with human exposure.

This standard is to be used in conjunction with the first edition of IEC 62226-1:2004, *Exposure to electric or magnetic fields in the low and intermediate frequency range – Methods for calculating the current density and internal electric field induced in the human body – Part 1: General*.

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

This International Standard constitutes Part 3-1 of IEC 62226 series, which will regroup several international standards and technical reports within the framework of the calculation of induced current densities and internal electric fields.

A list of all parts of the IEC 62226 series, published under the general title *Exposure to electric or magnetic fields in the low and intermediate frequency range – Methods for calculating the current density and internal electric field induced in the human body*, can be found on the IEC website.

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

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

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

INTRODUCTION

Public interest concerning human exposure to electric and magnetic fields has led international and national organisations to propose limits based on recognised adverse effects.

This standard applies to the frequency range for which the exposure limits are based on the induction of voltages or currents in the human body, when exposed to electric and magnetic fields. This frequency range covers the low and intermediate frequencies, up to 100 kHz. Some methods described in this standard can be used at higher frequencies under specific conditions.

The exposure limits based on biological and medical experimentation about these fundamental induction phenomena are usually called “basic restrictions”. They include safety factors.

The induced electrical quantities are not directly measurable, so simplified derived limits are also proposed. These limits, called “reference levels” are given in terms of external electric and magnetic fields. They are based on very simple models of coupling between external fields and the body. These derived limits are conservative.

Sophisticated models for calculating induced currents in the body have been used and are the subject of a number of scientific publications. These models use numerical 3D electromagnetic field computation codes and detailed models of the internal structure with specific electrical characteristics of each tissue within the body. However such models are still developing; the electrical conductivity data available at present has considerable shortcomings; and the spatial resolution of models is still progressing. Such models are therefore still considered to be in the field of scientific research and at present it is not considered that the results obtained from such models should be fixed indefinitely within standards. However it is recognised that such models can and do make a useful contribution to the standardisation process, specially for product standards where particular cases of exposure are considered. When results from such models are used in standards, the results should be reviewed from time to time to ensure they continue to reflect the current status of the science.

**EXPOSURE TO ELECTRIC OR MAGNETIC FIELDS
IN THE LOW AND INTERMEDIATE FREQUENCY RANGE –
METHODS FOR CALCULATING THE CURRENT DENSITY AND
INTERNAL ELECTRIC FIELD INDUCED IN THE HUMAN BODY –**

**Part 3-1: Exposure to electric fields –
Analytical and 2D numerical models**

1 Scope

This part of IEC 62226 applies to the frequency range for which exposure limits are based on the induction of voltages or currents in the human body when exposed to electric fields.

This part defines in detail the coupling factor K – introduced by the IEC 62226 series to enable exposure assessment for complex exposure situations, such as non-uniform magnetic field or perturbed electric field – for the case of simple models of the human body, exposed to uniform electric fields. The coupling factor K has different physical interpretations depending on whether it relates to electric or magnetic field exposure. It is the so called “shape factor for electric field”.

This part of IEC 62226 can be used when the electric field can be considered to be uniform, for frequencies up to at least 100 kHz.

This situation of exposure to a “uniform” electric field is mostly found in the vicinity of high voltage overhead power systems. For this reason, illustrations given in this part are given for power frequencies (50 Hz and 60 Hz).

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	61
INTRODUCTION.....	63
1 Domaine d'application	64
2 Exposition au champ électrique	64
3 Procédure générale	67
3.1 Facteur de forme	67
3.2 Procédure	67
4 Modèles de corps humain	68
4.1 Généralités.....	68
4.2 Surface développée.....	68
4.3 Modèle semi-sphéroïdal	69
4.4 Modèle de corps axisymétrique	71
5 Calcul du courant induit.....	72
5.1 Généralités.....	72
5.2 Semi sphéroïde	72
5.3 Modèle axisymétrique.....	76
5.4 Comparaison entre les modèles analytique et numérique	84
6 Influence des paramètres électriques	84
6.1 Généralités.....	84
6.2 Influence de la permittivité	84
6.3 Influence de la conductivité	85
6.4 Conductivité non homogène	85
7 Mesure des courants induits par des champs électriques	85
7.1 Généralités.....	85
7.2 Courant circulant vers le sol	85
Annexe A (normative) Solutions analytiques pour un sphéroïde dans un champ électrique uniforme	87
Annexe B (normative) Modèle axisymétrique du corps humain	90
Annexe C (informative) Modèle du corps de l'enfant	95
Annexe D (informative) Exemple d'utilisation de cette norme	97
Annexe E (informative) Méthodes de calcul numérique	101
Bibliographie.....	109

Figure 1 – Illustration du phénomène de courants induits par un champ électrique dans un corps humain debout sur le sol 66

Figure 2 – Lignes de potentiel du champ électrique généré par un fil sous tension, en l'absence de tout objet (toutes les distances sont en mètres)..... 66

Figure 3 – Un modèle réaliste de corps..... 68

Figure 4 – Schéma du demi-sphéroïde simulant un être humain debout sur un plan au potentiel zéro..... 69

Figure 5 – Rayon du sphéroïde équivalent, R , en fonction de la hauteur, L , et pour différentes masses, M 71

Figure 6 – Le modèle axisymétrique pour l'homme (à gauche) et la femme (à droite) de référence..... 71

Figure 7 – Sphéroïde conducteur exposé à un champ électrique..... 72

Figure 8 – Calcul du <i>facteur de forme pour le champ électrique</i> K_E pour un sphéroïde exposé à un champ électrique non perturbé.....	73
Figure 9 – Densité de courant J_S induite par un champ électrique non perturbé (1 kV/m, 50 Hz) dans un sphéroïde, en fonction du paramètre L/R (valeurs en $\mu A/m^2$).....	74
Figure 10 – Dimensions et maillage du demi-sphéroïde	75
Figure 11 – Distorsion des lignes de champ électrique de fréquence industrielle à proximité du demi-sphéroïde conducteur.....	76
Figure 12 – Densité de courant induit $J_A(h)$ dans le corps debout dans un champ électrique vertical de 1 kV/m à 50 Hz	78
Figure 13 – Domaine de calcul.....	80
Figure 14 – Maillage du modèle du corps humain et distorsion des lignes de champ électrique à fréquence industrielle à proximité du modèle de l'homme de référence.....	80
Figure 15 – Distributions des lignes de potentiel et de l'amplitude du champ électrique à 50 Hz pour le modèle de l'homme de référence	81
Figure 16 – Calcul des courants induits J_A le long de l'axe vertical et distribution des courants induits dans le modèle de l'homme de référence, 50 Hz	81
Figure 17 – Maillage du modèle du corps humain et distorsion des lignes de champ électrique de fréquence industrielle à proximité du modèle de la femme de référence.....	82
Figure 18 – Distributions des lignes de potentiel et de l'amplitude du champ électrique à 50 Hz pour le modèle de la femme de référence	83
Figure 19 – Calcul des courants induits J_A le long de l'axe vertical et distribution des courants induits dans le modèle de la femme, 50 Hz.....	83
Figure A.1 – Sphéroïde conducteur exposé à un champ électrique	87
Figure B.1 – Modèles axisymétriques normalisés. A gauche le modèle de l'homme et à droite le modèle de la femme.....	92
Figure C.1 – Calcul des courants induits J_Z le long de l'axe vertical et distribution des courants induits dans le modèle d'enfant de référence de 10 ans	96
Figure E.1 – Modèle sphéroïdal	102
Figure E.2 – Modèle du potentiel d'espace	103
Figure E.3 – Exemple de méthode de la charge équivalente, utilisant des anneaux	104
Figure E.4 – Méthode de l'équation intégrale des charges superficielles, en découpant le corps en N éléments	105
Figure E.5 – Maillage du corps en utilisant la méthode des éléments finis	106
Figure E.6 – Méthode de l'impédance	107
Figure E.7 – Méthode de Yee: Grille électriques et magnétiques pour la discrétisation spatiale.....	108
Tableau 1 – Données pour l'homme de référence et pour la femme de référence.....	69
Tableau 2 – Valeurs de $\arcsin(e)/e$ pour différentes valeurs de L/R	70
Tableau 3 – Données déduites en utilisant le modèle sphéroïde à 50 Hz	77
Tableau 4 – Champ électrique E_{BR} nécessaire pour produire la restriction de base J_{BR} ou E_{iBR} dans le cou à 50 Hz	79
Tableau 5 – Comparaison des valeurs du facteur de forme pour le champ électrique K_E et des densités de courant correspondantes pour un champ électrique 50 Hz non perturbé de 1 kV/m	84
Tableau B.1 – Mesures de l'étude anthropomorphique utilisées pour construire les dimensions verticales du modèle axisymétrique [56].....	91
Tableau B.2 – Mesures de l'étude anthropomorphique utilisées pour construire les dimensions verticales du modèle axisymétrique [56]	91

Tableau B.3 – Dimensions du modèle normalisé	93
Tableau B.4 – Dimensions du modèle axisymétrique pour l'Homme de référence et la Femme de référence dont la masse et la hauteur sont définies par l'ICRP [38] et données dans le Tableau 1	94
Tableau C.1 – Valeurs de référence données par l'ICRP pour les enfants masculin et féminin.....	95
Tableau C.2 – Dimensions de l'enfant de référence (en m excepté SB_R en m ²)	95
Tableau C.3 – Résultats de la méthode analytique pour les enfants de référence	96
Tableau D.1 – Dimensions normalisées du modèle pour les femmes	95
Tableau D.2 – Calcul des dimensions pour une personne spécifique	96

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

EXPOSITION AUX CHAMPS ÉLECTRIQUES OU MAGNÉTIQUES À BASSE ET MOYENNE FRÉQUENCE – MÉTHODES DE CALCUL DES DENSITÉS DE COURANT INDUIT ET DES CHAMPS ÉLECTRIQUES INDUITS DANS LE CORPS HUMAIN –

Partie 3-1: Exposition à des champs électriques – Modèles analytiques et numériques 2D

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

DÉGAGEMENT DE RESPONSABILITÉ

Cette version consolidée n'est pas une Norme IEC officielle, elle a été préparée par commodité pour l'utilisateur. Seules les versions courantes de cette norme et de son(ses) amendement(s) doivent être considérées comme les documents officiels.

Cette version consolidée de l'IEC 62226-3-1 porte le numéro d'édition 1.1. Elle comprend la première édition (2007-05) [documents 106/125/FDIS et 106/128/RVD] et son amendement 1 (2016-10) [documents 106/376/FDIS et 106/378/RVD]. Le contenu technique est identique à celui de l'édition de base et à son amendement.

Dans cette version Redline, une ligne verticale dans la marge indique où le contenu technique est modifié par l'amendement 1. Les ajouts sont en vert, les suppressions sont en rouge, barrées. Une version Finale avec toutes les modifications acceptées est disponible dans cette publication.

La Norme internationale IEC 62226-3-1 a été établie par le comité d'études 106: Méthodes d'évaluation des champs électriques, magnétiques et électromagnétiques en relation avec l'exposition humaine.

La présente Partie 3-1 doit être utilisée conjointement avec la première édition de l'IEC62226-1:2004, *Exposition aux champs électriques ou magnétiques à basse et moyenne fréquence – Méthodes de calcul des densités de courant induit et des champs électriques induits dans le corps humain – Partie 1: Généralités.*

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

La présente Norme internationale constitue la Partie 3-1 de la série IEC 62226, qui regroupera un certain nombre de normes internationales et rapports techniques dans le domaine du calcul des densités de courant induit et des champs électriques internes induits.

Une liste de toutes les parties de l'IEC62226, sous le titre général: *Exposition aux champs électriques ou magnétiques à basse et moyenne fréquence – Méthodes de calcul des densités de courant induit et des champs électriques induits dans le corps humain*, est disponible sur le site web de la IEC.

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

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

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

INTRODUCTION

L'intérêt que porte le public à l'exposition aux champs électriques et magnétiques a conduit les organisations internationales et nationales à proposer des limites fondées sur leurs effets néfastes avérés.

La présente norme s'applique à la gamme de fréquences pour laquelle les limites d'exposition sont fondées sur des tensions ou des courants induits dans le corps humain, quand il est exposé aux champs électriques et magnétiques. Cette gamme de fréquences couvre les fréquences basses et moyennes jusqu'à 100 kHz. Certaines méthodes décrites dans la présente norme peuvent être utilisées à des fréquences plus élevées sous des conditions spécifiques.

Les limites d'exposition fondées sur l'expérimentation biologique et médicale à propos de ces phénomènes d'induction fondamentaux sont usuellement appelées «restrictions de base». Elles incluent des facteurs de sécurité.

Les grandeurs électriques induites n'étant pas directement mesurables, des limites dérivées sont aussi proposées. Ces limites, appelées «niveaux de référence» sont données en termes de champs électriques et magnétiques externes. Elles sont fondées sur des modèles très simples de couplage entre les champs externes et le corps. Ces limites dérivées sont conservatrices.

Des modèles sophistiqués de calcul des courants induits dans le corps ont été utilisés et font l'objet de nombreuses publications scientifiques. Ils utilisent des codes numériques de calcul 3D pour le champ électromagnétique et des modèles détaillés de la structure interne du corps avec les caractéristiques électriques spécifiques des tissus du corps humain. Cependant, le développement de tels modèles est toujours en cours; les données de conductivité électrique disponibles actuellement sont encore très imparfaites, et la résolution spatiale des modèles progresse toujours. De tels modèles sont ainsi considérés comme relevant encore du domaine de la recherche scientifique et on ne peut envisager aujourd'hui que les résultats tirés de ces modèles soient définitivement fixés dans des normes. Cependant, il est admis que de tels modèles peuvent apporter, et apportent, une contribution utile au processus de normalisation, particulièrement pour les normes produites où des cas particuliers d'exposition sont étudiés. Quand des résultats de tels modèles sont utilisés dans des normes, il convient qu'ils soient revus périodiquement pour s'assurer qu'ils reflètent toujours l'état actuel de la connaissance scientifique.

**EXPOSITION AUX CHAMPS ÉLECTRIQUES OU MAGNÉTIQUES
À BASSE ET MOYENNE FRÉQUENCE –
MÉTHODES DE CALCUL DES DENSITÉS DE COURANT INDUIT
ET DES CHAMPS ÉLECTRIQUES INDUITS DANS LE CORPS HUMAIN –**

**Partie 3-1: Exposition à des champs électriques –
Modèles analytiques et numériques 2D**

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC62226 s'applique à la gamme de fréquences pour laquelle les limites d'exposition sont fondées sur des tensions ou des courants induits dans le corps humain, quand il est exposé aux champs électriques.

La présente partie définit le facteur de forme K – introduit par la série IEC 62226 pour permettre l'évaluation de l'exposition dans des situations d'expositions complexes, telles qu'un champ magnétique non uniforme ou un champ électrique perturbé – pour les cas de modèles simples de corps humain, exposé à des champs électriques uniformes. Le facteur de couplage K peut avoir différentes interprétations physiques selon qu'il se réfère à l'exposition à un champ électrique ou magnétique. Il est aussi appelé «facteur de couplage pour champ électrique».

La présente partie de l'IEC62226 peut être utilisée quand le champ électrique peut être considéré comme uniforme, pour des fréquences jusqu'à au moins 100 kHz.

Cette situation d'exposition à un champ électrique «uniforme» se trouve principalement à proximité des systèmes aériens d'alimentation électrique à haute tension. Pour cette raison, les illustrations données dans cette section sont aux fréquences industrielles (50 Hz et 60 Hz).

FINAL VERSION

VERSION FINALE



Exposure to electric or magnetic fields in the low and intermediate frequency range – Methods for calculating the current density and internal electric field induced in the human body –

Part 3-1: Exposure to electric fields – Analytical and 2D numerical models

Exposition aux champs électriques ou magnétiques à basse et moyenne fréquence – Méthodes de calcul des densités de courant induit et des champs électriques induits dans le corps humain –

Partie 3-1: Exposition à des champs électriques – Modèles analytiques et numériques 2D

CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	8
2 Exposure to electric field	8
3 General procedure.....	11
3.1 Shape factor.....	11
3.2 Procedure	11
4 Human body models	12
4.1 General.....	12
4.2 Surface area	12
4.3 Semi-spheroidal model.....	13
4.4 Axisymmetrical body model	15
5 Calculation of induced current	16
5.1 General.....	16
5.2 Semi-spheroid	16
5.3 Axisymmetrical models.....	20
5.4 Comparison of the analytical and numerical models	27
6 Influence of electrical parameters	28
6.1 General.....	28
6.2 Influence of permittivity	28
6.3 Influence of conductivity	28
6.4 Non-homogeneous conductivity.....	29
7 Measurement of currents induced by electric fields.....	29
7.1 General.....	29
7.2 Current flowing to the ground	29
Annex A (normative) Analytical solutions for a spheroid in a uniform electric field.....	31
Annex B (normative) Human body axisymmetrical model	34
Annex C (informative) Child body model	39
Annex D (informative) Example of use of this standard	41
Annex E (informative) Numerical calculation methods.....	45
Bibliography.....	53
Figure 1 – Illustration of the phenomenon of currents induced by electric field in a human body standing on the ground	10
Figure 2 – Potential lines of the electric field generated by an energised wire in the absence of any objects (all distances in metres)	10
Figure 3 – A realistic body model.....	12
Figure 4 – Scheme of the semi-spheroid simulating a human being standing on a zero potential plane	13
Figure 5 – Equivalent spheroid radius, R , versus height, L , and for different mass, M	15
Figure 6 – The axisymmetrical body model for the reference man (left) and woman (right).....	15

Figure 7 – Conductive spheroid exposed to electric field	16
Figure 8 – Calculation of the <i>shape factor for electric field</i> K_E for a spheroid exposed to an unperturbed electric field.....	17
Figure 9 – Current density J_S induced by an unperturbed electric field (1 kV/m, 50 Hz) in a spheroid versus parameter L/R (values in $\mu\text{A}/\text{m}^2$).....	18
Figure 10 – Dimensions and mesh of the semi-spheroid	19
Figure 11 – Distortion of power frequency electric field lines close to the conductive semi-spheroid	19
Figure 12 – Calculated induced current density $J_A(h)$ in the body standing in a vertical 50 Hz electric field of 1 kV/m	21
Figure 13 – Computation domain	23
Figure 14 – Mesh of the man body model and distortion of power frequency electric field lines close to model.....	23
Figure 15 – Distribution of potential lines and 50 Hz electric field magnitude (man model)	24
Figure 16 – Computation of induced currents J_A along a vertical axis, and distribution of induced currents in the man model at 50 Hz	25
Figure 17 – Mesh of the woman body model and distortion of power frequency electric field lines close to model.....	25
Figure 18 – Distribution of potential lines and 50 Hz electric field magnitude (woman model)	26
Figure 19 – Computation of induced currents J_A along a vertical axis, and distribution of induced currents in the woman model at 50 Hz	27
Figure A.1 – Conductive spheroid exposed to electric field	31
Figure B.1 – Normalised axisymmetrical models. Left: man, Right: woman	36
Figure C.1 – Computation of induced currents J_Z along a vertical axis, and distribution of induced currents in the 10 years reference child model.....	40
Figure E.1 – Spheroid model.....	46
Figure E.2 – Space potential model	47
Figure E.3 – Exemple of charge simulation method using rings.....	48
Figure E.4 – Superficial charges integral equation method, cutting of the body into N elements.....	49
Figure E.5 – Mesh of the body using finite element method	50
Figure E.6 – Impedance method	51
Figure E.7 – Yee-method: Electric and magnetic grids for spatial discretization	52
Table 1 – Data for reference man and reference woman	13
Table 2 – Values of $\arcsin(e) / e$ for different values of L/R	14
Table 3 – Derived data using spheroid model at 50 Hz	20
Table 4 – Electric field E_{BR} required to produce basic restrictions J_{BR} or E_{iBR} in the neck at 50 Hz.....	22
Table 5 – Comparison of values of the shape factor for electric field K_E and corresponding current densities for an unperturbed 50 Hz electric field of 1 kV/m	28
Table B.1 – Measures from antropomorphic survey used to construct vertical dimensions of axisymmetrical model [56]	35

Table B.2 – Measures from antropomorphic survey used to construct the radial dimensions of axisymmetrical model [56]	35
Table B.3 – Normalised model dimensions.....	37
Table B.4 – Axisymmetric model dimensions for reference man and reference woman whose mass and height are defined by ICRP [38] and are given in Table 1	38
Table C.1 – Reference values provided by ICRP for male and female children.....	39
Table C.2 – Dimensions of the reference children (in m excepted SB_R in m ²)	39
Table C.3 – Results of analytical method for the reference children	40
Table D.1 – Normalised dimensions of the women model.....	41
Table D.2 – Calculation of the dimensions for a specific person	42

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**EXPOSURE TO ELECTRIC OR MAGNETIC FIELDS
IN THE LOW AND INTERMEDIATE FREQUENCY RANGE –
METHODS FOR CALCULATING THE CURRENT DENSITY AND
INTERNAL ELECTRIC FIELD INDUCED IN THE HUMAN BODY –**

**Part 3-1: Exposure to electric fields –
Analytical and 2D numerical models**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as “IEC Publication(s)”). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

DISCLAIMER

This Consolidated version is not an official IEC Standard and has been prepared for user convenience. Only the current versions of the standard and its amendment(s) are to be considered the official documents.

This Consolidated version of IEC 62226-3-1 bears the edition number 1.1. It consists of the first edition (2007-05) [documents 106/125/FDIS and 106/128/RVD] and its amendment 1 (2016-10) [documents 106/376/FDIS and 106/378/RVD]. The technical content is identical to the base edition and its amendment.

This Final version does not show where the technical content is modified by amendment 1. A separate Redline version with all changes highlighted is available in this publication.

International Standard IEC 62226-3-1 has been prepared by IEC technical committee 106: Methods for the assessment of electric, magnetic and electromagnetic fields associated with human exposure.

This standard is to be used in conjunction with the first edition of IEC 62226-1:2004, *Exposure to electric or magnetic fields in the low and intermediate frequency range – Methods for calculating the current density and internal electric field induced in the human body – Part 1: General*.

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

This International Standard constitutes Part 3-1 of IEC 62226 series, which will regroup several international standards and technical reports within the framework of the calculation of induced current densities and internal electric fields.

A list of all parts of the IEC 62226 series, published under the general title *Exposure to electric or magnetic fields in the low and intermediate frequency range – Methods for calculating the current density and internal electric field induced in the human body*, can be found on the IEC website.

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

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

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

INTRODUCTION

Public interest concerning human exposure to electric and magnetic fields has led international and national organisations to propose limits based on recognised adverse effects.

This standard applies to the frequency range for which the exposure limits are based on the induction of voltages or currents in the human body, when exposed to electric and magnetic fields. This frequency range covers the low and intermediate frequencies, up to 100 kHz. Some methods described in this standard can be used at higher frequencies under specific conditions.

The exposure limits based on biological and medical experimentation about these fundamental induction phenomena are usually called “basic restrictions”. They include safety factors.

The induced electrical quantities are not directly measurable, so simplified derived limits are also proposed. These limits, called “reference levels” are given in terms of external electric and magnetic fields. They are based on very simple models of coupling between external fields and the body. These derived limits are conservative.

Sophisticated models for calculating induced currents in the body have been used and are the subject of a number of scientific publications. These models use numerical 3D electromagnetic field computation codes and detailed models of the internal structure with specific electrical characteristics of each tissue within the body. However such models are still developing; the electrical conductivity data available at present has considerable shortcomings; and the spatial resolution of models is still progressing. Such models are therefore still considered to be in the field of scientific research and at present it is not considered that the results obtained from such models should be fixed indefinitely within standards. However it is recognised that such models can and do make a useful contribution to the standardisation process, specially for product standards where particular cases of exposure are considered. When results from such models are used in standards, the results should be reviewed from time to time to ensure they continue to reflect the current status of the science.

**EXPOSURE TO ELECTRIC OR MAGNETIC FIELDS
IN THE LOW AND INTERMEDIATE FREQUENCY RANGE –
METHODS FOR CALCULATING THE CURRENT DENSITY AND
INTERNAL ELECTRIC FIELD INDUCED IN THE HUMAN BODY –**

**Part 3-1: Exposure to electric fields –
Analytical and 2D numerical models**

1 Scope

This part of IEC 62226 applies to the frequency range for which exposure limits are based on the induction of voltages or currents in the human body when exposed to electric fields.

This part defines in detail the coupling factor K – introduced by the IEC 62226 series to enable exposure assessment for complex exposure situations, such as non-uniform magnetic field or perturbed electric field – for the case of simple models of the human body, exposed to uniform electric fields. The coupling factor K has different physical interpretations depending on whether it relates to electric or magnetic field exposure. It is the so called “shape factor for electric field”.

This part of IEC 62226 can be used when the electric field can be considered to be uniform, for frequencies up to at least 100 kHz.

This situation of exposure to a “uniform” electric field is mostly found in the vicinity of high voltage overhead power systems. For this reason, illustrations given in this part are given for power frequencies (50 Hz and 60 Hz).

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	61
INTRODUCTION.....	63
1 Domaine d'application	64
2 Exposition au champ électrique	64
3 Procédure générale	67
3.1 Facteur de forme	67
3.2 Procédure	67
4 Modèles de corps humain	68
4.1 Généralités.....	68
4.2 Surface développée.....	68
4.3 Modèle semi-sphéroïdal	69
4.4 Modèle de corps axisymétrique	71
5 Calcul du courant induit.....	72
5.1 Généralités.....	72
5.2 Semi sphéroïde	72
5.3 Modèle axisymétrique.....	76
5.4 Comparaison entre les modèles analytique et numérique	84
6 Influence des paramètres électriques	84
6.1 Généralités.....	84
6.2 Influence de la permittivité	84
6.3 Influence de la conductivité	85
6.4 Conductivité non homogène	85
7 Mesure des courants induits par des champs électriques	85
7.1 Généralités.....	85
7.2 Courant circulant vers le sol	85
Annexe A (normative) Solutions analytiques pour un sphéroïde dans un champ électrique uniforme	87
Annexe B (normative) Modèle axisymétrique du corps humain	90
Annexe C (informative) Modèle du corps de l'enfant	95
Annexe D (informative) Exemple d'utilisation de cette norme	97
Annexe E (informative) Méthodes de calcul numérique	101
Bibliographie.....	109

Figure 1 – Illustration du phénomène de courants induits par un champ électrique dans un corps humain debout sur le sol 66

Figure 2 – Lignes de potentiel du champ électrique généré par un fil sous tension, en l'absence de tout objet (toutes les distances sont en mètres)..... 66

Figure 3 – Un modèle réaliste de corps..... 68

Figure 4 – Schéma du demi-sphéroïde simulant un être humain debout sur un plan au potentiel zéro..... 69

Figure 5 – Rayon du sphéroïde équivalent, R , en fonction de la hauteur, L , et pour différentes masses, M 71

Figure 6 – Le modèle axisymétrique pour l'homme (à gauche) et la femme (à droite) de référence..... 71

Figure 7 – Sphéroïde conducteur exposé à un champ électrique..... 72

Figure 8 – Calcul du <i>facteur de forme pour le champ électrique</i> K_E pour un sphéroïde exposé à un champ électrique non perturbé.....	73
Figure 9 – Densité de courant J_S induite par un champ électrique non perturbé (1 kV/m, 50 Hz) dans un sphéroïde, en fonction du paramètre L/R (valeurs en $\mu A/m^2$).....	74
Figure 10 – Dimensions et maillage du demi-sphéroïde	75
Figure 11 – Distorsion des lignes de champ électrique de fréquence industrielle à proximité du demi-sphéroïde conducteur.....	76
Figure 12 – Densité de courant induit $J_A(h)$ dans le corps debout dans un champ électrique vertical de 1 kV/m à 50 Hz	78
Figure 13 – Domaine de calcul.....	80
Figure 14 – Maillage du modèle du corps humain et distorsion des lignes de champ électrique à fréquence industrielle à proximité du modèle de l'homme de référence.....	80
Figure 15 – Distributions des lignes de potentiel et de l'amplitude du champ électrique à 50 Hz pour le modèle de l'homme de référence	81
Figure 16 – Calcul des courants induits J_A le long de l'axe vertical et distribution des courants induits dans le modèle de l'homme de référence, 50 Hz	81
Figure 17 – Maillage du modèle du corps humain et distorsion des lignes de champ électrique de fréquence industrielle à proximité du modèle de la femme de référence.....	82
Figure 18 – Distributions des lignes de potentiel et de l'amplitude du champ électrique à 50 Hz pour le modèle de la femme de référence	83
Figure 19 – Calcul des courants induits J_A le long de l'axe vertical et distribution des courants induits dans le modèle de la femme, 50 Hz.....	83
Figure A.1 – Sphéroïde conducteur exposé à un champ électrique	87
Figure B.1 – Modèles axisymétriques normalisés. A gauche le modèle de l'homme et à droite le modèle de la femme.....	92
Figure C.1 – Calcul des courants induits J_Z le long de l'axe vertical et distribution des courants induits dans le modèle d'enfant de référence de 10 ans	96
Figure E.1 – Modèle sphéroïdal	102
Figure E.2 – Modèle du potentiel d'espace	103
Figure E.3 – Exemple de méthode de la charge équivalente, utilisant des anneaux	104
Figure E.4 – Méthode de l'équation intégrale des charges superficielles, en découpant le corps en N éléments	105
Figure E.5 – Maillage du corps en utilisant la méthode des éléments finis	106
Figure E.6 – Méthode de l'impédance	107
Figure E.7 – Méthode de Yee: Grille électriques et magnétiques pour la discrétisation spatiale.....	108
Tableau 1 – Données pour l'homme de référence et pour la femme de référence.....	69
Tableau 2 – Valeurs de $\arcsin(e) / e$ pour différentes valeurs de L/R	70
Tableau 3 – Données déduites en utilisant le modèle sphéroïde à 50 Hz	77
Tableau 4 – Champ électrique E_{BR} nécessaire pour produire la restriction de base J_{BR} ou E_{iBR} dans le cou à 50 Hz	79
Tableau 5 – Comparaison des valeurs du facteur de forme pour le champ électrique K_E et des densités de courant correspondantes pour un champ électrique 50 Hz non perturbé de 1 kV/m	84
Tableau B.1 – Mesures de l'étude anthropomorphique utilisées pour construire les dimensions verticales du modèle axisymétrique [56].....	91
Tableau B.2 – Mesures de l'étude anthropomorphique utilisées pour construire les dimensions verticales du modèle axisymétrique [56]	91

Tableau B.3 – Dimensions du modèle normalisé	93
Tableau B.4 – Dimensions du modèle axisymétrique pour l'Homme de référence et la Femme de référence dont la masse et la hauteur sont définies par l'ICRP [38] et données dans le Tableau 1	94
Tableau C.1 – Valeurs de référence données par l'ICRP pour les enfants masculin et féminin.....	95
Tableau C.2 – Dimensions de l'enfant de référence (en m excepté SB_R en m ²)	95
Tableau C.3 – Résultats de la méthode analytique pour les enfants de référence	96
Tableau D.1 – Dimensions normalisées du modèle pour les femmes	95
Tableau D.2 – Calcul des dimensions pour une personne spécifique	96

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

EXPOSITION AUX CHAMPS ÉLECTRIQUES OU MAGNÉTIQUES À BASSE ET MOYENNE FRÉQUENCE – MÉTHODES DE CALCUL DES DENSITÉS DE COURANT INDUIT ET DES CHAMPS ÉLECTRIQUES INDUITS DANS LE CORPS HUMAIN –

Partie 3-1: Exposition à des champs électriques – Modèles analytiques et numériques 2D

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

DÉGAGEMENT DE RESPONSABILITÉ

Cette version consolidée n'est pas une Norme IEC officielle, elle a été préparée par commodité pour l'utilisateur. Seules les versions courantes de cette norme et de son(ses) amendement(s) doivent être considérées comme les documents officiels.

Cette version consolidée de l'IEC 62226-3-1 porte le numéro d'édition 1.1. Elle comprend la première édition (2007-05) [documents 106/125/FDIS et 106/128/RVD] et son amendement 1 (2016-10) [documents 106/376/FDIS et 106/378/RVD]. Le contenu technique est identique à celui de l'édition de base et à son amendement.

Cette version Finale ne montre pas les modifications apportées au contenu technique par l'amendement 1. Une version Redline montrant toutes les modifications est disponible dans cette publication.

La Norme internationale IEC 62226-3-1 a été établie par le comité d'études 106: Méthodes d'évaluation des champs électriques, magnétiques et électromagnétiques en relation avec l'exposition humaine.

La présente Partie 3-1 doit être utilisée conjointement avec la première édition de l'IEC62226-1:2004, *Exposition aux champs électriques ou magnétiques à basse et moyenne fréquence – Méthodes de calcul des densités de courant induit et des champs électriques induits dans le corps humain – Partie 1: Généralités.*

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

La présente Norme internationale constitue la Partie 3-1 de la série IEC 62226, qui regroupera un certain nombre de normes internationales et rapports techniques dans le domaine du calcul des densités de courant induit et des champs électriques internes induits.

Une liste de toutes les parties de l'IEC62226, sous le titre général: *Exposition aux champs électriques ou magnétiques à basse et moyenne fréquence – Méthodes de calcul des densités de courant induit et des champs électriques induits dans le corps humain*, est disponible sur le site web de la IEC.

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

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

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

INTRODUCTION

L'intérêt que porte le public à l'exposition aux champs électriques et magnétiques a conduit les organisations internationales et nationales à proposer des limites fondées sur leurs effets néfastes avérés.

La présente norme s'applique à la gamme de fréquences pour laquelle les limites d'exposition sont fondées sur des tensions ou des courants induits dans le corps humain, quand il est exposé aux champs électriques et magnétiques. Cette gamme de fréquences couvre les fréquences basses et moyennes jusqu'à 100 kHz. Certaines méthodes décrites dans la présente norme peuvent être utilisées à des fréquences plus élevées sous des conditions spécifiques.

Les limites d'exposition fondées sur l'expérimentation biologique et médicale à propos de ces phénomènes d'induction fondamentaux sont usuellement appelées «restrictions de base». Elles incluent des facteurs de sécurité.

Les grandeurs électriques induites n'étant pas directement mesurables, des limites dérivées sont aussi proposées. Ces limites, appelées «niveaux de référence» sont données en termes de champs électriques et magnétiques externes. Elles sont fondées sur des modèles très simples de couplage entre les champs externes et le corps. Ces limites dérivées sont conservatrices.

Des modèles sophistiqués de calcul des courants induits dans le corps ont été utilisés et font l'objet de nombreuses publications scientifiques. Ils utilisent des codes numériques de calcul 3D pour le champ électromagnétique et des modèles détaillés de la structure interne du corps avec les caractéristiques électriques spécifiques des tissus du corps humain. Cependant, le développement de tels modèles est toujours en cours; les données de conductivité électrique disponibles actuellement sont encore très imparfaites, et la résolution spatiale des modèles progresse toujours. De tels modèles sont ainsi considérés comme relevant encore du domaine de la recherche scientifique et on ne peut envisager aujourd'hui que les résultats tirés de ces modèles soient définitivement fixés dans des normes. Cependant, il est admis que de tels modèles peuvent apporter, et apportent, une contribution utile au processus de normalisation, particulièrement pour les normes produites où des cas particuliers d'exposition sont étudiés. Quand des résultats de tels modèles sont utilisés dans des normes, il convient qu'ils soient revus périodiquement pour s'assurer qu'ils reflètent toujours l'état actuel de la connaissance scientifique.

**EXPOSITION AUX CHAMPS ÉLECTRIQUES OU MAGNÉTIQUES
À BASSE ET MOYENNE FRÉQUENCE –
MÉTHODES DE CALCUL DES DENSITÉS DE COURANT INDUIT
ET DES CHAMPS ÉLECTRIQUES INDUITS DANS LE CORPS HUMAIN –**

**Partie 3-1: Exposition à des champs électriques –
Modèles analytiques et numériques 2D**

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC62226 s'applique à la gamme de fréquences pour laquelle les limites d'exposition sont fondées sur des tensions ou des courants induits dans le corps humain, quand il est exposé aux champs électriques.

La présente partie définit le facteur de forme K – introduit par la série IEC 62226 pour permettre l'évaluation de l'exposition dans des situations d'expositions complexes, telles qu'un champ magnétique non uniforme ou un champ électrique perturbé – pour les cas de modèles simples de corps humain, exposé à des champs électriques uniformes. Le facteur de couplage K peut avoir différentes interprétations physiques selon qu'il se réfère à l'exposition à un champ électrique ou magnétique. Il est aussi appelé «facteur de couplage pour champ électrique».

La présente partie de l'IEC62226 peut être utilisée quand le champ électrique peut être considéré comme uniforme, pour des fréquences jusqu'à au moins 100 kHz.

Cette situation d'exposition à un champ électrique «uniforme» se trouve principalement à proximité des systèmes aériens d'alimentation électrique à haute tension. Pour cette raison, les illustrations données dans cette section sont aux fréquences industrielles (50 Hz et 60 Hz).