



TECHNICAL SPECIFICATION

SPÉCIFICATION TECHNIQUE

BASIC SAFETY PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ

**Effects of current on human beings and livestock –
Part 1: General aspects**

**Effets du courant sur l'homme et les animaux domestiques –
Partie 1: Aspects généraux**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XA

CONTENTS

FOREWORD.....	6
INTRODUCTION.....	9
1 Scope.....	11
2 Normative references	12
3 Terms and definitions	12
3.1 General definitions	12
3.2 Effects of sinusoidal alternating current in the range 15 Hz to 100 Hz	13
3.3 Effects of direct current	14
4 Electrical impedance of the human body.....	14
4.1 Internal impedance of the human body (Z_i)	14
4.2 Impedance of the skin (Z_s).....	15
4.3 Total impedance of the human body (Z_T)	15
4.4 Factors affecting initial resistance of the human body (R_O)	15
4.5 Values of the total impedance of the human body (Z_T).....	15
4.6 Value of the initial resistance of the human body (R_O)	23
5 Effects of sinusoidal alternating current in the range of 15 Hz to 100 Hz.....	23
5.1 Threshold of perception.....	23
5.2 Threshold of reaction.....	23
5.3 Immobilization	23
5.4 Threshold of let-go	23
5.5 Threshold of ventricular fibrillation.....	24
5.6 Other effects related to electric shocks.....	24
5.7 Effects of current on the skin	25
5.8 Description of time/current zones (see Figure 20).....	26
5.9 Application of heart-current factor (F)	26
6 Effects of direct current	27
6.1 Threshold of perception and threshold of reaction	27
6.2 Threshold of immobilization and threshold of let-go	27
6.3 Threshold of ventricular fibrillation.....	27
6.4 Other effects of current	28
6.5 Description of time/current zones (see Figure 22).....	29
6.6 Heart factor	29
Annexes	48
Annex A (normative) Measurements of the total body impedances Z_T made on living human beings and on corpses and the statistical analysis of the results	49
Annex B (normative) Influence of frequency on the total body impedance (Z_T)	52
Annex C (normative) Total body resistance (R_T) for direct current	53
Annex D (informative) Examples of calculations of Z_T	54
Bibliography.....	58

Figure 1 – Impedances of the human body.....	29
Figure 2 – Internal partial impedances Z_{ip} of the human body	30
Figure 3 – Simplified schematic diagram for the internal impedances of the human body	31
Figure 4 – Total body impedances Z_T (50 %) for a current path hand to hand, for large surface areas of contact in dry, water-wet and saltwater-wet conditions for a percentile rank of 50 % of the population for touch voltages $U_T = 25$ V to 700 V, a.c. 50/60 Hz	32
Figure 5 – Dependence of the total impedance Z_T of one living person on the surface area of contact in dry condition and at touch voltage (50 Hz)	33
Figure 6 – Dependence of the total body impedance Z_T on the touch voltage U_T for a current path from the tips of the right to the left forefinger compared with large surface areas of contact from the right to the left hand in dry conditions measured on one living person, touch voltage range $U_T = 25$ V to 200 V, a.c. 50 Hz, duration of current flow max. 25 ms	34
Figure 7 – Dependence of the total body impedance Z_T for the 50 th percentile rank of a population of living human beings for large, medium and small surface areas of contact (order of magnitude 10 000 mm ² , 1 000 mm ² and 100 mm ² respectively) in dry conditions at touch voltages $U_T = 25$ V to 200 V a.c. 50/60 Hz	35
Figure 8 – Dependence of the total body impedance Z_T for the 50 th percentile rank of a population of living human beings for large, medium and small surface areas of contact (order of magnitude 10 000 mm ² , 1 000 mm ² and 100 mm ² respectively) in water-wet conditions at touch voltages $U_T = 25$ V to 200 V, a.c. 50/60 Hz	36
Figure 9 – Dependence of the total body impedance Z_T for the 50 th percentile rank of a population of living human beings for large, medium and small surface areas of contact (order of magnitude 10 000 mm ² , 1 000 mm ² and 100 mm ² respectively) in saltwater-wet conditions at touch voltages $U_T = 25$ V to 200 V, a.c. 50/60 Hz	37
Figure 10 – Values for the total body impedance Z_T measured on 10 living human beings with a current path hand to hand and large surface areas of contact in dry conditions at a touch voltage of 10 V and frequencies from 25 Hz to 20 kHz	38
Figure 11 – Values for the total body impedance Z_T measured on one living human being with a current path hand to hand and large surface areas of contact in dry conditions at a touch voltage of 25 V and frequencies from 25 Hz to 2 kHz	38
Figure 12 – Frequency dependence of the total body impedance Z_T of a population for a percentile rank of 50 % for touch voltages from 10 V to 1 000 V and a frequency range from 50 Hz to 2 kHz for a current path hand to hand or hand to foot, large surface areas of contact in dry conditions	39
Figure 13 – Statistical value of total body impedances Z_T and body resistances R_T for a percentile rank of 50 % of a population of living human beings for the current path hand to hand, large surface areas of contact, dry conditions, for touch voltages up to 700 V, for a.c. 50/60 Hz and d.c.	40
Figure 14 – Dependence of the alteration of human skin condition on current density i_T and duration of current flow (for detailed description of zones, see 5.7)	41
Figure 15 – Electrodes used for the measurement of the dependence of the impedance of the human body Z_T on the surface area of contact	42

Figure 16 – Oscillograms of touch voltages U_T and touch currents I_T for a.c., current path hand to hand, large surface areas of contact in dry conditions taken from measurements	43
Figure 17 – Occurrence of the vulnerable period of ventricles during the cardiac cycle	44
Figure 18 – Triggering of ventricular fibrillation in the vulnerable period – Effects on electro-cardiogram (ECG) and blood pressure	44
Figure 19 – Fibrillation data for dogs, pigs and sheep from experiments and for persons calculated from statistics of electrical accidents with transversal direction of current flow hand to hand and touch voltages $U_T = 220$ V and 380 V a.c. with body impedances Z_T (5 %)	45
Figure 20 – Conventional time/current zones of effects of a.c. currents (15 Hz to 100 Hz) on persons for a current path corresponding to left hand to feet (for explanation see Table 11).....	46
Figure 21 – Oscillogram of touch voltages U_T and touch current I_T for d.c., current path hand to hand, large surface areas of contact in dry conditions	46
Figure 22 – Conventional time/current zones of effects of d.c. currents on persons for a longitudinal upward current path (for explanation see Table 13).....	47
Figure 23 – Let-go currents for 60 Hz sinusoidal current	47
Table 1 – Total body impedances Z_T for a current path hand to hand a.c. 50/60 Hz, for large surface areas of contact in dry conditions	16
Table 2 – Total body impedances Z_T for a current path hand to hand a.c. 50/60 Hz, for large surface areas of contact in water-wet conditions	17
Table 3 – Total body impedances Z_T for a current path hand to hand a.c. 50/60 Hz, for large surface areas of contact in saltwater-wet conditions.....	18
Table 4 –Total body impedances Z_T for a current path hand to hand for medium surface areas of contact in dry conditions at touch voltages $U_T = 25$ V to 200 V a.c. 50/60 Hz (values rounded to 25 Ω)	19
Table 5 – Total body impedances Z_T for a current path hand to hand for medium surface areas of contact in water-wet conditions at touch voltages $U_T = 25$ V to 200 V a.c. 50/60 Hz (values rounded to 25 Ω).....	20
Table 6 – Total body impedances Z_T for a current path hand to hand for medium surface areas of contact in saltwater-wet conditions at touch voltages $U_T = 25$ V to 200 V a.c. 50/60 Hz (values rounded to 5 Ω).....	20
Table 7 – Total body impedances Z_T for a current path hand to hand for small surface areas of contact in dry conditions at touch voltages $U_T = 25$ V to 200 V a.c. 50/60 Hz (values rounded to 25 Ω)	20
Table 8 – Total body impedances Z_T for a current path hand to hand for small surface areas of contact in water-wet conditions at touch voltages $U_T = 25$ V to 200 V a.c. 50/60 Hz (values rounded to 25 Ω)	21

Table 9 – Total body impedances Z_T for a current path hand to hand for small surface areas of contact in saltwater-wet conditions at touch voltages $U_T = 25 \text{ V}$ to 200 V a.c. 50/60 Hz (values rounded to 5Ω)	21
Table 10 – Total body resistances R_T for a current path hand to hand, d.c., for large surface areas of contact in dry conditions	22
Table 11 – Time/current zones for a.c. 15 Hz to 100 Hz for hand to feet pathway : Summary of zones of Figure 20	26
Table 12 – Heart-current factor F for different current paths.....	27
Table 13 – Time/current zones for d.c. for hand to feet pathway – Summary of zones of Figure 22	29
Table A.1 – Total body impedances Z_T , electrodes type A for dry condition and deviation factors F_D (5 % and 95 %)	49
Table A.2 – Total body impedances Z_T , electrodes type B for dry, water-wet and saltwater-wet conditions and deviation factors F_D (5 % and 95 %)	49
Table A.3 – Total body impedances Z_T for dry, water-wet and saltwater-wet conditions and deviation factors F_D (5 % and 95 %).	50
Table A.4 – Deviation factors F_D (5 %) and F_D (95 %) for dry and water-wet conditions in the touch voltage range $U_T = 25 \text{ V}$ up to 400 V for large, medium and small surface areas of contact.....	51
Table D.1 – 50 th percentile values for the total body impedance for a current path hands-feet medium surface area of contact for hands, large for feet, reduction factor 0,8, dry conditions, touch currents I_T and electrophysiological effects.....	56

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

EFFECTS OF CURRENT ON HUMAN BEINGS AND LIVESTOCK –

Part 1: General aspects

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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. In exceptional circumstances, a technical committee may propose the publication of a technical specification when

- the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts, or
- the subject is still under technical development or where, for any other reason, there is the future but no immediate possibility of an agreement on an International Standard.

Technical specifications are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards.

IEC 60479-1, which is a technical specification, has been prepared by IEC technical committee 64: Electrical installations and protection against electric shock.

This fourth edition cancels and replaces the third edition, published as a technical report in 1994, and constitutes a technical revision.

The main changes with respect to the previous edition are listed below:

- Dependence of the total body impedance Z_T for 50th percentile rank of a population of living human beings for large, average and small surface areas of a contact in dry, water-wet and saltwater-wet conditions at touch voltage $U_T = 25$ V to 200 V a.c. 50/60 Hz.
- Oscillograms of touch voltages U_T and touch currents I_T for a.c., current path hand-to-hand, large surface areas of contact in dry condition taken from measurements given in Figure 16 with the relevant explanations in the main text.
- Fibrillation data for dogs, pigs and sheep obtained from experiments and for persons calculated from statistics of electrical accidents with transversal direction of current flow, hand-to-hand and touch voltages $U_T = 220$ V to 380 V a.c. with body impedances Z_T (5%) given in Figure 19 with the relevant explanations in the main text.
- Change of Curve B in Figure 20 from 10 mA to 5 mA: conventional time/current zones of effects of a.c. current (15 Hz to 100 Hz) on persons with the relevant explanations in the main text.
- Let-go currents for 60 Hz sinusoidal current given in Figure 23 with the relevant explanations in the main text.
- new structure to the body of the standard.

This technical specification has the status of a basic safety publication in accordance with IEC Guide 104.

The text of this technical specification is based on the following documents:

Enquiry draft	Report on voting
64/1427/DTS	64/1463/RVC

Full information on the voting for the approval of this technical specification can be found in the report on voting indicated in the above Table.

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

IEC 60479 consists of the following parts under the general title *Effects of current on human beings and livestock*

Part 1: General aspects

Part 2: Special aspects:

Chapter 4: Effects of alternating current with frequencies above 100 Hz

Chapter 5: Effects of special waveforms of current

Chapter 6: Effects of unidirectional single impulse currents of short duration

Part 3: Effects of currents passing through the bodies of livestock

Part 4: Effects of lightning strokes on human beings and livestock

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result 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

- transformed into an International standard,
- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

The contents of the corrigendum of October 2006 and June 2013 have been included in this copy.

INTRODUCTION

This technical specification provides basic guidance on the effects of shock current on human beings and livestock, for use in the establishment of electrical safety requirements.

In order to avoid errors in the interpretation of this specification, it must be emphasized that the data given herein is mainly based on experiments with animals as well as on information available from clinical observations. Only a few experiments with shock currents of short duration have been carried out on living human beings.

On the evidence available, mostly from animal research, the values are so conservative that the standard applies to persons of normal physiological conditions including children, irrespective of age and weight.

There are, however, other aspects to be taken into account, such as probability of faults, probability of contact with live or faulty parts, ratio between touch voltage and fault voltage, experience gained, technical feasibilities, and economics. These parameters have to be considered carefully when fixing safety requirements, for example, operating characteristics of protective devices for electrical installations.

The form of the specification as has been adopted summarizes results so far achieved which are being used by technical committee 64 as a basis for fixing requirements for protection against shock. These results are considered important enough to justify an IEC publication which may serve as a guide to other IEC committees and countries having need of such information.

This technical specification applies to the threshold of ventricular fibrillation which is the main cause of deaths by electric current. The analysis of results of recent research work on cardiac physiology and on the fibrillation threshold, taken together, has made it possible to better appreciate the influence of the main physical parameters and, especially, of the duration of the current flow.

IEC 60479-1 contains information about body impedance and body current thresholds for various physiological effects. This information can be combined to derive estimates of a.c. and d.c. touch voltage thresholds for certain body current pathways, contact moisture conditions, and skin contact areas. Information about touch voltage thresholds for physiological effects is contained in the IEC 61201.

This specification refers specifically to the effects of electric current. When an assessment of the harmful effects of any event on human beings and livestock is being made, other non-electric phenomena, including falls, heat, fire, or others should be taken into account. These matters are beyond the scope of this specification, but may be extremely serious in their own right.

Recent research work has also been conducted on the other physical accident parameters, especially the waveform and frequency of the current and the impedance of the human body. This fourth revision of IEC 60479-1 should be viewed as the logical development and evolution of the third edition.

Clause 2 of IEC 60479-1 (third edition) on the impedance of the human body contained little information on the dependence of the impedance on the surface area of contact and then only for dry conditions.

Therefore measurements were carried out on 10 persons using medium and small surface areas of contact in dry, water-wet and saltwater-wet conditions, current path hand to hand, at a touch voltage of 25 V a.c. 50 Hz. The impedance values for a percentile rank of 5 %, 50 % and 95 % have been calculated from these measurements.

Due to unpleasant sensations and the possibility of inherent danger, measurements using large surface areas of contact (order of magnitude 10 000 mm²) in dry, water-wet and saltwater-wet conditions and with medium and small surface areas of contact (order of magnitude 1 000 mm² and 100 mm²) in dry condition at touch voltages from 25 V up to and including 200 V a.c. have only been carried out on one person. By the use of deviation factors it was nevertheless possible to derive values of the total body impedance Z_T for a percentile rank of 5 %, 50 % and 95 % of a population of persons. With the same one person measurements were also made with still smaller surface areas of contact (10 mm² and 1 mm²) and between fingertips.

For the calculation of total body impedance Z_T for a percentile rank of 5 %, 50 % and 95 % of a population of persons for large surface areas of contact for touch voltages above 200 V up to 700 V and higher up to the asymptotic values the method to adapt values of Z_T measured on corpses to those of persons used for the second edition of IEC 60479-1 was improved by taking account of the different temperature of the corpses during measurements and the temperature of 37 °C for persons.

The present state of knowledge of a.c. impedance Z_T of the human body for large, medium and small surface areas of contact in dry, water-wet and salt-water-wet conditions and of the d.c.-resistance R_T of the human body for large areas of contact in dry conditions are presented.

It should be mentioned that the thresholds as order of magnitude are valid for all persons (men, women and children) independent of their state of health. Often concerns are expressed in that respect but if the background of such objections is examined it is found that such objections represent just opinions without experimental evidence. Some measurements indicate that the thresholds of perception and let-go for women are lower than for men. This may also be the case for children.

Furthermore in Clause 5 a heart-current factor F for the current path foot to foot has been introduced. This is important for electrical risks caused by step voltages.

EFFECTS OF CURRENT ON HUMAN BEINGS AND LIVESTOCK –

Part 1: General aspects

1 Scope

For a given current path through the human body, the danger to persons depends mainly on the magnitude and duration of the current flow. However, the time/current zones specified in the following clauses are, in many cases, not directly applicable in practice for designing measures of protection against electrical shock. The necessary criterion is the admissible limit of touch voltage (i.e. the product of the current through the body called touch current and the body impedance) as a function of time. The relationship between current and voltage is not linear because the impedance of the human body varies with the touch voltage, and data on this relationship is therefore required. The different parts of the human body (such as the skin, blood, muscles, other tissues and joints) present to the electric current a certain impedance composed of resistive and capacitive components.

The values of body impedance depend on a number of factors and, in particular, on current path, on touch voltage, duration of current flow, frequency, degree of moisture of the skin, surface area of contact, pressure exerted and temperature.

The impedance values indicated in this technical specification result from a close examination of the experimental results available from measurements carried out principally on corpses and on some living persons.

Knowledge of the effects of alternating current is primarily based on the findings related to the effects of current at frequencies of 50 Hz or 60 Hz which are the most common in electrical installations. The values given are, however, deemed applicable over the frequency range from 15 Hz to 100 Hz, threshold values at the limits of this range being higher than those at 50 Hz or 60 Hz. Principally the risk of ventricular fibrillation is considered to be the main mechanism of death of fatal electrical accidents.

Accidents with direct current are much less frequent than would be expected from the number of d.c. applications, and fatal electrical accidents occur only under very unfavourable conditions, for example, in mines. This is partly due to the fact that with direct current, the let-go of parts gripped is less difficult and that for shock durations longer than the period of the cardiac cycle, the threshold of ventricular fibrillation is considerably higher than for alternating current.

NOTE The IEC 60479 series contains information about body impedance and body current thresholds for various physiological effects. This information can be combined to derive estimates of a.c. and d.c. touch voltage thresholds for certain body current pathways, contact moisture conditions, and skin contact areas. Information about touch voltage thresholds for physiological effects is contained in IEC 61201.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 61201:1992, *Extra-low voltage (ELV) – Limit values*

Guide 104:1997, *The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	64
INTRODUCTION	67
1 Domaine d'application et objet	69
2 Références normatives	70
3 Définitions	70
3.1 Définitions générales	70
3.2 Effets du courant alternatif dans la gamme de fréquences de 15 Hz à 100 Hz	71
3.3 Effets du courant continu	72
4 Impédances électriques du corps humain	72
4.1 Impédance interne du corps humain (Z_i)	72
4.2 Impédance de la peau (Z_s)	73
4.3 Impédance totale du corps humain (Z_T)	73
4.4 Facteurs affectant la résistance initiale du corps humain (R_o)	73
4.5 Valeurs de l'impédance totale du corps humain (Z_T)	73
4.6 Valeur de la résistance initiale du corps humain (R_o)	81
5 Effets du courant alternatif de fréquence comprise entre 15 Hz et 100 Hz	81
5.1 Seuil de perception	81
5.2 Seuil de réaction	81
5.3 Immobilisation	81
5.4 Seuil de non-lâcher	81
5.5 Seuil de fibrillation ventriculaire	82
5.6 Autres effets du courant liés aux chocs électriques	82
5.7 Effets du courant sur la peau	83
5.8 Descriptions des zones temps/courant (voir Figure 20)	84
5.9 Application du facteur de courant de cœur (F)	84
6 Effets du courant continu	85
6.1 Seuil de perception et seuil de réaction	85
6.2 Seuil d'immobilisation et seuil de non-lâcher	85
6.3 Seuil de fibrillation ventriculaire	85
6.4 Autres effets du courant	86
6.5 Descriptions des zones temps/courant (voir Figure 22)	87
6.6 Facteur de cœur	87
Annexes	106
Annexe A (normative) Mesures de l'impédance totale du corps humain Z_T effectuées sur des personnes vivantes et sur des cadavres et analyse statistique des résultats	107
Annexe B (normative) Influence de la fréquence sur l'impédance totale du corps humain (Z_T)	110
Annexe C (normative) Résistance totale du corps (R_T) en courant continu	111
Annexe D (informative) Exemples de calcul de Z_T	112
Bibliographie	116

Figure 1 – Impédances du corps humain.....	87
Figure 2 – Impédances internes partielles Z_{ip} du corps humain	88
Figure 3 – Diagramme simplifié des impédances internes du corps humain	89
Figure 4 – Impédance totale du corps Z_T (50 %) pour un trajet du courant de main à main, pour des surfaces de contact importantes, dans des conditions sèches, humides et humides et salées pour un pourcentage de la population de 50 %, avec des tensions de contact U_T de 25 V à 700 V en courant alternatif 50/60 Hz	90
Figure 5 – Assujettissement de l'impédance totale Z_T d'une personne vivante à la surface de contact dans des conditions sèches et à la tension de contact (50 Hz)	91
Figure 6 – Assujettissement de l'impédance totale du corps Z_T à la tension de contact U_T pour un trajet du courant depuis l'extrémité de l'index gauche vers l'index droit comparée à des surfaces de contact importantes depuis la main droite vers la main gauche, dans des conditions sèches, mesurées sur une personne vivante avec une tension de contact U_T variant de 25 V à 200 V en courant alternatif (50 Hz), d'une durée maximale de l'écoulement du courant de 25 ms	92
Figure 7 – Assujettissement de l'impédance totale du corps Z_T pour un pourcentage de 50 % de la population de personnes vivantes pour des surfaces de contact importantes, moyennes et faibles (respectivement d'environ 10 000 mm ² , 1 000 mm ² et 100 mm ²) dans des conditions sèches avec des tensions de contact U_T variant de 25 V à 200 V en courant alternatif (50/60 Hz)	93
Figure 8 – Assujettissement de l'impédance totale du corps Z_T pour un pourcentage de 50 % de la population de personnes vivantes pour des surfaces de contact importantes, moyennes et faibles (respectivement d'environ 10 000 mm ² , 1 000 mm ² et 100 mm ²) dans des conditions humides avec des tensions de contact U_T variant de 25 V à 200 V en courant alternatif (50/60 Hz)	94
Figure 9 – Assujettissement de l'impédance totale du corps Z_T pour un pourcentage de 50 % de la population de personnes vivantes pour des surfaces de contact importantes, moyennes et faibles (respectivement d'environ 10 000 mm ² , 1 000 mm ² et 100 mm ²) dans des conditions humides et salées avec des tensions de contact U_T variant de 25 V à 200 V en courant alternatif (50/60 Hz)	95
Figure 10 – Valeurs de l'impédance totale du corps Z_T mesurées sur 10 personnes vivantes avec un trajet de courant de main à main et des surfaces de contact importantes dans des conditions sèches pour une tension de contact de 10 V et des fréquences de 25 Hz à 20 kHz	96
Figure 11 – Valeurs de l'impédance totale du corps Z_T mesurées sur 1 personne vivante avec un trajet de courant de main à main et des surfaces de contact importantes dans des conditions sèches pour une tension de contact de 25 V et des fréquences de 25 Hz à 2 kHz	96
Figure 12 – Valeurs de l'impédance totale du corps Z_T en fonction de la fréquence pour un pourcentage de 50 % de la population avec des tensions de contact variant de 10 V à 1 000 V en courant alternatif de 50 Hz à 2 kHz pour un trajet de courant de main à main ou de main à pied avec des surfaces de contact importantes dans des conditions sèches	97
Figure 13 – Valeur statistique des impédances totales du corps Z_T et de la résistance du corps R_T pour un pourcentage de 50 % de la population de personnes vivantes pour un trajet de courant de main à main avec des surfaces de contact importantes, dans des conditions sèches pour des tensions de contact jusqu'à 700 V en courant alternatif de 50/60 Hz et en courant continu	98
Figure 14 – Assujettissement de l'altération de la peau humaine en fonction de la densité du courant i_T et de la durée d'écoulement du courant (pour la description détaillée des zones, voir 5.7)	99
Figure 15 – Electrodes utilisées pour la mesure de l'assujettissement de l'impédance totale du corps Z_T en fonction de la surface de contact	100

Figure 16 – Oscillogrammes des tensions de contact U_T et des courants de contact I_T pour un courant alternatif, trajet de main à main, surfaces de contact importantes, conditions sèches enregistrés d'après mesures	101
Figure 17 – Occurrence de la période vulnérable des ventricules lors du cycle cardiaque. Les nombres indiquent les stades consécutifs de la propagation de l'excitation	102
Figure 18 – Déclenchement de la fibrillation ventriculaire lors d'une période vulnérable. Effets sur l'électrocardiogramme (ECG) et la pression du sang.....	102
Figure 19 – Données de fibrillation pour les chiens, les cochons et les moutons à partir d'expériences et pour les personnes, calculées à partir des statistiques d'accidents électriques, avec une direction transversale du courant « main-main » et pour des tensions de contact $U_T = 220$ V et 380 V en courant alternatif avec des impédances de corps Z_T (5 %)	103
Figure 20 – Zones temps/courant conventionnelles des effets des courants alternatifs (15 Hz à 100 Hz) sur des personnes pour un trajet de courant correspondant main gauche à pieds (pour plus de détails, voir le Tableau 11).....	104
Figure 21 – Oscillogrammes des tensions de contact U_T et des courants de contact I_T pour un trajet de courant continu de main à main, avec surfaces de contact importantes dans des conditions sèches	104
Figure 22 – Zones conventionnelles temps/courant des effets des courants continus sur des personnes pour un trajet longitudinal montant (pour plus de détails, voir Tableau 13)	105
Figure 23 – Courants de non-lâcher pour un courant sinusoïdal de 60 Hz.....	105
 Tableau 1 – Impédance totale du corps humain Z_T pour un trajet de courant main à main en courant alternatif 50/60 Hz pour des surfaces de contact importantes dans des conditions sèches	74
Tableau 2 – Impédance totale du corps humain Z_T pour un trajet de courant main à main en courant alternatif 50/60 Hz pour des surfaces de contact importantes dans des conditions humides	75
Tableau 3 – Impédance totale du corps humain Z_T pour un trajet de courant main à main en courant alternatif 50/60 Hz pour des surfaces de contact importantes dans des conditions humides et salées	76
Tableau 4 – Impédance totale du corps humain Z_T pour un trajet de courant main à main pour des surfaces de contact moyennes dans des conditions sèches, pour des tensions de contact U_T de 25 V à 200 V en courant alternatif 50/60 Hz (valeurs arrondies à 25 Ω).....	77
Tableau 5 – Impédance totale du corps humain Z_T pour un trajet de courant main à main pour des surfaces de contact moyennes dans des conditions humides, pour des tensions de contact U_T de 25 V à 200 V en courant alternatif 50/60 Hz (valeurs arrondies à 25 Ω).....	78
Tableau 6 – Impédance totale du corps humain Z_T pour un trajet de courant main à main pour des surfaces de contact moyennes dans des conditions humides et salées, pour des tensions de contact U_T de 25 V à 200 V en courant alternatif 50/60 Hz (valeurs arrondies à 25 Ω)	78
Tableau 7 – Impédance totale du corps humain Z_T pour un trajet de courant main à main pour des surfaces de contact faibles dans des conditions sèches, pour des tensions de contact U_T de 25 V à 200 V en courant alternatif 50/60 Hz (valeurs arrondies à 25 Ω).....	78
Tableau 8 – Impédance totale du corps humain Z_T pour un trajet de courant main à main pour des surfaces de contact faibles dans des conditions humides, pour des tensions de contact U_T de 25 V à 200 V en courant alternatif 50/60 Hz (valeurs arrondies à 25 Ω).....	79

Tableau 9 – Impédance totale du corps humain Z_T pour un trajet de courant main à main pour des surfaces de contact faibles dans des conditions humides et salées, pour des tensions de contact U_T de 25 V à 200 V en courant alternatif 50/60 Hz (valeurs arrondies à 5 Ω).....	79
Tableau 10 – Résistance totale du corps humain R_T pour un trajet de courant main à main en courant continu pour des surfaces de contact importantes dans des conditions sèches.....	80
Tableau 11 – Zones temps/courant en tension alternative 15 Hz à 100 Hz pour un trajet main à pied – Description des zones de la Figure 20	84
Tableau 12 – Facteur de courant de cœur F pour différents trajets du courant.....	85
Tableau 13 – Zones temps/courant en courant continu pour un trajet main à pied – Description des zones de la Figure 22	87
Tableau A.1 – Impédances totales du corps humain Z_T , électrodes de type A dans des conditions sèches et facteurs de correction F_D (5 % et 95 %)	107
Tableau A.2 – Impédances totales du corps humain Z_T , électrodes de type B dans des conditions sèches, humides et humides et salées et facteurs de correction F_D (5 % et 95 %).....	107
Tableau A.3 – Impédances totales du corps humain Z_T dans des conditions sèches, humides et humides et salées et facteurs de correction F_D (5 % et 95 %).....	108
Tableau A.4 – Facteurs de correction F_D (5 %) et F_D (95 %) dans des conditions sèches et humides pour des tensions de contact variant de $U_T = 25$ V à 400 V pour des surfaces de contact importantes, moyennes et faibles.....	109
Tableau D.1 – Valeurs d'impédances totales du corps pour 50 % de la population pour un trajet de courant mains à pieds, surfaces de contact moyenne pour les mains et importante pour les pieds, facteur de réduction de 0,8, conditions sèches, courants de contact I_T et effets électrophysiologiques.....	114

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

EFFETS DU COURANT SUR L'HOMME ET LES ANIMAUX DOMESTIQUES –

Partie 1: Aspects généraux

AVANT-PROPOS

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

La tâche principale des comités d'études de la CEI est l'élaboration des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'une spécification technique

- lorsqu'en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale, ou
- lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou quand, pour une raison quelconque, la possibilité d'un accord pour la publication d'une Norme internationale peut être envisagée pour l'avenir mais pas dans l'immédiat.

Les spécifications techniques font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales.

La CEI 60479-1, qui est une spécification technique, a été établie par le comité d'études 64 de la CEI: Installations électriques et protection contre les chocs électriques.

Cette quatrième édition remplace et annule la troisième édition parue comme rapport technique en 1994. Cette quatrième édition constitue une révision technique.

Les modifications principales par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

- Assujettissement de l'impédance totale du corps Z_T pour 50 % de la population des personnes vivantes et pour des surfaces de contact importantes, moyennes et petites dans des conditions secs, humides et humides et salées pour des tensions de contact U_T variant de 25 V à 200 V c.a. 50/60 Hz.
- Les oscillogrammes des tensions de contact U_T et des courants de contact I_T pour un passage de courant c.a. de la main à la main pour des surfaces de contact importantes dans des conditions sèches à partir des mesures indiquées en Figure 16 avec les explications données dans le texte.
- Les données de fibrillation pour les chiens, porcs et moutons obtenues par expérimentation ainsi que pour les personnes à partir de statistiques d'accidents électriques avec un courant transversal « main à main » et des tensions de contact U_T de 220 V et de 380 V c.a et des impédances de corps Z_T (5%) données dans la Figure 19 avec les explications données dans le texte.
- La modification de la Courbe B de la Figure 20 de 10 mA à 5 mA: les zones conventionnelles temps/courant des courants c.a. (de 15 Hz à 100 Hz) relatives aux personnes avec les explications données dans le texte.
- Les courants de non-lâcher en courant sinusoïdal 60 Hz présentés en Figure 23 avec les explications données dans le texte.
- La nouvelle structure de la norme.

Cette spécification technique a le statut d'une publication fondamentale de sécurité conformément au Guide CEI 104.

Le texte de cette spécification technique est issu des documents suivants:

Projet d'enquête	Rapport de vote
64/1427/DTS	64/1463/RVC

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

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

La CEI 60479 est constituée des parties suivantes, regroupées sous le titre général *Effets du courant sur l'homme et les animaux domestiques*

Partie 1: Aspects généraux

Partie 2: Aspects particuliers:

Chapitre 4: Effets du courant alternatif de fréquence supérieure à 100 Hz

Chapitre 5: Effets des courants de formes d'ondes spéciales

Chapitre 6: Effets des courants d'impulsion unique de courte durée

Partie 3: Effets du courant passant par le corps d'animaux domestiques

Partie 4: Effets de la foudre sur le corps humain et les animaux

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

- transformée en Norme internationale,
- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

Le contenu des corrigenda d'octobre 2006 et de juin 2013 a été pris en considération dans cet exemplaire.

INTRODUCTION

La présente spécification technique donne des indications fondamentales sur les effets du courant de choc sur le corps humain et les animaux, afin de les utiliser pour les exigences de la sécurité électrique.

Afin d'éviter des erreurs d'interprétation de la présente spécification, il faut souligner que les données se fondent essentiellement sur des expériences sur des animaux et sur des données fournies par des observations médicales. Seuls quelques essais de courants de choc de courte durée ont été effectués sur des êtres humains.

Selon les résultats obtenus à partir d'expériences sur les animaux, les valeurs sont d'autant plus conservatrices qu'elles sont applicables à des personnes dans des conditions physiologiques normales, y compris les enfants, quels que soient leur âge et leur poids.

Toutefois, d'autres aspects sont à prendre en compte tels que la probabilité de défauts, la probabilité de contact avec des parties actives ou en défaut, le rapport entre la tension de contact et celle de défaut, l'expérience acquise, les possibilités techniques et économiques. Ces paramètres seront soigneusement considérés lors de l'élaboration d'exigences de sécurité, par exemple les caractéristiques de fonctionnement des dispositifs de protection mis en œuvre dans les installations électriques.

La forme de cette spécification, comme elle a été adoptée, fait la synthèse des résultats aboutis utilisés par le comité d'études 64 comme base pour les exigences de la protection contre les chocs électriques. Ces résultats ont été considérés comme suffisamment importants pour justifier la publication pouvant servir de base pour d'autres comités et d'autres pays ayant besoin de ces informations.

La présente spécification technique est applicable au seuil de fibrillation ventriculaire, cause principale de mort due au courant électrique. L'analyse des récents résultats de la recherche cardio-physiologique relatifs à ces seuils de fibrillation permet d'apprécier l'influence des paramètres physiques essentiels et, particulièrement la durée de l'écoulement du courant.

La CEI 60479-1 donne des informations sur l'impédance du corps et les seuils de courant pour divers effets physiologiques. Ces informations peuvent être associées pour donner des estimations des seuils de tension de toucher en courant alternatif et continu pour certains cheminements dans le corps, des conditions d'humidité et des zones de contact de la peau. Des informations sur les seuils de tension de toucher relatifs aux effets physiologiques sont données dans la CEI 61201.

Cette spécification se réfère particulièrement aux effets du courant électrique. Lors d'une évaluation des effets dangereux sur des personnes et des animaux, des phénomènes non électriques tels que chutes, brûlures, incendie ou autres peuvent apparaître et il convient d'en tenir compte. Ces phénomènes sont hors du domaine d'application de cette spécification, mais peuvent être très importants.

Des travaux récents ont été menés sur ces autres paramètres d'accidents physiques, particulièrement la forme d'onde et la fréquence du courant ainsi que l'impédance du corps. Il convient que cette quatrième révision de la CEI 60479-1 soit menée en tenant compte du développement logique et de l'évolution de la troisième édition.

L'Article 2 de la CEI 60479-1(troisième édition) relatif à l'impédance du corps humain donne peu d'informations sur l'assujettissement de l'impédance à la surface de contact et cela, seulement dans des conditions sèches.

Ainsi, des mesures ont été effectuées sur 10 personnes utilisant des surfaces de contact moyennes et petites dans des conditions sèches, humides, humides et salées, avec un passage de courant main/main pour une tension de contact de 25 V c.a. à 50 Hz. Les valeurs d'impédance pour un pourcentage de population de 5 %, 50 % et 95 % ont été calculées d'après ces mesures.

En raisons de sensations désagréables et de l'éventualité de danger lors de l'utilisation de surfaces de contact importantes (de l'ordre de 10 000 mm²) dans des conditions sèches, humides, humides et salées, avec des surfaces de contact moyennes et faibles (de l'ordre de 1 000 mm² et 100 mm²) dans des conditions sèches et pour des tensions de contact depuis 25 V jusqu'à 200 V c.a. inclus, ces expériences ont été effectuées sur une seule personne. En utilisant les facteurs de déviation, il n'a pas été possible d'interpoler des valeurs d'impédance totale Z_T du corps pour des pourcentages de population de 5 %, 50 % et 95 %. Sur cette même personne, des mesures ont été effectuées avec des surfaces de contact plus faibles (10 mm² et 1 mm²) et entre les doigts.

Pour le calcul de l'impédance totale du corps humain Z_T pour des pourcentages de population de 5 %, 50 % et 95 % et pour des surfaces de contact importantes et des tensions de contact entre 200 V et 700 V et jusqu'aux valeurs asymptotiques, la méthode d'adaptation des valeurs de Z_T mesurées sur des cadavres, comparées à celles utilisées dans la deuxième édition de la CEI 60479-1 a été améliorée en tenant compte des diverses températures des cadavres lors des mesures et celle de 37 °C pour les humains.

L'état actuel des connaissances de l'impédance en courant alternatif Z_T pour des surfaces de contact importantes, moyennes et faibles dans des conditions sèches, humides, humides et salées et de la résistance en courant continu R_T du corps humain pour des surfaces de contact importantes dans des conditions sèches est présenté.

Il convient de mentionner que les valeurs des seuils sont valables pour toutes les personnes (hommes, femmes et enfants) quel que soit leur état de santé. Des objections sur ce point sont souvent présentées, mais elles représentent des opinions ne se fondant sur aucune expérience. Des mesures indiquent que les seuils de perception et de non-lâcher sont plus faibles pour les femmes que pour les hommes. Cela peut aussi être le cas pour les enfants.

De plus, dans l'Article 5, le facteur du courant dans le cœur F pour un passage du courant pied à pied est important pour les risques électriques dus à la tension de pas.

EFFETS DU COURANT SUR L'HOMME ET LES ANIMAUX DOMESTIQUES –

Partie 1: Aspects généraux

1 Domaine d'application

Pour un même trajet du courant à travers le corps humain, le danger qu'encourent les personnes dépend essentiellement de l'intensité et de la durée de passage du courant. Toutefois, les zones temps/courant spécifiées dans les paragraphes suivants ne sont pas, dans beaucoup de cas, directement applicables en pratique pour concevoir la protection contre les chocs électriques; le critère est la limite admissible de la tension de contact (c'est-à-dire le produit du courant passant dans le corps humain et de son impédance) en fonction du temps. La relation entre le courant et la tension n'est pas linéaire du fait que l'impédance du corps humain varie avec la tension de contact. Il importe donc de disposer de données quant à cette relation. Les différentes parties du corps humain – telles que la peau, le sang, les muscles, d'autres tissus et les articulations – présentent pour le courant électrique une certaine impédance composée d'éléments résistifs et capacitifs.

Les valeurs de ces impédances dépendent de plusieurs facteurs et notamment du trajet du courant, de la tension de contact, de la durée du passage du courant, de la fréquence du courant, de l'état de l'humidité de la peau, de la surface de contact, de la pression exercée et de la température.

Les valeurs d'impédances indiquées dans cette spécification technique résultent d'un examen minutieux des résultats expérimentaux disponibles de mesures effectuées principalement sur des cadavres et sur quelques personnes vivantes.

La connaissance des effets du courant alternatif est principalement fondée sur les données concernant les effets du courant électrique à la fréquence de 50 Hz ou de 60 Hz, fréquences les plus utilisées dans les installations électriques. Les valeurs indiquées sont toutefois considérées comme applicables dans la gamme des fréquences de 15 Hz à 100 Hz, les valeurs du seuil aux limites de cette gamme étant plus élevées que celles à la fréquence de 50 Hz ou de 60 Hz. C'est principalement le risque de fibrillation ventriculaire du cœur qui est considéré comme le mécanisme essentiel d'accidents électriques entraînant la mort.

Les accidents en courant continu sont beaucoup moins fréquents que l'on pourrait présumer en considérant le nombre d'applications en courant continu et des accidents mortels se produisant seulement dans des conditions très défavorables, par exemple dans des mines. Cela est dû en partie au fait que, pour des durées de choc supérieures à la période du cycle cardiaque, le seuil de fibrillation ventriculaire est beaucoup plus élevé qu'en courant alternatif.

NOTE La série CEI 60479 contient des informations sur l'impédance du corps et les seuils de courant à travers le corps pour divers effets physiologiques. Ces informations peuvent être associées à des seuils de tension de contact estimés en c.a. et c.c. pour certains passages de courant dans le corps, des conditions d'humidité et des surfaces de contact. Des informations sur les seuils de tension de contact relatifs aux effets physiologiques sont données dans la CEI 61201.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 61201:1992, *Très basse tension (TBT) – Valeurs limites*

Guide CEI 104 :1997, *Elaboration des publications de sécurité et utilisation des publications fondamentales de sécurité et publications groupées de sécurité*