

RAPPORT TECHNIQUE TECHNICAL REPORT

**CEI
IEC
479-1**

Troisième édition
Third edition
1994-09

**PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ
BASIC SAFETY PUBLICATION**

**Effets du courant sur l'homme
et les animaux domestiques –**

Partie 1:
Aspects généraux

**Effects of current on human beings
and livestock –**

Part 1:
General aspects



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 479-1: 1994

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électro-technique;*
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles;*
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas;*

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale.*

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology;*
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets;*
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams;*

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice.*

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

**RAPPORT
TECHNIQUE – Type 2
TECHNICAL
REPORT – Type 2**

**CEI
IEC
479-1**

Troisième édition
Third edition
1994-09

**PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ
BASIC SAFETY PUBLICATION**

**Effets du courant sur l'homme
et les animaux domestiques –**

**Partie 1:
Aspects généraux**

**Effects of current on human beings
and livestock –**

**Part 1:
General aspects**

© CEI 1994 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

V

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	8
Articles	
1 Généralités	10
1.1 Domaine d'application et objet	10
1.2 Référence normative	12
1.3 Définitions	12
2 Caractéristiques de l'impédance du corps humain	14
2.1 Impédance interne du corps humain (Z_i)	14
2.2 Impédance de la peau (Z_p)	16
2.3 Impédance totale du corps humain (Z_T)	16
2.4 Résistance initiale du corps humain (R_o)	16
2.5 Valeurs de l'impédance totale du corps humain (Z_T)	18
2.6 Valeur de la résistance initiale du corps humain (R_o)	22
2.7 Sujétion des impédances du corps à la surface de contact en courant alternatif 50/60 Hz et en courant continu	22
3 Effets du courant alternatif de fréquence comprise entre 15 Hz et 100 Hz	38
3.1 Seuil de perception et seuil de réaction	38
3.2 Seuil de non-lâcher	38
3.3 Seuil de fibrillation ventriculaire	38
3.4 Autres effets du courant	40
3.5 Descriptions des zones temps/courant (voir figure 14)	40
3.6 Application du facteur de courant de coeur (F)	40
4 Effets du courant continu	48
4.1 Seuil de perception et seuil de réaction	48
4.2 Seuil de non-lâcher	48
4.3 Seuil de fibrillation ventriculaire	48
4.4 Autres effets du courant	50
4.5 Descriptions des zones temps/courant (voir figure 15)	50
Annexes	
A Mesures effectuées sur des sujets vivants et sur des cadavres et exploitation statistique des résultats	56
B Influence de la fréquence sur l'impédance totale du corps humain (Z_T)	58
C Résistance totale du corps (R_T) en courant continu	60
D Mesures de l'assujettissement de l'impédance totale du corps humain (Z_T) à la surface de contact	62
E Bibliographie	64

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	9
Clause	
1 General	11
1.1 Scope and object	11
1.2 Normative reference	13
1.3 Definitions	13
2 Electrical impedance of the human body	15
2.1 Internal impedance of the human body (Z_i)	15
2.2 Impedance of the skin (Z_p)	17
2.3 Total impedance of the human body (Z_T)	17
2.4 Initial resistance of the human body (R_o)	17
2.5 Values of the total impedance of the human body (Z_T)	19
2.6 Value of the initial resistance of the human body (R_o)	23
2.7 Dependence of body impedances on the surface area of contact for a.c. 50/60 Hz and for d.c.	23
3 Effects of sinusoidal alternating current in the range of 15 Hz to 100 Hz	39
3.1 Threshold of perception and threshold of reaction	39
3.2 Threshold of let-go	39
3.3 Threshold of ventricular fibrillation	39
3.4 Other effects of current	41
3.5 Description of the time/current zones (see figure 14)	41
3.6 Application of heart-current factor (F)	41
4 Effects of direct current	49
4.1 Threshold of perception and threshold of reaction	49
4.2 Threshold of let-go	49
4.3 Threshold of ventricular fibrillation	49
4.4 Other effects of current	51
4.5 Description of the time/current zones (see figure 15)	51
Annexes	
A Measurements made on living and dead human beings and the statistical analysis of the results	57
B Influence of frequency on the total body impedance (Z_T)	59
C Total body resistance (R_T) for direct current	61
D Measurements of the dependence of the total impedance of the human body (Z_T) on the surface area of contact	63
E Bibliography	64

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

Partie 1: Aspects généraux

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) 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. 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 en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La tâche principale des comités d'études de la CEI est d'élaborer des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique de l'un des types suivants:

- type 1, lorsque, en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale;
- type 2, lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou lorsque, 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;
- type 3, lorsqu'un comité d'études a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

Les rapports techniques de types 1 et 2 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. Les rapports techniques de type 3 ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données qu'ils contiennent ne soient plus jugées valables ou utiles.

La CEI 479-1, rapport technique de type 2, a été établie par le comité d'études 64 de la CEI: Installations électriques des bâtiments.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**EFFECTS OF CURRENT ON HUMAN BEINGS
AND LIVESTOCK –****Part 1: General aspects**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international cooperation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the IEC on technical matters, prepared by technical committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.

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 report of one of the following types:

- type 1, when the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts;
- type 2, when the subject is still under technical development or where for any other reason there is the future but not immediate possibility of an agreement on an International Standard;
- type 3, when a technical committee has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

Technical reports of types 1 and 2 are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards. Technical reports of type 3 do not necessarily have to be reviewed until the data they provide are considered to be no longer valid or useful.

IEC 479-1, which is a technical report of type 2, has been prepared by IEC technical committee 64: Electrical installations of buildings.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Projets de comité	Rapports de vote
64(BC)211 64(BC)234	64(BC)235 64(BC)241

Les rapports de vote indiqués dans le tableau ci-dessus donnent toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de ce rapport technique.

Le présent document est publié dans la série des rapports techniques de type 2 (conformément au paragraphe G.4.2.2 de la partie 1 des Directives CEI/ISO) comme «norme prospective d'application provisoire» dans le domaine des installations électriques des bâtiments (et des effets du courant sur l'homme et les animaux) car il est urgent d'avoir des indications sur la meilleure façon d'utiliser les normes dans ce domaine afin de répondre à un besoin déterminé.

Ce document ne doit pas être considéré comme une «Norme internationale». Il est proposé pour une mise en oeuvre provisoire, dans le but de recueillir des informations et d'acquérir de l'expérience quant à son application dans la pratique. Il est de règle d'envoyer les observations éventuelles relatives au contenu de ce document au Bureau Central de la CEI.

Il sera proposé à un nouvel examen de ce rapport technique de type 2 trois ans au plus tard après sa publication, avec la faculté d'en prolonger la validité pendant trois autres années, de le transformer en Norme internationale ou de l'annuler.

Cette troisième édition annule et remplace la seconde édition de la CEI 479-1 parue en 1984.

Le présent rapport technique a le statut d'une publication fondamentale de sécurité conformément au Guide 104 de la CEI.

Les annexes A, B, C et D font partie intégrante de ce rapport technique.

L'annexe E est donnée uniquement à titre d'information.

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

Committee drafts	Reports on voting
64(CO)211 64(CO)234	64(CO)235 64(CO)241

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

This document is issued in the type 2 technical report series of publications (according to G.4.2.2 of part 1 of the IEC/ISO Directives) as a "prospective standard for provisional application" in the field of electrical installations in buildings (and the effects of current on human beings and livestock) because there is an urgent requirement for guidance on how standards in this field should be used to meet an identified need.

This document is not to be regarded as an "International Standard". It is proposed for provisional application so that information and experience of its use in practice may be gathered. Comments on the content of this document should be sent to the IEC Central Office.

A review of this type 2 technical report will be carried out not later than three years after its publication, with the options of either extension for a further three years or conversion to an International Standard or withdrawal.

This third edition cancels and replaces the second edition of IEC 479-1 published in 1984.

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

Annexes A, B, C and D form an integral part of this technical report.

Annex E is for information only.

INTRODUCTION

Le présent rapport technique est destiné à fournir les informations fondamentales sur les effets des courants électriques sur l'homme et les animaux domestiques, servant de guide pour l'établissement des prescriptions de sécurité électrique.

Afin d'éviter des erreurs fondamentales dans l'interprétation de ce rapport, il doit être souligné que les valeurs données sont essentiellement basées sur des expériences effectuées sur des animaux ainsi que sur les informations résultant d'observations cliniques. Seules quelques expériences avec des courants de choc de courte durée ont été effectuées sur l'homme.

Selon les connaissances actuelles, provenant essentiellement des expériences sur des animaux, les valeurs sont dans le sens de la sécurité de sorte que le rapport s'applique aux personnes dans des conditions physiologiques normales, y compris les enfants, quels que soient leur âge et leur poids.

D'autres aspects doivent toutefois être pris en compte, tels que la probabilité de défauts, la probabilité de contact avec des parties actives ou avec des parties en défaut, le rapport entre la tension de contact et la tension de défaut, l'expérience acquise, les possibilités techniques et économiques. Ces paramètres doivent être soigneusement pris en considération en établissant les prescriptions de sécurité, par exemple les caractéristiques de fonctionnement des dispositifs de protection dans les installations électriques.

La forme de rapport a été retenue parce qu'elle rassemble les résultats obtenus jusqu'à présent et qui sont utilisés par le comité d'études 64 comme base d'établissement des prescriptions pour la protection contre les chocs électriques. Ces résultats sont considérés comme suffisamment importants pour justifier une publication de la CEI qui peut également servir de guide pour d'autres comités de la CEI et pour les pays ayant besoin de telles informations.

La première édition de la CEI 479, parue en 1974, était basée sur une longue recherche dans la littérature et sur l'évaluation des réponses reçues à un questionnaire. Cependant, depuis cette date, de nouvelles recherches expérimentales ont été effectuées. Leur étude et une analyse plus précise des publications antérieures ont permis de se faire une meilleure idée de l'action du courant électrique sur les organismes vivants, et en particulier sur l'homme et les animaux domestiques.

Cela est particulièrement vrai pour les limites de la fibrillation ventriculaire, qui constitue la cause essentielle de décès dus à l'électricité, et l'analyse de l'ensemble des travaux récents sur la physiologie cardiaque et sur le seuil de la fibrillation a permis une meilleure compréhension de l'influence des principaux paramètres physiques, en particulier du temps de passage du courant.

Des recherches récentes ont aussi été effectuées sur les autres paramètres physiques des accidents, en particulier la forme et la fréquence du courant et l'impédance du corps humain. C'est pourquoi il est apparu souhaitable d'entreprendre cette révision de la CEI 479 qui doit être considérée comme le développement et l'évolution logiques de la deuxième édition.

INTRODUCTION

This Technical Report is intended to provide basic guidance on the effects of shock currents on human beings and livestock, for use in the establishment of electrical safety requirements.

In order to avoid errors in the interpretation of this report it is to 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 report applies to persons under 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 report has been adopted, as it 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 also as a guide to other IEC committees and countries having need of such information.

The first edition of IEC 479 was issued in 1974 and was based on an extensive search in literature and on the evaluation of replies received to a questionnaire. However, since that date, new research work has been conducted on this subject. The study of this work and a more precise analysis of preceding publications have allowed a better understanding of the effects of electric current on living organisms and, in particular, on human beings and livestock.

This specifically applies to the limits of ventricular fibrillation which is the main cause of deaths by electric current, and the analysis of all 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.

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 revision of IEC 479 was therefore considered necessary and should be viewed as the logical development and evolution of the second edition.

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

Partie 1: Aspects généraux

1 Généralités

1.1 *Domaine d'application et objet*

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 articles 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 par 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 de passage du courant, de la fréquence du courant, de l'état d'humidité de la peau, de la surface de contact, de la pression exercée et de la température.

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

L'article 3 est principalement fondé sur les données concernant les effets du courant électrique à la fréquence de 50 Hz ou 60 Hz, qui est le courant le plus utilisé dans les installations électriques. Les valeurs indiquées sont toutefois considérées comme applicables dans la gamme de fréquences de 15 Hz à 100 Hz, les valeurs de seuil aux limites de cette gamme étant plus élevées que celles à la fréquence de 50 Hz ou 60 Hz. C'est principalement le risque de fibrillation ventriculaire du cœur qui est, dans cette gamme de fréquences, considéré comme la cause essentielle des accidents mortels.

Les accidents en courant continu sont beaucoup moins fréquents que l'on pourrait le croire en considérant le nombre d'applications du 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.

Les principales différences entre les effets du courant alternatif et ceux du courant continu sur le corps humain proviennent du fait que les excitations du courant (stimulation des nerfs et des muscles, provocation de la fibrillation auriculaire ou ventriculaire du cœur) sont liées aux variations d'intensité notamment lorsque le courant est établi ou interrompu.

EFFECTS OF CURRENT ON HUMAN BEINGS AND LIVESTOCK –

Part 1: General aspects

1 General

1.1 *Scope and object*

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 protection against electrical shock, the necessary criterion being the admissible limit of touch voltage (i.e. the product of the current through the body 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 these impedances depend on a number of factors and, in particular, on the current path, on the touch voltage, the duration of the current flow, the frequency, the degree of moisture of the skin, the surface area of contact, the pressure exerted and on the temperature.

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

Clause 3 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. It is considered principally the risk of ventricular fibrillation which is the main cause of fatal accidents in that range of frequencies.

Accidents with direct current are much less frequent than would be expected from the number of d.c. applications, and fatal 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 remains considerably higher than for alternating current.

The main differences between the effects of a.c. and d.c. on the human body result from the fact that excitatory actions of the current (stimulation of nerves and muscles, induction of cardiac atrial or ventricular fibrillation) are linked to the changes of the current magnitude especially when making and breaking the current. To produce the same excitatory

Pour produire une même excitation, les intensités constantes nécessaires en courant continu sont de deux à quatre fois supérieures à celles qui sont nécessaires en courant alternatif.

1.2 Référence normative

Le document normatif suivant contient des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour le présent Rapport technique. Au moment de la publication, l'édition indiquée était en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur le présent Rapport technique sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer l'édition la plus récente du document normatif indiqué ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 479-2: 1987, *Effets du courant passant par le corps humain – Deuxième partie: Aspects particuliers*

1.3 Définitions

Pour les besoins de ce Rapport technique, les définitions suivantes sont applicables.

1.3.1 Impédance électrique du corps humain

1.3.1.1 **Impédance interne du corps humain (Z_i):** Impédance entre deux électrodes en contact avec deux parties du corps humain en négligeant les impédances de la peau.

1.3.1.2 **Impédance de la peau (Z_p):** Impédance entre une électrode sur la peau et les tissus conducteurs sous-jacents.

1.3.1.3 **Impédance totale du corps humain (Z_T):** Somme vectorielle de l'impédance interne et des impédances de la peau (voir figure 1).

1.3.1.4 **résistance initiale du corps humain (R_o):** Résistance limitant la valeur de crête du courant au moment où la tension de contact est appliquée.

1.3.2 Effets du courant alternatif de fréquence comprise entre 15 Hz et 100 Hz

1.3.2.1 **seuil de perception:** Valeur du courant qui provoque une sensation pour une personne à travers laquelle ce courant passe.

1.3.2.2 **seuil de réaction:** Valeur minimale du courant qui provoque une contraction musculaire.

1.3.2.3 **seuil de non-lâcher:** Valeur maximale du courant à laquelle une personne tenant les électrodes peut lâcher les électrodes.

1.3.2.4 **seuil de fibrillation ventriculaire:** Valeur minimale du courant qui provoque la fibrillation ventriculaire.

1.3.2.5 **facteur de courant de coeur F :** Rapport de l'intensité du champ électrique (densité de courant) dans le coeur pour un trajet donné du courant au champ électrique (densité de courant) dans le coeur pour un courant de même intensité suivant le trajet de la main gauche aux deux pieds.

effects the magnitude of direct current flow of constant strength is two to four times greater than that of alternating current.

1.2 Normative reference

The following normative document contains provisions which, through reference in this text, constitutes provisions of this Technical Report. At the time of publication, the edition indicated was valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this Technical Report are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative document indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 479-2: 1987, *Effects of current passing through the human body – Part 2: Special aspects*

1.3 Definitions

For the purpose of this Technical Report the following definitions apply.

1.3.1 Electrical impedance of the human body

1.3.1.1 **Internal impedance of the human body (Z_i):** Impedance between two electrodes in contact with two parts of the human body, neglecting skin impedances.

1.3.1.2 **Impedance of the skin (Z_p):** Impedance between an electrode on the skin and the conductive tissues underneath.

1.3.1.3 **total impedance of the human body (Z_T):** Vectorial sum of the internal impedance and the impedance of the skin (see figure 1).

1.3.1.4 **Initial resistance of the human body (R_0):** Resistance limiting the peak value of the current at the moment when the touch voltage occurs.

1.3.2 Effects of sinusoidal alternating current in the range 15 Hz to 100 Hz

1.3.2.1 **threshold of perception:** Minimum value of current which causes any sensation for the person through which it is flowing.

1.3.2.2 **threshold of reaction:** Minimum value of current which causes involuntary muscular contraction.

1.3.2.3 **threshold of let-go:** Maximum value of current at which a person holding electrodes can let go of the electrodes.

1.3.2.4 **threshold of ventricular fibrillation:** Minimum value of current through the body which causes ventricular fibrillation.

1.3.2.5 **heart-current factor F :** Relates the electric field strength (current density) in the heart for a given current path to the electric field strength (current density) in the heart for a current of equal magnitude flowing from left hand to feet.

NOTE – Dans le coeur, la densité de courant est proportionnelle à l'intensité du champ électrique.

1.3.2.6 période vulnérable: Concerne une partie relativement petite du cycle cardiaque pendant laquelle les fibres du coeur sont dans un état non homogène d'excitabilité et la fibrillation ventriculaire se produit si elles sont excitées par un courant électrique d'intensité suffisante.

NOTE – La période vulnérable correspond à la première partie de l'onde T dans l'électrocardiogramme et représente environ 10 % du cycle cardiaque (voir figures 12 et 13).

1.3.3 Effets du courant continu

1.3.3.1 facteur d'équivalence entre courant continu et courant alternatif (k): Rapport du courant continu à la valeur efficace équivalente du courant alternatif présentant la même probabilité de provoquer la fibrillation ventriculaire.

NOTE – Par exemple, pour des durées de choc supérieures à la durée d'un cycle cardiaque et une probabilité de fibrillation ventriculaire de 50 %, le facteur d'équivalence est approximativement égal à:

$$k = \frac{I_{\text{c.c.-fibrillation}}}{I_{\text{c.a.-fibrillation (eff.)}}} = \frac{300 \text{ mA}}{80 \text{ mA}} = 3,75$$

1.3.3.2 courant longitudinal: Courant passant dans le sens de la longueur à travers le tronc du corps humain, par exemple entre main et pieds.

1.3.3.3 courant transversal: Courant passant dans le sens transversal à travers le tronc du corps humain, par exemple entre main et main.

1.3.3.4 courant montant: Courant continu à travers le corps humain pour lequel les pieds représentent le pôle positif.

1.3.3.5 courant descendant: Courant continu à travers le corps humain pour lequel les pieds représentent le pôle négatif.

2 Caractéristiques de l'impédance du corps humain

Cet article indique les valeurs d'impédance électrique du corps humain en fonction de la tension de contact, de la fréquence du courant, de l'état d'humidité de la peau, du trajet du courant et de la surface de la zone de contact.

Le schéma de la figure 1 représente les impédances de corps humain.

2.1 Impédance interne du corps humain (Z_i)

L'impédance interne du corps humain peut être considérée comme principalement résistive. Sa valeur dépend principalement du trajet du courant et, dans une moindre mesure, de la surface de contact.

NOTE – Les mesures montrent qu'une faible composante capacitive existe (traits interrompus de la figure 1).

La figure 2 indique les valeurs de l'impédance interne du corps humain, pour différents trajets, exprimées en pourcentage de la valeur pour le trajet main à pied.

NOTE – In the heart, the current density is proportional to the electric field strength.

1.3.2.6 vulnerable period: Covers a comparatively small part of the cardiac cycle during which the heart fibres are in an inhomogeneous state of excitability and ventricular fibrillation occurs if they are excited by an electric current of sufficient magnitude.

NOTE – The vulnerable period corresponds to the first part of the T-wave in the electrocardiogram which is approximately 10 % of the cardiac cycle (see figures 12 and 13).

1.3.3 Effects of direct current

1.3.3.1 d.c./a.c. equivalence factor (k): Ratio of direct current to its equivalent r.m.s. value of alternating current having the same probability of inducing ventricular fibrillation.

NOTE – As an example for shock durations longer than the period of one cardiac cycle and 50 % probability for ventricular fibrillation, the equivalence factor is approximately:

$$k = \frac{I_{\text{d.c.-fibrillation}}}{I_{\text{a.c.-fibrillation (r.m.s.)}}} = \frac{300 \text{ mA}}{80 \text{ mA}} = 3,75$$

1.3.3.2 longitudinal current: Current flowing lengthwise through the trunk of the human body such as from hand to feet.

1.3.3.3 transverse current: Current flowing crosswise through the trunk of the human body such as from hand to hand.

1.3.3.4 upward current: Direct current through the human body for which the feet represent the positive polarity.

1.3.3.5 downward current: Direct current through the human body for which the feet represent the negative polarity.

2 Electrical impedance of the human body

This clause indicates values for the electric impedance of the human body as a function of the touch voltage, the frequency, the degree of moisture of the skin, the current path, and the surface area of contact.

A schematic diagram for the impedance of the human body is shown in figure 1.

2.1 Internal impedance of the human body (Z_i)

The internal impedance of the human body can be considered as mostly resistive. Its value depends primarily on the current path and, to a lesser extent, on the surface area of the contact.

NOTE – Measurements indicate that a small capacitive component exists (dashed lines in figure 1).

Figure 2 shows the internal impedance of the human body for its different parts expressed as percentages of that related to the path hand to foot.

Pour les trajets de courant main à main ou main à pieds, les impédances sont essentiellement localisées dans les extrémités (bras et jambes). Si l'impédance du tronc du corps est négligée, un diagramme simplifié peut être représenté (voir figure 3).

NOTE – Afin de simplifier le diagramme, il est supposé que les impédances des bras et des jambes ont la même valeur.

2.2 Impédance de la peau (Z_p)

L'impédance de la peau peut être considérée comme un ensemble de résistances et de capacités. Sa structure est constituée par une couche semi-conductrice et de petits éléments conducteurs (pores). L'impédance de la peau décroît lorsque le courant augmente. Des marques de courant sont parfois observées (voir 2.5.4).

La valeur d'impédance de la peau dépend de la tension, de la fréquence, de la durée de passage du courant, de la surface de contact, de la pression de contact, de l'état d'humidité de la peau, de la température et du type de peau.

Pour des tensions de contact jusqu'à 50 V environ en courant alternatif, la valeur de l'impédance de la peau varie largement, même pour une personne, en fonction de la surface de contact, de la température, de la transpiration, d'une respiration rapide, etc.

Pour des tensions de contact croissantes (supérieures à 50 V environ), l'impédance de la peau décroît rapidement et devient négligeable lorsque la peau est perforée.

En ce qui concerne l'influence de la fréquence, l'impédance de la peau décroît quand la fréquence augmente.

2.3 Impédance totale du corps humain (Z_T)

L'impédance totale du corps humain est constituée de composants résistifs et capacitifs.

Pour des tensions de contact jusqu'à 50 V environ, en raison des variations importantes de l'impédance de la peau Z_p , l'impédance totale du corps humain Z_T varie dans de larges limites.

Pour des tensions de contact plus élevées, l'impédance totale dépend de moins en moins de l'impédance de la peau et sa valeur s'approche, après perforation de la peau, de celle de l'impédance interne Z_i .

En ce qui concerne l'influence de la fréquence, compte tenu de la variation de l'impédance de la peau en fonction de la fréquence, l'impédance totale du corps humain est plus élevée en courant continu et décroît quand la fréquence augmente.

2.4 Résistance initiale du corps humain (R_0)

Au moment où la tension de contact est appliquée, les capacités du corps humain ne sont pas chargées, c'est pourquoi les impédances de la peau Z_{p1} et Z_{p2} sont négligeables et la résistance initiale R_0 est approximativement égale à l'impédance interne du corps humain Z_i (voir figure 1). La résistance initiale R_0 dépend principalement du trajet du courant et, dans une moindre mesure, de la surface de contact.

La résistance initiale R_0 limite les pointes de courant d'impulsions brèves (par exemple les chocs dus à des clôtures électriques).

For current paths hand to hand or hand to feet, the impedances are mainly located in the extremities (arms and legs). If the impedance of the trunk of the body is neglected, a simplified circuit diagram can be established which is shown in figure 3.

NOTE – In order to simplify the circuit diagram, it is assumed that the impedance of arms and legs have the same values.

2.2 Impedance of the skin (Z_p)

The impedance of the skin can be considered as a network of resistances and capacitances. Its structure is made up of a semi-insulating layer and small conductive elements (pores). The skin impedance falls when the current is increased. Sometimes current marks are observed (see 2.5.4).

The value of the impedance of the skin depends on the voltage, frequency, duration of the current flow, surface area of contact, pressure of contact, the degree of moisture of the skin, temperature and type of the skin.

For touch voltages up to approximately a.c. 50 V, the value of the impedance of the skin varies widely with surface area of contact, temperature, perspiration, rapid respiration, etc., even for one person.

For higher touch voltages over approximately 50 V, the skin impedance decreases considerably and becomes negligible when the skin breaks down.

As regards the influence of frequency, the impedance of the skin decreases when the frequency increases.

2.3 Total impedance of the human body (Z_T)

The total impedance of the human body consists of resistive and capacitive components.

For touch voltages up to approximately 50 V, on account of considerable variations in the impedance of the skin Z_p , the total impedance of the human body Z_T similarly varies widely.

For higher touch voltages, the total impedance depends less and less on the impedance of the skin and its value approaches that of the internal impedance Z_i .

As regards the influence of frequency, taking into account the frequency dependence of the skin, the total impedance of the human body is higher for direct current and decreases when the frequency increases.

2.4 Initial resistance of the human body (R_0)

At the moment when the touch voltage occurs, capacitances in the human body are not charged. Therefore skin impedances Z_{p1} and Z_{p2} are negligible and the initial resistance R_0 is approximately equal to the internal impedance of the human body Z_i (see figure 1). The initial resistance R_0 depends mainly on the current path and to a lesser extent on the surface area of contact.

The initial resistance R_0 limits the current peaks of short impulses (e.g. shocks from electric fence controllers).

2.5 Valeurs de l'impédance totale du corps humain (Z_T)

2.5.1 Courant alternatif sinusoïdal 50/60 Hz

Les valeurs de l'impédance totale du corps humain indiquées dans le tableau 1 sont valables pour des êtres vivants, un trajet main à main avec des surfaces de contact importantes (5 000 mm² à 10 000 mm²) dans des conditions sèches.

Pour des tensions de contact jusqu'à 50 V, les valeurs mesurées avec des surfaces de contact mouillées par de l'eau fraîche sont plus faibles de 10 % à 25 % par rapport aux conditions sèches et des solutions conductrices diminuent considérablement l'impédance, jusqu'à la moitié des valeurs mesurées dans des conditions sèches.

Pour des tensions supérieures à environ 150 V, l'impédance totale du corps humain dépend peu de l'humidité et de la surface de contact.

Les mesures ont été effectuées sur des adultes des deux sexes. Elles sont décrites en annexe A. La plage des valeurs de l'impédance totale du corps humain pour des tensions de contact jusqu'à 5 000 V est représentée sur la figure 4, et pour des tensions de contact jusqu'à 220 V sur la figure 5 (ligne pointillée).

Les valeurs du tableau 1 et des figures 4 et 5 représentent actuellement la meilleure connaissance de l'impédance totale du corps humain pour les adultes vivants. L'état actuel des connaissances laisse penser que l'impédance totale du corps des enfants serait du même ordre de grandeur mais un peu plus élevée.

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

Tension de contact V	Valeurs de l'impédance totale (Ω) du corps humain qui ne sont pas dépassées par		
	5 % de la population	50 % de la population	95 % de la population
25	1 750	3 250	6 100
50	1 450	2 625	4 375
75	1 250	2 200	3 500
100	1 200	1 875	3 200
125	1 125	1 625	2 875
220	1 000	1 350	2 125
700	750	1 100	1 550
1 000	700	1 050	1 500
Valeur asymptotique	650	750	850

NOTE – Quelques mesures indiquent que l'impédance totale du corps humain pour un trajet de courant main à pied est un peu plus faible que pour un trajet main à main (10 % à 30 %).

2.5.2 Courant alternatif sinusoïdal jusqu'à des fréquences de 20 kHz

Les valeurs des impédances totales du corps humain à 50/60 Hz diminuent pour des fréquences plus élevées en raison de l'influence des capacités de la peau et sont proches de l'impédance interne du corps humain Z_i pour des fréquences supérieures à 5 kHz.

2.5 Values of the total impedance of the human body (Z_T)

2.5.1 Sinusoidal alternating current 50/60 Hz

The values of the total body impedance given in table 1 are valid for living human beings and a current path hand to hand for large surface areas of contact (5 000 mm² to 10 000 mm²) and dry conditions.

At voltages up to 50 V, values measured with contact areas wetted with fresh water, are 10 % to 25 % lower than in dry conditions and conductive solutions decrease the impedance considerably down to half of values measured in dry conditions.

At voltages higher than approximately 150 V, the total body impedance depends less and less on humidity and on the surface area of contact.

The measurements have been made on adults, males and females. They are described in annex A. The range of the total body impedance for touch voltages up to 5 000 V is presented in figure 4 and for touch voltages up to and including 220 V in figure 5 (dashed line).

The values of table 1 and figures 4 and 5 represent the best knowledge on the total body impedance for living adults. On the knowledge at present available the total body impedance for children is expected to be somewhat higher but of the same order of magnitude.

**Table 1 – Total body impedance Z_T for a current path hand to hand
a.c. 50/60 Hz, for large surface areas of contact**

Touch voltage V	Values for the total body impedance (Ω) that are not exceeded for a percentage (percentile rank) of		
	5 % of the population	50 % of the population	95 % of the population
25	1 750	3 250	6 100
50	1 450	2 625	4 375
75	1 250	2 200	3 500
100	1 200	1 875	3 200
125	1 125	1 625	2 875
220	1 000	1 350	2 125
700	750	1 100	1 550
1 000	700	1 050	1 500
Asymptotic value	650	750	850

NOTE – Some measurements indicate that the total body impedance for the current path hand to foot is somewhat lower than for a current path hand to hand (10 % to 30 %).

2.5.2 Sinusoidal alternating current with frequencies up to 20 kHz

The values of the total body impedances for 50/60 Hz decrease at higher frequencies due to the influence of the capacitances of the skin and approach for frequencies above 5 kHz the internal body impedance Z_i .

Les mesures qui ont été menées jusqu'à des fréquences de 20 kHz avec des tensions de contact de 10 V et de 25 V sont décrites dans l'annexe B.

La figure 6 montre que l'impédance totale du corps humain Z_T , pour un trajet de courant main à main et d'importantes surfaces de contact pour une tension de contact de 10 V, est dépendante de la fréquence variant de 25 Hz à 20 kHz.

La figure 7 montre que l'impédance totale du corps humain Z_T , pour un trajet de courant main à main et d'importantes surfaces de contact pour une tension de contact de 25 V, est dépendante de la fréquence variant de 25 Hz à 2 kHz. A partir des résultats, des courbes ont été déduites donnant la fonction de l'impédance totale du corps humain Z_T d'une population avec un pourcentage de 50 % pour des tensions de contact variant entre 10 V et 1 000 V et une plage de fréquence de 50 Hz à 2 kHz pour un trajet de courant main à main ou main à pied. Les courbes sont représentées à la figure 8.

2.5.3 Courant continu

La résistance totale du corps humain R_T en courant continu est plus élevée que l'impédance totale du corps humain Z_T en courant alternatif pour des tensions de contact jusqu'à environ 150 V en raison du pouvoir bloquant des capacités de la peau humaine.

Les mesures effectuées en courant continu pour d'importantes surfaces de contact sont décrites en annexe C.

Les valeurs de résistance totale du corps humain R_T en courant continu, déterminées selon la méthode décrite en annexe C, sont présentées dans le tableau 2 (voir figure 5, ligne continue).

2.5.4 Effets du courant sur la peau

La figure 9 montre la dépendance des altérations de la peau humaine vis-à-vis de la densité de courant et de la durée du passage de courant.

Les altérations de la peau humaine dépendent de la densité de courant i_s (mA/mm²) et de la durée de passage du courant.

A titre de guide, les valeurs suivantes peuvent être données:

- en dessous de 10 mA/mm², en général, aucune altération de la peau n'est observée. Pour des durées plus importantes de passage de courant (plusieurs secondes), la peau située sous l'électrode peut devenir blanc-gris avec une surface rugueuse (zone 0);
- entre 10 mA/mm² et 20 mA/mm², une rougeur de la peau apparaît avec un gonflement en forme de vague de couleur blanchâtre le long des bords de l'électrode (zone 1);
- entre 20 mA/mm² et 50 mA/mm², une couleur brunâtre se développe sous l'électrode placée dans la peau. Pour des durées plus importantes de passage de courant (plusieurs dizaines de secondes), des marques de courant nettes (boursouffures) sont observées autour de l'électrode (zone 2);
- au-dessus de 50 mA/mm², une carbonisation de la peau peut se produire (zone 3).

The measurements which have been carried out with frequencies up to 20 kHz at touch voltages of 10 V and 25 V are described in annex B.

Figure 6 shows the frequency dependence of the total body impedance Z_T for a current path hand to hand and large contact areas for a touch voltage of 10 V and frequencies from 25 Hz to 20 kHz.

Figure 7 shows the frequency dependence of the total body impedance Z_T for a current path hand to hand and large contact areas for a touch voltage of 25 V and frequencies from 25 Hz to 2 kHz. From the results, the curves have been derived giving the 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. The curves are shown in figure 8.

2.5.3 Direct current

The total body resistance R_T for direct current is higher than the total body impedance Z_T for alternating current for touch voltages up to approximately 150 V due to the blocking effect of the capacitances of the human skin.

The measurements which have been carried out with direct current for large surface areas of contact are described in annex C.

The values for the total body resistance R_T for direct current determined in the way described in annex C are presented in table 2 (see figure 5, continuous line).

2.5.4 Effects of current on the skin

Figure 9 shows the dependence of the alterations of the human skin on current density and duration of current flow.

Alterations of the human skin depend on current density i_s (mA/mm²) and on duration of current flow.

As a guideline the following values can be given:

- below 10 mA/mm², in general no alterations of the skin are observed. For longer durations of current flow (several seconds) the skin below the electrode may be of greyish-white colour with a coarse surface (zone 0);
- between 10 mA/mm² and 20 mA/mm², a reddening of the skin occurs with a wave like swelling of whitish colour along the edges of the electrode (zone 1);
- between 20 mA/mm² and 50 mA/mm², a brownish colour develops below the electrode sinking into the skin. For longer durations of current flow (several tens of seconds) full current marks (blisters) are to be observed around the electrode (zone 2);
- above 50 mA/mm², carbonization of the skin can occur (zone 3).

Pour les zones de contact importantes, les densités de courant peuvent être suffisamment faibles de telle manière qu'aucune altération de la peau ne se produise bien que les intensités soient mortelles.

Tableau 2 – Résistance totale du corps humain R_T pour un trajet de courant main à main en courant continu pour d'importantes surfaces de contact

Tension de contact V	Valeurs de l'impédance totale R_T (Ω) du corps humain qui ne sont pas dépassées par		
	5 % de la population	50 % de la population	95 % de la population
25	2 200	3 875	8 800
50	1 750	2 990	5 300
75	1 510	2 470	4 000
100	1 340	2 070	3 400
125	1 230	1 750	3 000
220	1 000	1 350	2 125
700	750	1 100	1 550
1 000	700	1 050	1 500
Valeurs asymptotiques	650	750	850

NOTE – Des mesures indiquent que la résistance totale du corps humain pour un trajet de courant main à pied est un peu plus faible que pour un trajet main à main (10 % à 30 %).

2.6 Valeur de la résistance initiale du corps humain (R_0)

La valeur de la résistance initiale du corps humain R_0 , pour un trajet de courant main à main ou main à pied et pour d'importantes surfaces de contact, peut être prise égale à 500 Ω pour un pourcentage de 5 % en courant alternatif 50/60 Hz et en courant continu.

NOTE – La valeur de 500 Ω pour la résistance initiale R_0 est un peu plus basse que la valeur asymptotique de 650 Ω de l'impédance totale du corps humain Z_T en courant alternatif 50/60 Hz et la résistance totale du corps humain R_T en courant continu pour un pourcentage de 5 %, parce qu'au moment du contact, les capacités de la peau et la capacité interne du corps sont déchargées.

2.7 Sujétion des impédances du corps à la surface de contact en courant alternatif 50/60 Hz et en courant continu

Les valeurs de l'impédance interne du corps humain Z_i et de la résistance initiale du corps humain R_0 dépendent peu des surfaces de contact.

Cependant, lorsque la surface de contact est très petite, de l'ordre de quelques millimètres carrés, les valeurs croissent.

Les valeurs de l'impédance totale du corps humain Z_T dépendent de la surface de contact tant que la peau n'a pas claqué (pour des tensions de contact jusqu'à 50 V environ) ou a partiellement claqué (pour des tensions de contact supérieures à 50 V).

La sujétion de l'impédance totale du corps Z_T pour un trajet de courant main à main et une surface de contact (de 1 mm² à 8 000 mm² environ) pour une plage de tension de 25 V à 200 V, en courant alternatif à 50 Hz est montrée en figure 10. Pour des tensions de contact inférieures à 100 V et de petites surfaces de contact, des variations de mesure peuvent aisément être de l'ordre de ± 50 % par rapport à la moyenne, fonction de la température, de la pression, de l'endroit de la paume de la main, etc. Même une respiration rapide modifie l'impédance.

At large contact areas, current densities may be low enough not to cause any alterations of the skin in spite of fatal current magnitudes.

Table 2 – Total body resistance R_T for a current path hand to hand, d.c. for large surface areas of contact

Touch voltage V	Values for the total body resistance R_T (Ω) that are not exceeded for a percentage (percentile rank) of:		
	5 % of the population	50 % of the population	95 % of the population
25	2 200	3 875	8 800
50	1 750	2 990	5 300
75	1 510	2 470	4 000
100	1 340	2 070	3 400
125	1 230	1 750	3 000
220	1 000	1 350	2 125
700	750	1 100	1 550
1 000	700	1 050	1 500
Asymptotic values	650	750	850

NOTE – Some measurements indicate that the total body resistance for the current path hand to foot is somewhat lower than for a current path hand to hand (10 % to 30 %).

2.6 Value of the initial resistance of the human body (R_o)

The value of the initial resistance of the human body R_o for a current path hand to hand or hand to foot and large contact areas can be taken as equal to 500 Ω for a percentile rank of 5 % for a.c. 50/60 Hz and for d.c.

NOTE – The value of 500 Ω for initial resistance R_o is somewhat lower than the asymptotic value of 650 Ω for the total body impedance Z_T for a.c. 50/60 Hz and the total body resistance R_T for d.c. for a percentile rank of 5 % because at contact making the capacitances of the skin and the internal capacitance of the body are uncharged.

2.7 Dependence of body impedances on the surface area of contact for a.c. 50/60 Hz and for d.c.

The values of the internal body impedance Z_i and of the initial body resistance R_o depend only to a small extent on the surface areas of contact.

However, when the surface area of contact is very small, in the order of a few square millimetres, the values are increased.

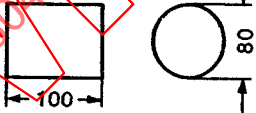
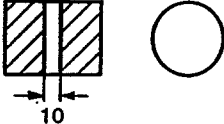
The values of the total body impedance Z_T depend on the surface area of contact when the skin has not broken down (for touch voltages up to approximately 50 V) or has only partially broken down (for touch voltages above 50 V).

The dependence of the total body impedance Z_T for a current path hand to hand on the surface area of contact (from 1 mm² up to approximately 8 000 mm²) for a touch voltage range of 25 V to 200 V, a.c. 50 Hz, is shown in figure 10. For touch voltages below 100 V and small contact areas, deviations in the measurements can easily reach an order of ± 50 % of the average, depending on temperature, pressure, location within the palm of the hand, etc. Even rapid breathing changes the impedance.

La sujétion de l'impédance totale du corps Z_T entre les bouts des doigts droit et gauche (surface de contact d'environ 250 mm²), pour une tension de contact en courant alternatif de 50/60 Hz et en courant continu pour une plage de tension de 25 V à 200 V, est montrée en figure 11.

La manière dont les mesures ont été réalisées est décrite en annexe D. Les mesures indiquent que l'impédance d'un doigt est de l'ordre de 1 000 Ω .

Tableau 3 – Electrodes utilisées pour les mesures de l'assujettissement de l'impédance du corps humain Z_T à la surface de contact

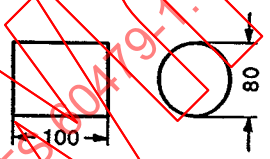
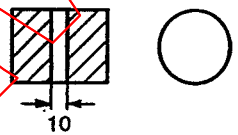
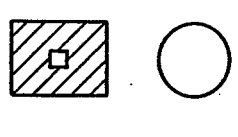
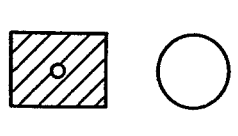
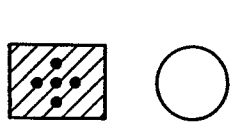
Essai de série	Forme de la zone de contact	Surface de contact réelle mm ²	Schémas mm
A	Cylindre en cuivre	8 000 environ	
B	Forme en anneau avec protection appropriée fournie par une bande isolante	1 000 environ	
C	Forme carrée avec protection appropriée fournie par une bande isolante	100	
D	Cylindre en matériau isolant avec une électrode circulaire	10	
E	Cylindre en matériau isolant avec électrodes circulaires*	1	

* Pour ce type, quatre électrodes circulaires complémentaires de 1 mm² ont été utilisées situées en croix à une distance de 30 mm de l'électrode centrale afin de mesurer les variations en ces points à l'intérieur de la paume de la main.

The dependence of the total body impedance Z_T between the tips of the right and left forefinger (surface area of contact approximately 250 mm²) on the touch voltage for a.c. 50/60 Hz and d.c. for a voltage range from 25 V to 200 V is shown in figure 11.

The way the measurements have been made is described in annex D. The measurements indicate that the impedance of one finger is in the order of 1 000 Ω .

Table 3 – Electrodes used for the measurement of the dependence of the impedance of the human body Z_T on the surface area of contact

Test series	Shape of contact area	Effective contact area mm ²	Drawings mm
A	Brass cylinder	8 000 approximately	
B	Form of a ring by appropriate covering with insulating tape	1 000 approximately	
C	Square by appropriate covering with insulated tape	100	
D	Cylinder of insulating material with circular electrode	10	
E	Cylinder of insulating material with circular electrode*	1	

* For this type, four further circular electrodes of 1 mm² area were used situated crosswise at a distance of 30 mm from the electrode at the centre of the surface of the cylinder in order to measure the deviations for these points inside the palm of the hand.

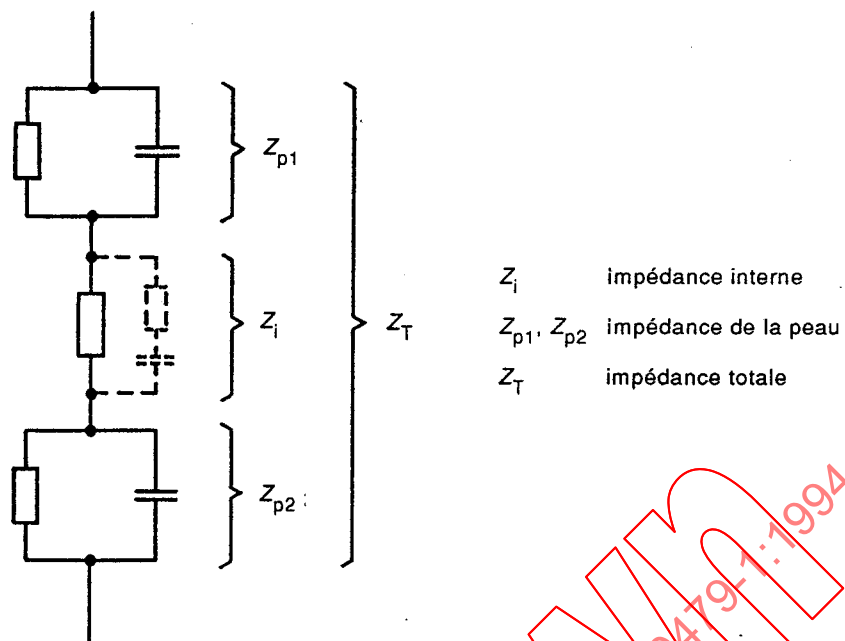
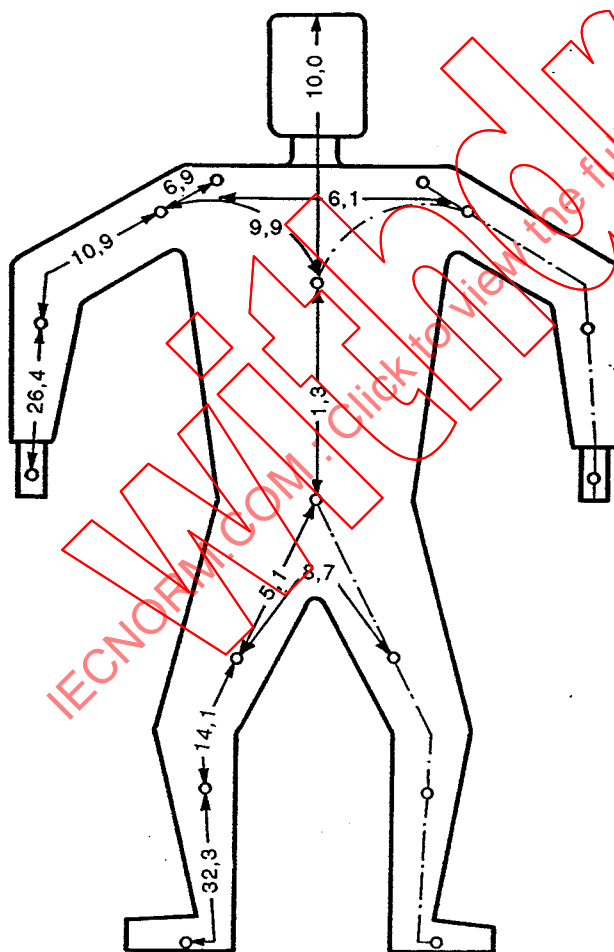


Figure 1 – Impédances du corps humain



Les chiffres indiquent le pourcentage de l'impédance interne du corps humain pour la partie du corps concernée par rapport à celle du trajet main à pied.

NOTE – Afin de calculer l'impédance totale du corps Z_T pour un trajet de courant donné, les impédances internes de toutes les parties du corps parcourues par le courant doivent être ajoutées ainsi que les impédances de la peau des surfaces de contact.

CEI 845/94

Figure 2 – Impédances internes du corps humain

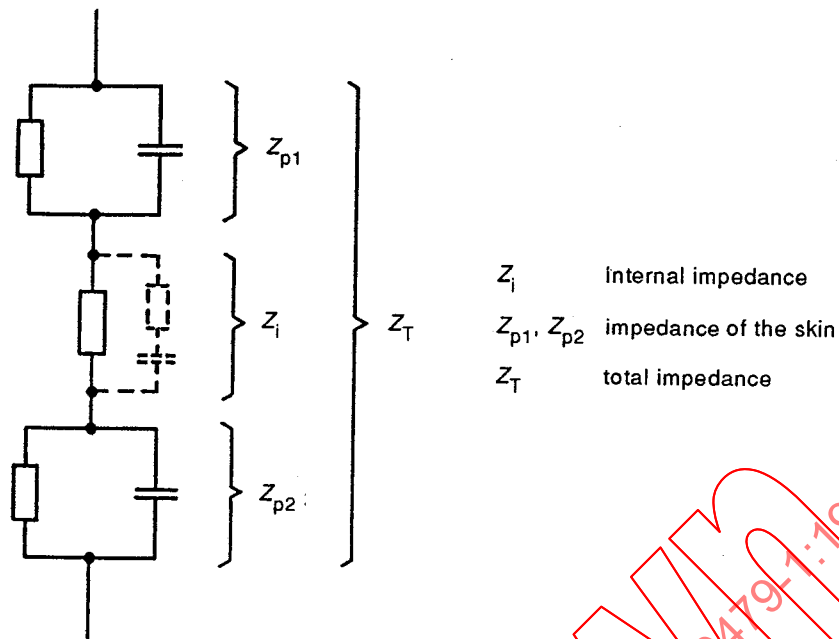
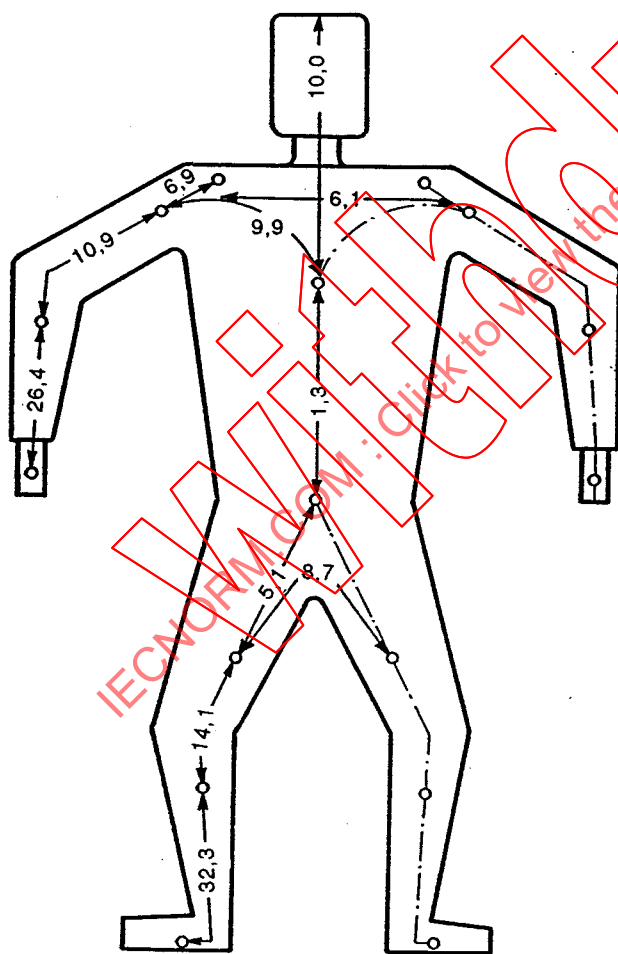


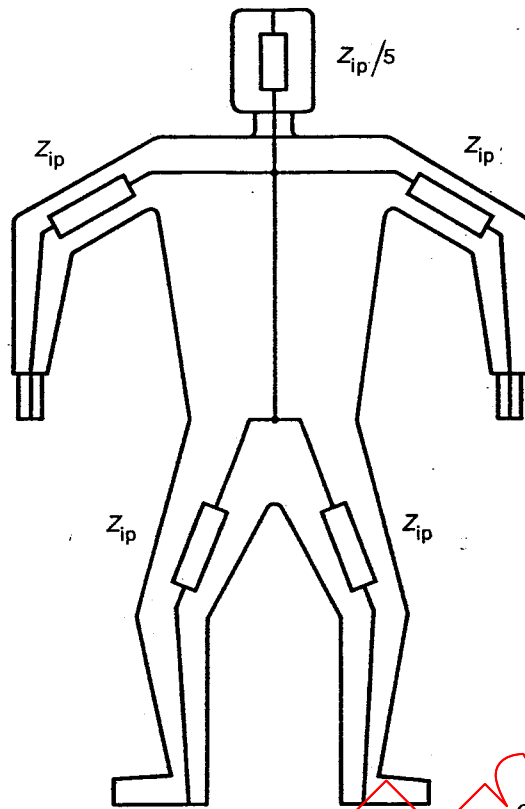
Figure 1 – Impedances of the human body



The numbers indicate the percentage of the internal impedance of the human body for the part of the body concerned, in relation to the path hand to foot.

NOTE – In order to calculate the total body impedance Z_T for a given current path, the internal impedances for all parts of the body of the current path have to be added as well as the impedances of the skin of the contact areas.

Figure 2 – Internal impedances of the human body

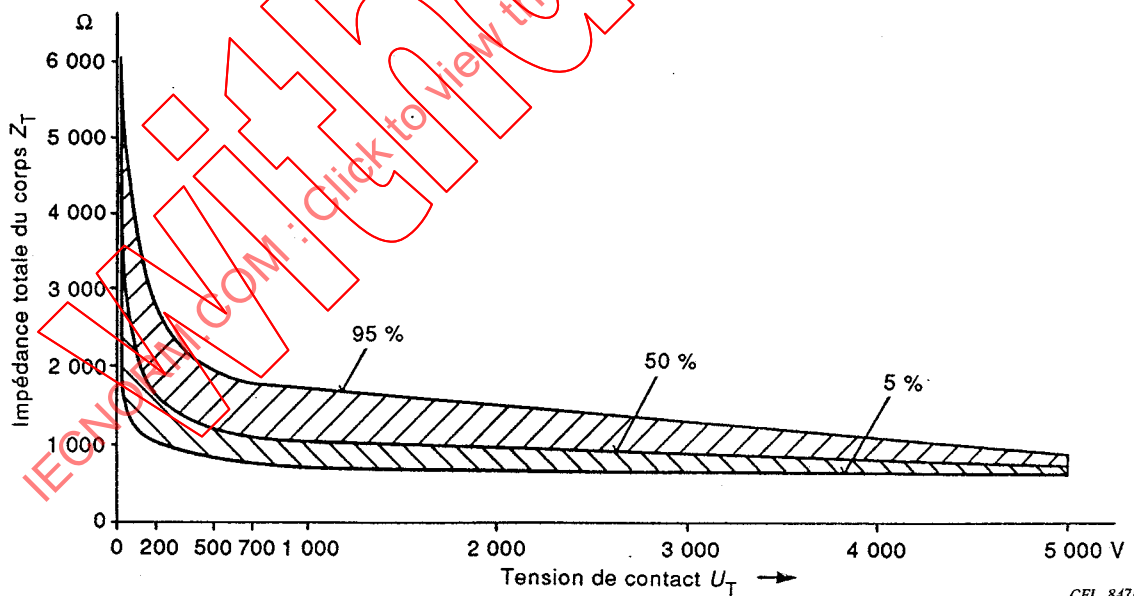


Z_{ip} impédance partielle interne d'une extrémité (bras ou jambe)

NOTE - L'impédance interne d'une main aux deux pieds est d'environ 75 %, l'impédance des deux mains au deux pieds de 50 % et l'impédance des deux mains au tronc du corps 25 % de l'impédance main à main ou main à pied.

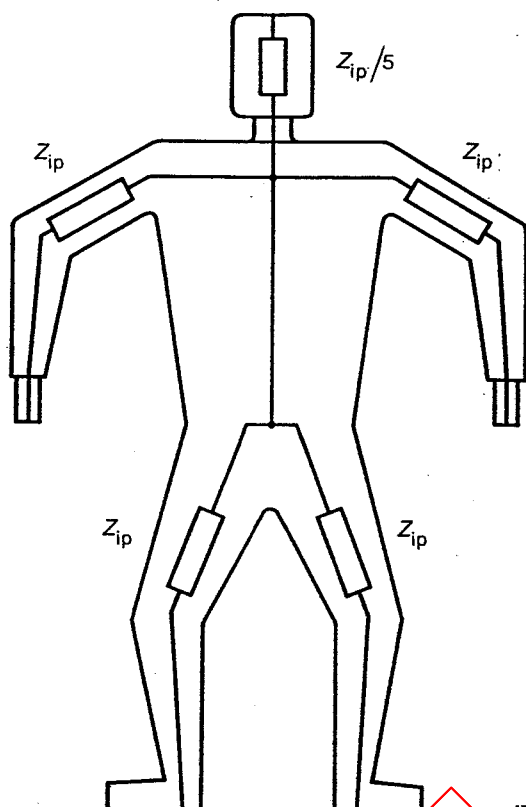
CEI 846/94

Figure 3 - Schéma simplifié des impédances internes du corps humain



CEI 847/94

Figure 4 - Valeurs statistiques des impédances totales du corps valables pour des sujets humains vivants pour un trajet courant main à main ou main à pied pour des tensions de contact jusqu'à 5 000 V en courant alternatif 50/60 Hz

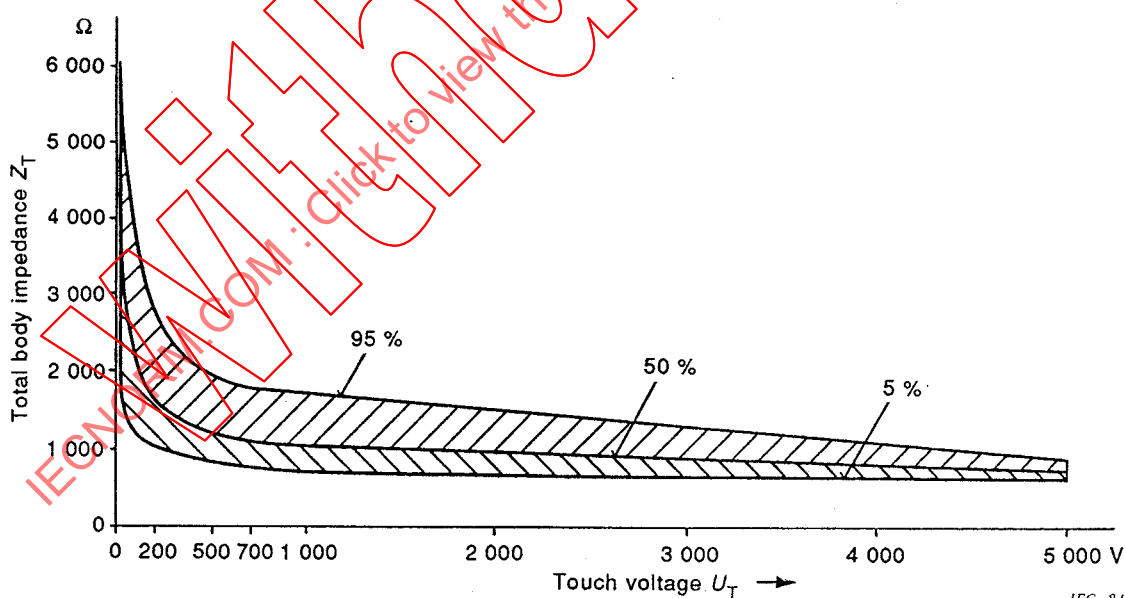


Z_{ip} internal partial impedance of one extremity (arm or leg)

NOTE – The internal impedance from one hand to both feet is approximately 75 %, the impedance from both hands to both feet 50 % and the impedance from both hands to the trunk of the body 25 % of the impedance hand to hand or hand to foot.

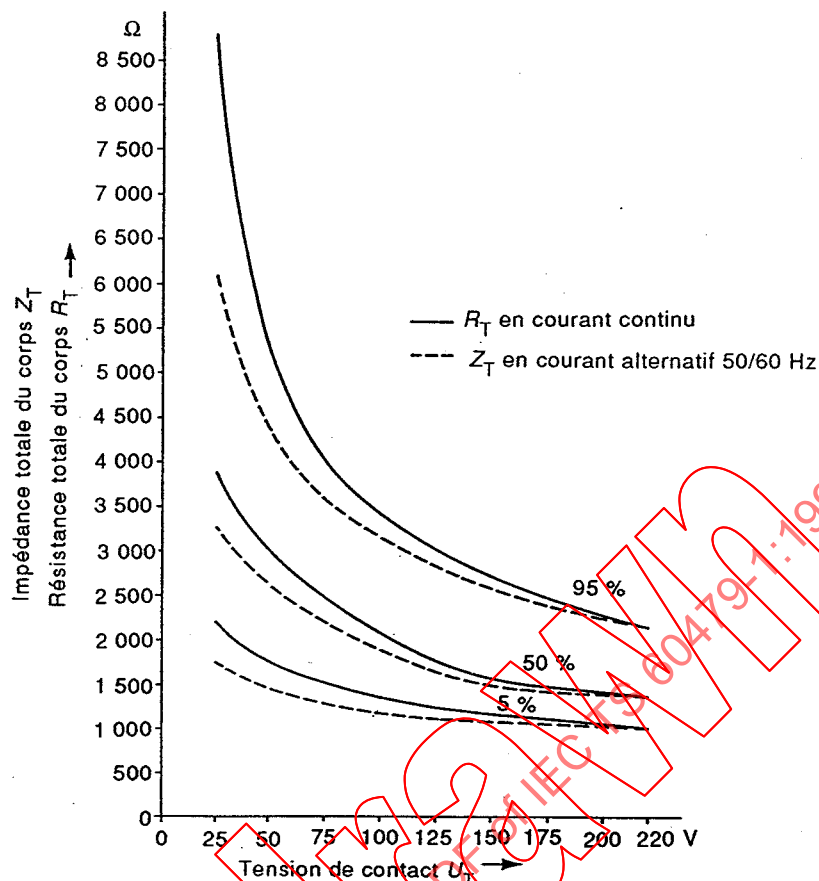
IEC 846/94

Figure 3 – Simplified schematic diagram for the Internal Impedances of the human body



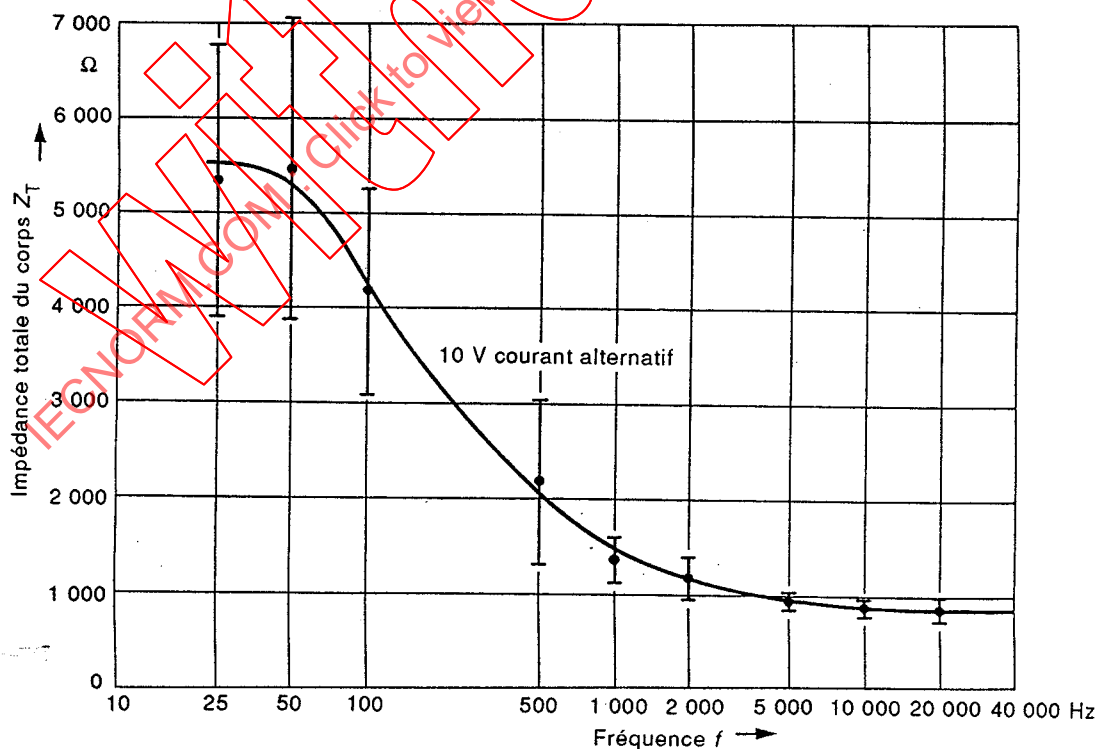
IEC 847/94

Figure 4 – Statistical values of total body impedances valid for living human beings for the current path hand to hand or hand to foot, for touch voltages up to 5 000 V for a.c. 50/60 Hz



CEI 848/94

Figure 5 – Valeurs statistiques des impédances totales du corps pour des sujets humains vivants pour un trajet de courant main à main ou main à pied, pour des tensions de contact jusqu'à 220 V en courant alternatif 50/60 Hz et en courant continu



CEI 849/94

● Valeurs moyennes et écarts

Figure 6 – Valeurs de l'impédance totale Z_T mesurée sur 10 sujets humains vivants, avec un trajet de courant main à main et d'importantes zones de contact pour une tension de contact de 10 V et des fréquences de 25 Hz à 20 kHz

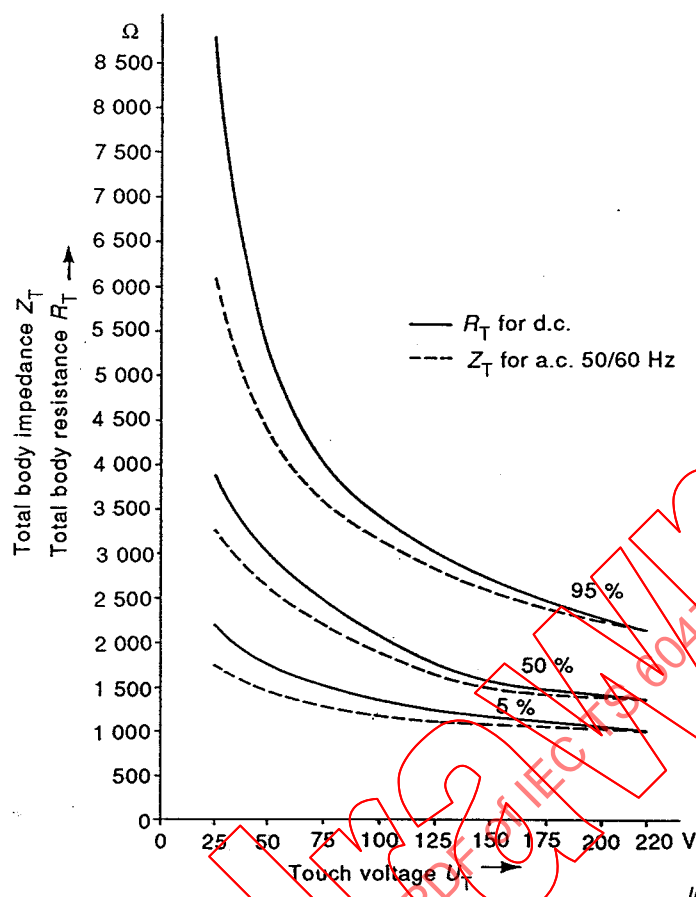
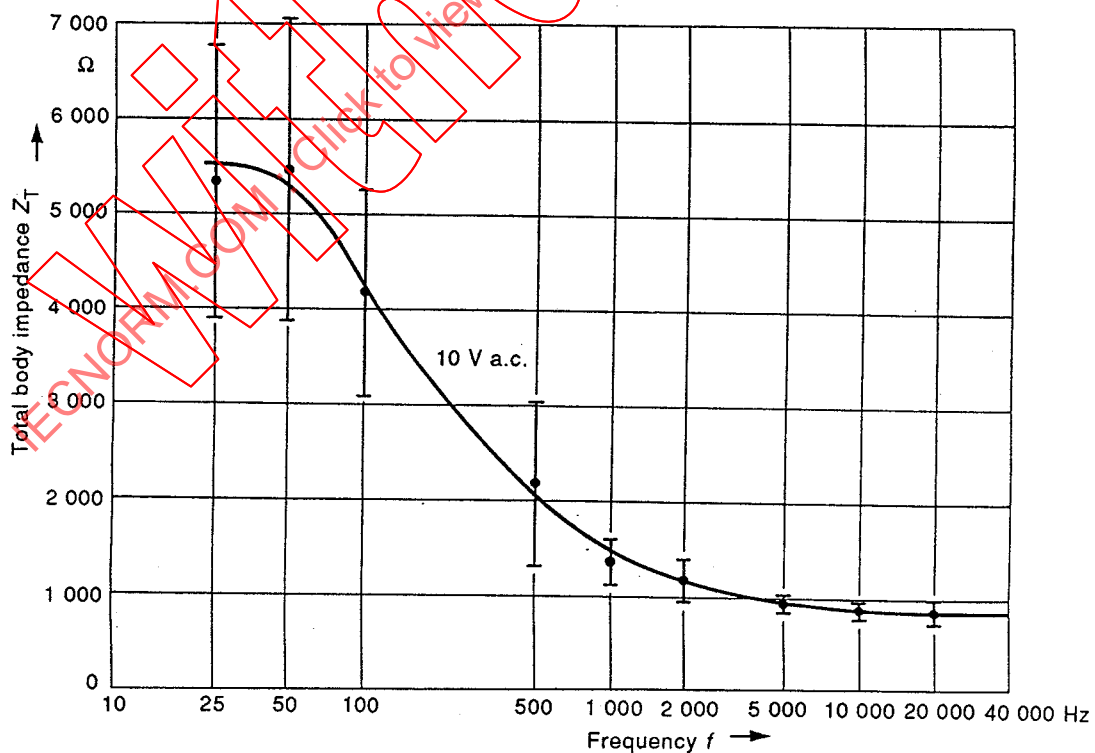


Figure 5 – Statistical values of total body impedances valid for living human beings for the current path hand to hand or hand to foot, for touch voltages up to 220 V, for a.c. 50/60 Hz and d.c.



• Average values and standard deviations

Figure 6 – Values of total body impedance Z_T measured on 10 living human beings with a current path hand to hand and large contact areas for a touch voltage of 10 V and frequencies from 25 Hz to 20 kHz

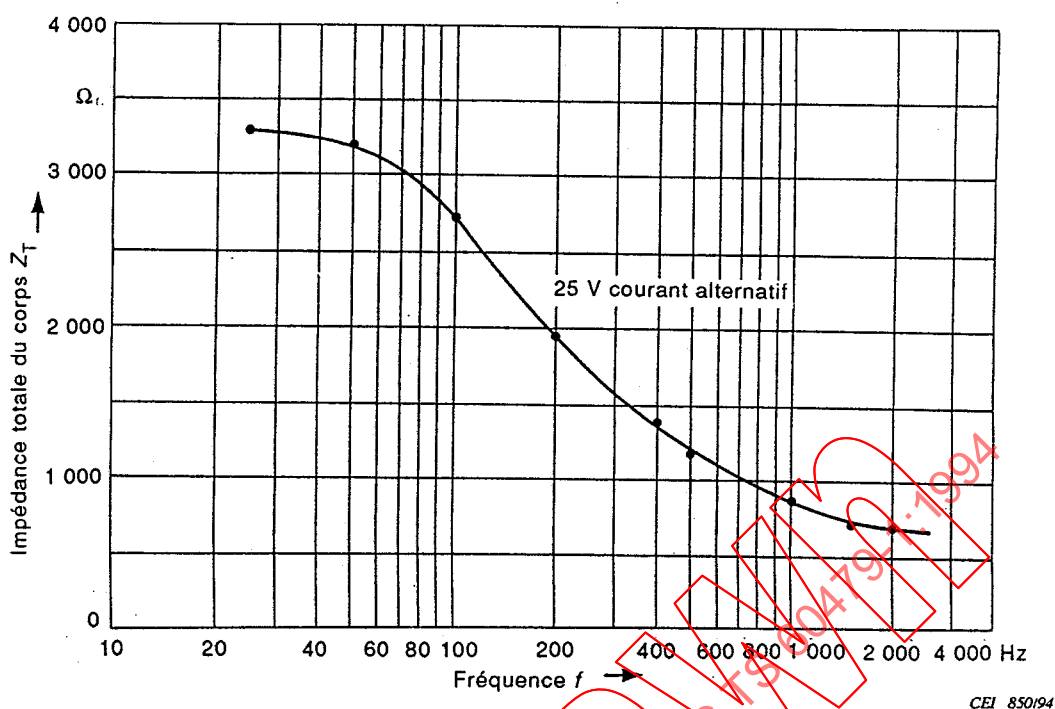


Figure 7 – Valeurs de l'impédance totale du corps Z_T mesurée sur un sujet humain vivant avec un trajet de courant main à main et d'importantes zones de contact pour une tension de contact de 25 V et des fréquences de 25 Hz à 2 kHz

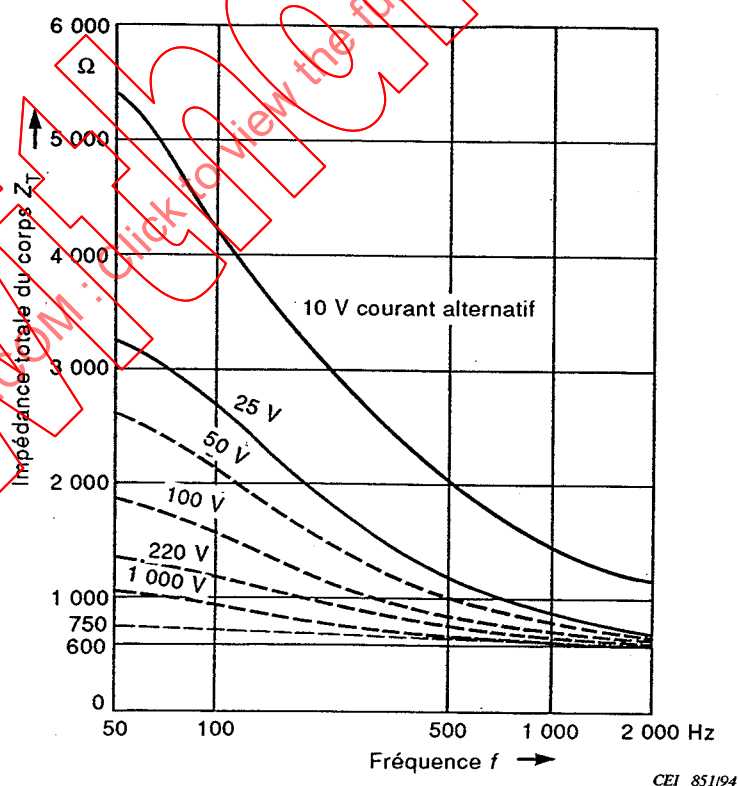


Figure 8 – Assujettissement en fréquence de l'impédance totale du corps humain Z_T d'une population de 50 % pour des tensions de contact de 10 V à 1000 V et une plage de fréquences de 50 Hz à 2 kHz avec un trajet de courant main à main ou main à pied

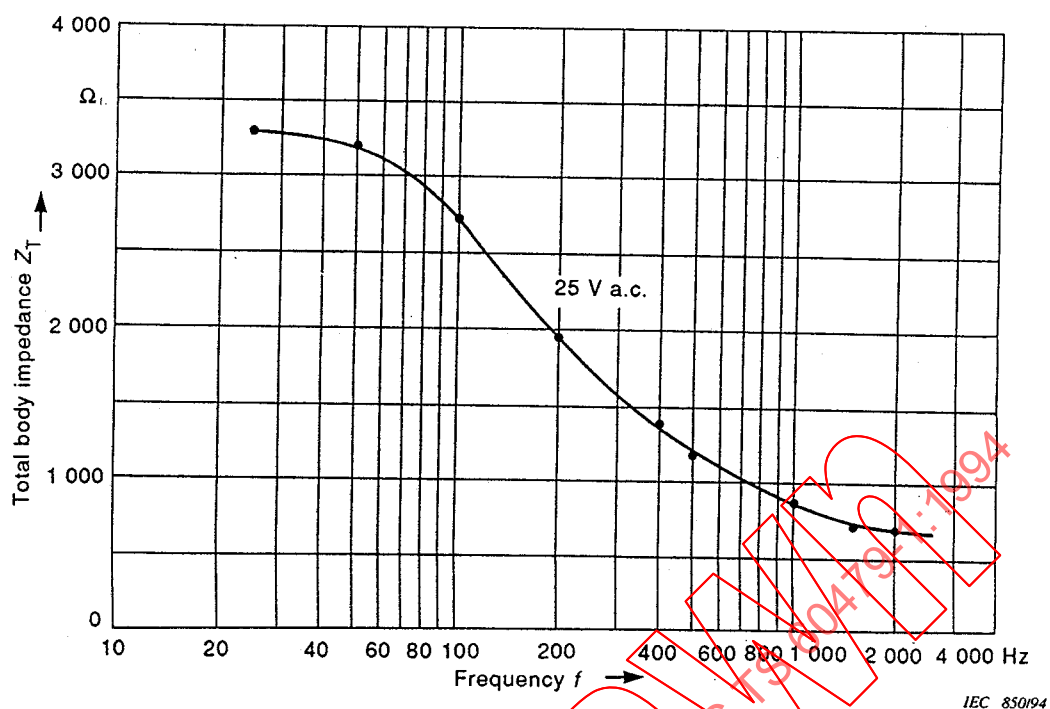


Figure 7 – Values of total body impedance Z_T measured on one living human being with a current path hand to hand and large contact areas for a touch voltage of 25 V and frequencies from 25 Hz to 2 kHz

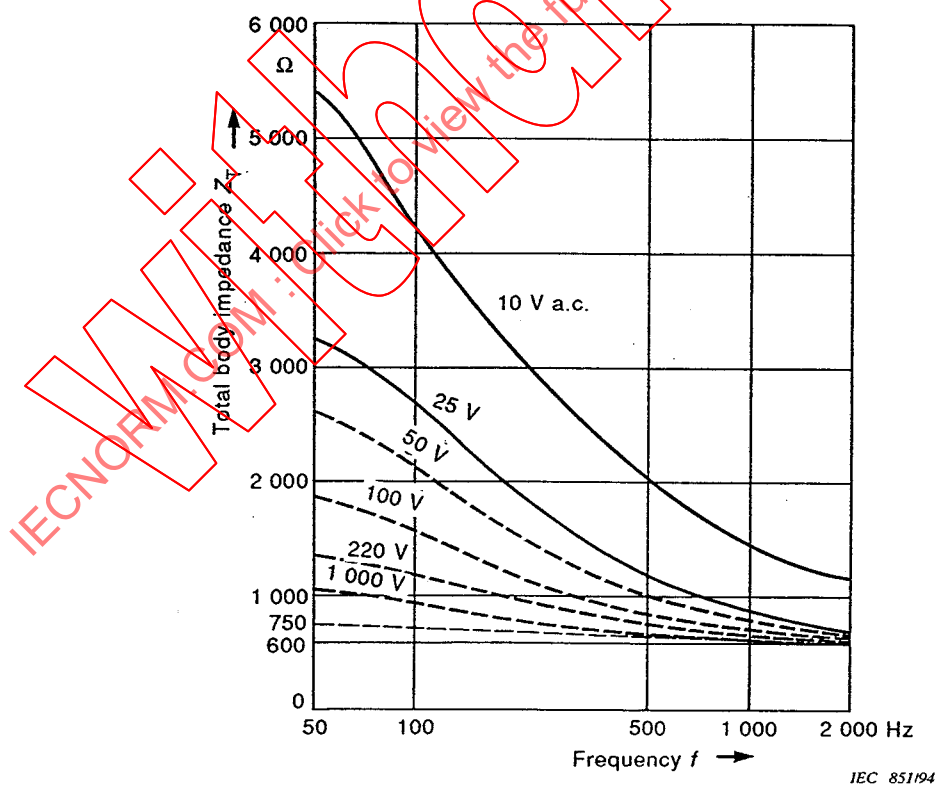


Figure 8 – Frequency dependence of the total body impedance Z_T of a population for a percentile rank of 50 % for touch voltages from 10 V to 1000 V and a frequency range from 50 Hz to 2 kHz for a current path hand to hand or hand to foot

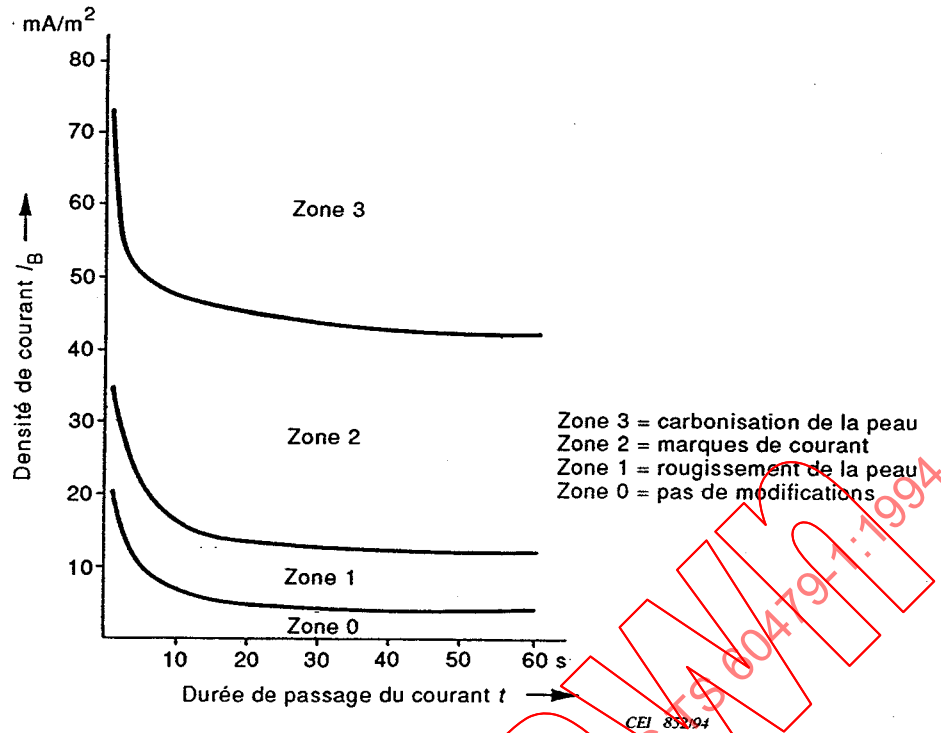


Figure 9 – Assujettissement des modifications de la peau humaine à la densité du courant et à la durée du passage du courant
(Pour une description détaillée des zones, voir 2.5.4)

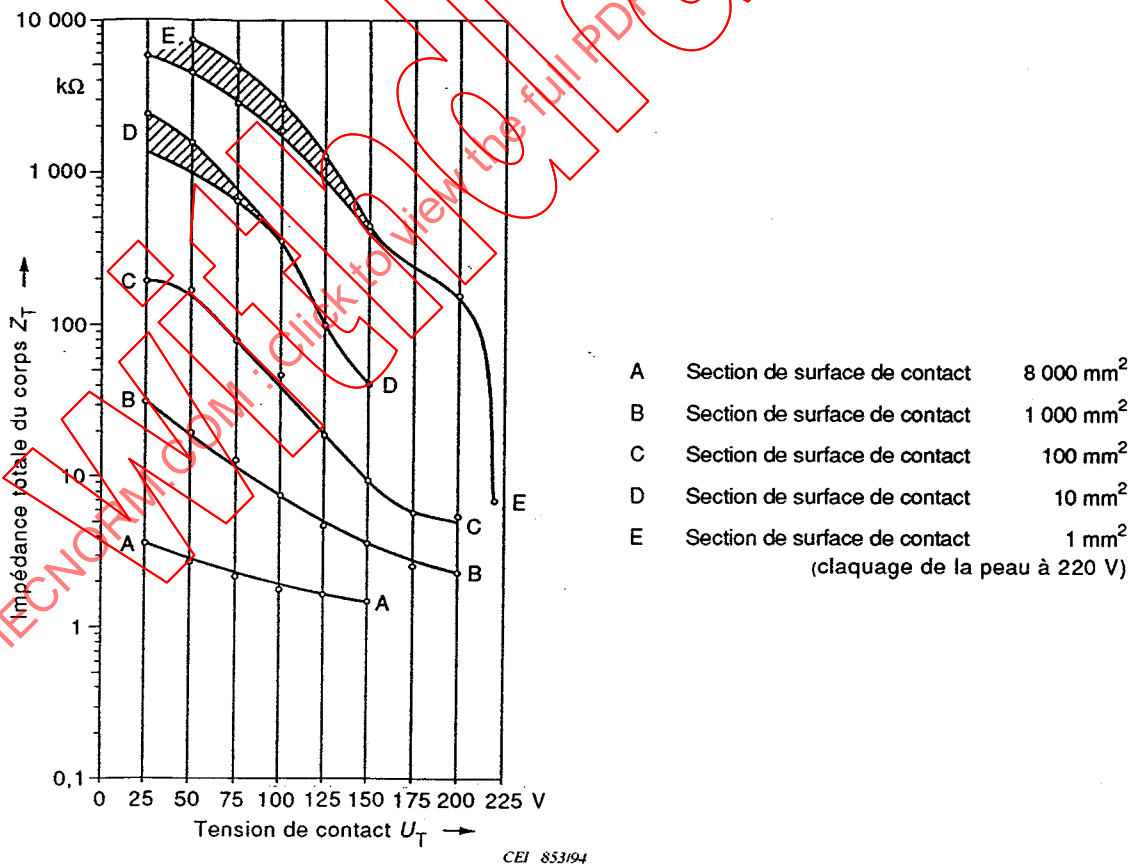


Figure 10 – Assujettissement de l'impédance totale du corps humain à la surface de contact et à la tension de contact (50 Hz)
(Pour plus de détails, voir annexe D)

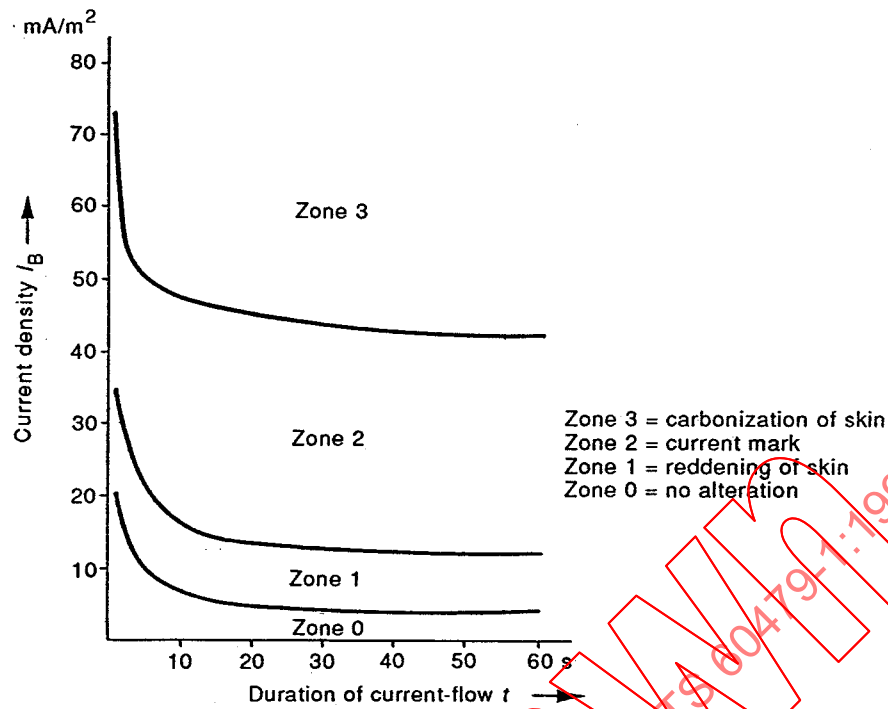


Figure 9 – Dependence of the alterations of the human skin on current density and duration of current flow
(For detailed description of zones, see 2.5.4)

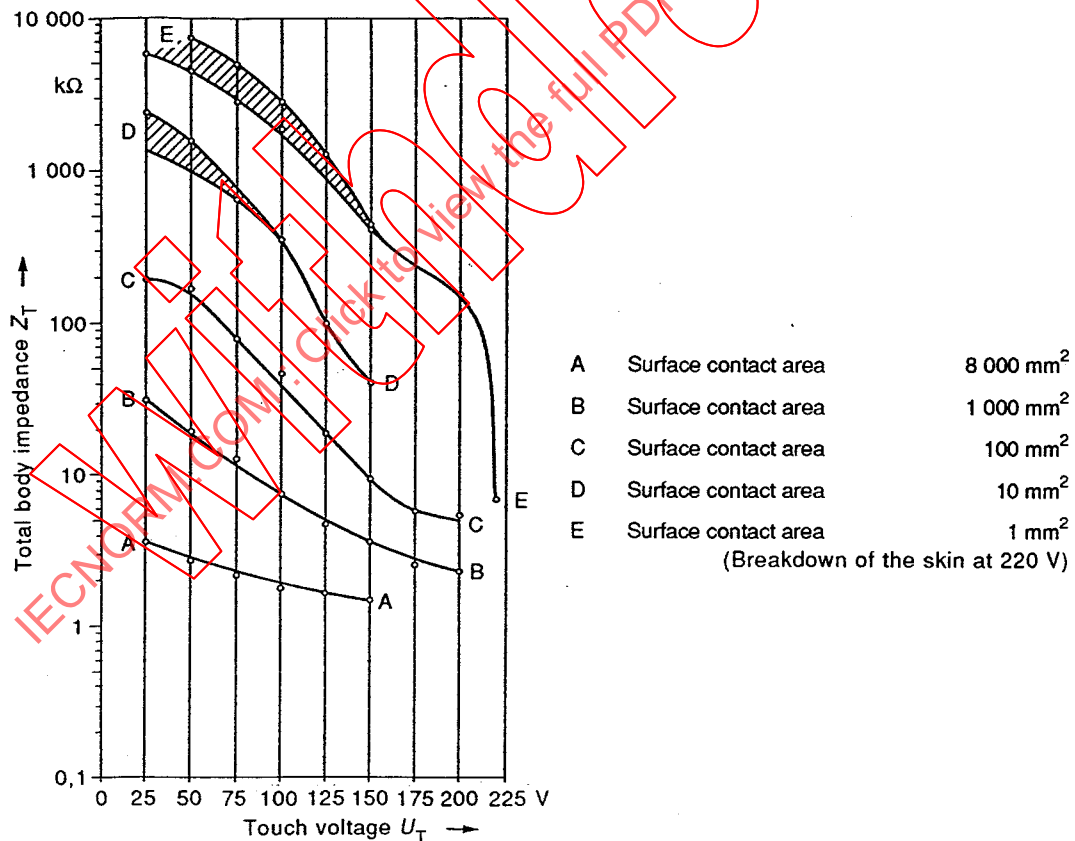
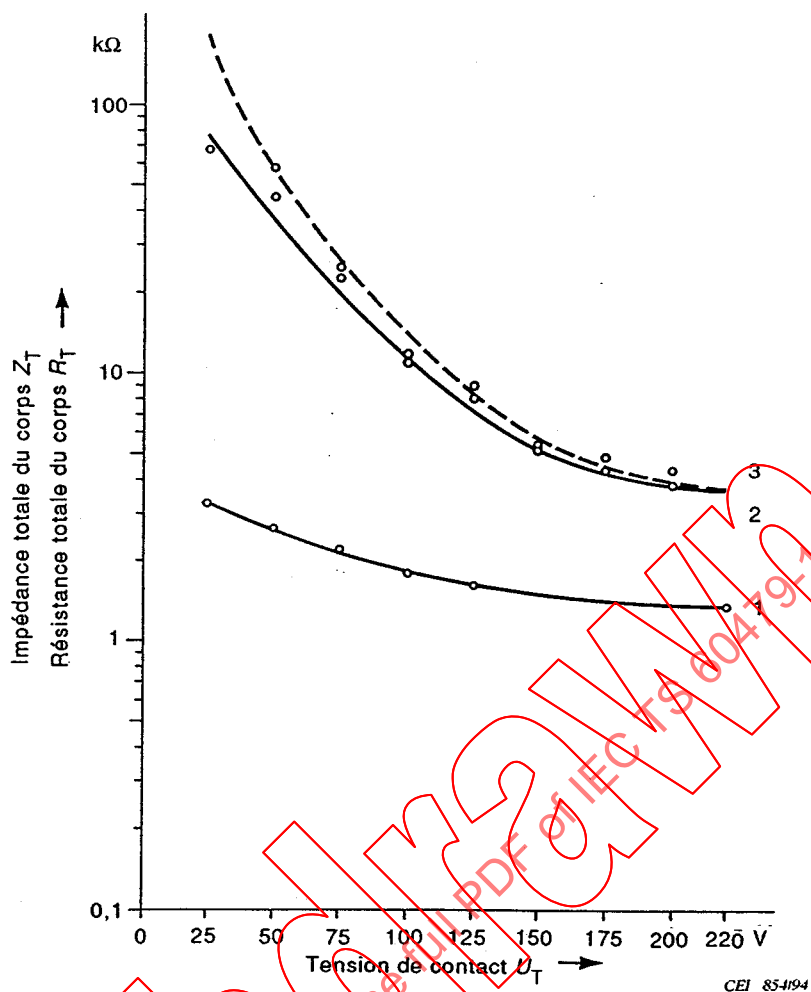
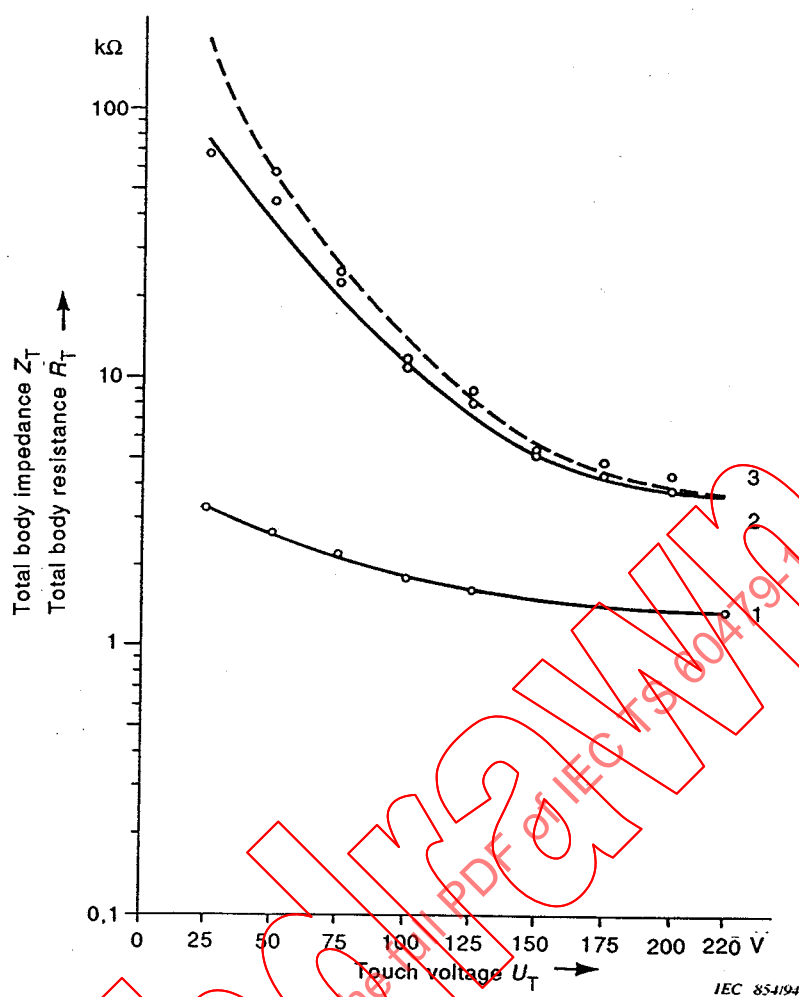


Figure 10 – Dependence of the total impedance of the human body on the surface area of contact and the touch voltage (50 Hz)
(For further details, see annex D)



- 1 Impédance totale du corps humain pour un trajet de courant main à main conforme au tableau 1 en courant alternatif 50 Hz par une population de 50 % et d'importantes surfaces de contact (environ 8 000 mm²) pour la durée du passage du courant, voir annexe A.
- 2 Impédance totale du corps humain pour un trajet de courant du bout de l'index droit à l'index gauche en courant alternatif 50 Hz. Durée de passage du courant 0,02 s.
- 3 Comme 2, mais en courant continu.

Figure 11 – Assujettissement de l'impédance totale du corps humain à la tension pour un trajet de courant entre index droit et gauche en courant alternatif 50 Hz et en courant continu pour des surfaces de contact d'environ 250 mm²



- 1 Total impedance of the human body for a current path hand to hand according to table 1 for a.c. 50 Hz, for a percentage of 50 % of the population for large areas of contact (approximately 8 000 mm²). For duration of current flow, see annex A.
- 2 Total impedance of the human body for a current path from the tips of the right to left forefinger for a.c. 50 Hz. Duration of current flow 0,02 s.
- 3 As 2, but for d.c.

Figure 11 – Dependence of the total impedance of the human body on the touch voltage for a current path from the tips of the right to the left forefinger for a.c. 50 Hz and d.c. for surface areas of contact of approximately 250 mm²

3 Effets du courant alternatif de fréquence comprise entre 15 Hz et 100 Hz

Cet article décrit les effets du courant électrique passant par le corps humain pour les courants alternatifs de fréquence comprise entre 15 Hz et 100 Hz.

NOTE – A moins qu'il n'en soit spécifié autrement, les valeurs de courant définies ci-après sont des valeurs efficaces.

3.1 Seuil de perception et seuil de réaction

Ces seuils dépendent de plusieurs paramètres, tels que la surface du corps, le contact avec une électrode (surface de contact), les conditions de contact (sèches, humides, pression, température), ainsi que des caractéristiques physiologiques de l'individu.

Une valeur générale de 0,5 mA est prise en considération dans ce rapport technique, quel que soit le temps, pour le seuil de réaction.

3.2 Seuil de non-lâcher

Le seuil de non-lâcher dépend de plusieurs paramètres, tels que la surface de contact, la forme et les dimensions des électrodes ainsi que des caractéristiques physiologiques de la personne.

Une valeur d'environ 10 mA est prise en considération dans ce rapport technique.

3.3 Seuil de fibrillation ventriculaire

Le seuil de fibrillation ventriculaire dépend autant de paramètres physiologiques (anatomie du corps, état des fonctions cardiaques, etc.) que de paramètres électriques (durée et parcours du courant, paramètres du courant, etc.)

En courant alternatif (50 Hz ou 60 Hz), le seuil de fibrillation décroît considérablement si la durée de passage du courant est prolongée au-delà d'un cycle cardiaque. Cet effet résulte de l'augmentation de l'hétérogénéité de l'état d'excitation du cœur dû aux extrasystoles produites par le courant.

Pour des durées de choc inférieures à 0,1 s, la fibrillation peut se produire pour des courants d'intensité supérieure à 500 mA si le choc se produit pendant la période vulnérable. Pour des chocs de même intensité et de durée supérieure à un cycle cardiaque, un arrêt cardiaque réversible peut se produire.

En adaptant les résultats des expériences effectuées sur des animaux aux êtres humains, une courbe c_1 (voir figure 14) a été établie pour un trajet du courant allant de la main gauche aux deux pieds, en dessous de laquelle la fibrillation n'est pas susceptible de se produire. Le seuil élevé, pour de courtes durées d'exposition entre 10 ms et 100 ms, se situe sur une droite allant de 500 mA à 400 mA. Sur la base d'informations sur des accidents électriques, le seuil inférieur pour des durées supérieures à 1 s se situe sur une droite allant de 50 mA pour une seconde à 40 mA pour des durées supérieures à 3 s. Les deux seuils sont reliés par une courbe continue.

L'évaluation statistique des expériences effectuées sur des animaux a permis le tracé des courbes c_2 et c_3 (voir figure 14) définissant des probabilités respectives de fibrillation de 5 % et de 50 %. Les courbes c_1 , c_2 et c_3 s'appliquent pour un trajet du courant allant de la main gauche aux deux pieds.

3 Effects of sinusoidal alternating current in the range of 15 Hz to 100 Hz

This clause describes the effects of sinusoidal alternating current passing through the human body within the frequency range 15 Hz to 100 Hz.

NOTE – Unless otherwise specified, the current values defined hereinafter are r.m.s. values.

3.1 *Threshold of perception and threshold of reaction*

The thresholds depend on several parameters, such as the area of the body in contact with an electrode (contact area), the conditions of contact (dry, wet, pressure, temperature), and also on physiological characteristics of the individual.

A general value of 0,5 mA, independent of time, is assumed in this technical report for the threshold of reaction.

3.2 *Threshold of let-go*

The threshold of let-go depends on several parameters, such as the contact area, the shape and size of the electrodes and also on the physiological characteristics of the individual.

An average value of about 10 mA is assumed in this technical report.

3.3 *Threshold of ventricular fibrillation*

The threshold of ventricular fibrillation depends on physiological parameters (anatomy of the body, state of cardiac function, etc.) as well as on electrical parameters (duration and pathway of current flow, current parameters, etc.).

With sinusoidal a.c. (50 Hz or 60 Hz) there is a considerable decrease of the threshold of fibrillation if the current flow is prolonged beyond one cardiac cycle. This effect results from the increase in inhomogeneity of the excitatory state of the heart due to the current-induced extrasystoles.

For shock durations below 0,1 s, fibrillation may occur for current magnitudes above 500 mA, and is likely to occur for current magnitudes in the order of several amperes, only if the shock falls within the vulnerable period. For shocks of such intensities and durations longer than one cardiac cycle reversible cardiac arrest may be caused.

In adapting the results from animal experiments to human beings, a curve c_1 (see figure 14) was conventionally established for a current path left hand to both feet, below which fibrillation is unlikely to occur. The high level for short durations of exposure between 10 ms and 100 ms was chosen as a descending line from 500 mA to 400 mA. On the basis of information on electrical accidents, the lower level for durations longer than 1 s was chosen as a descending line from 50 mA at 1 s to 40 mA for durations longer than 3 s. Both levels were connected by a smooth curve.

By statistical evaluation of animal experiments, curve c_2 and curve c_3 (see figure 14) have been established defining a probability of fibrillation of 5 % and 50 % respectively. Curves c_1 , c_2 and c_3 apply for a current path left hand to both feet.

3.4 Autres effets du courant

La fibrillation ventriculaire est considérée comme la cause principale de mort par choc électrique. Il existe aussi des cas de mort par asphyxie ou arrêt du coeur.

Des effets pathophysiologiques tels que contractions musculaires, difficultés de respiration, augmentation de la pression sanguine, perturbations dans la formation et la propagation des impulsions dans le coeur y compris la fibrillation auriculaire et l'arrêt provisoire du coeur peuvent se produire sans fibrillation ventriculaire. De tels effets ne sont pas mortels et sont habituellement réversibles, mais des marques de courant peuvent se produire.

Pour des courants de plusieurs ampères, des brûlures profondes provoquant des dommages sérieux et même la mort peuvent se produire.

3.5 Descriptions des zones temps/courant (voir figure 14)

Tableau 4 – Zones temps/courant en tension alternative 15 Hz à 100 Hz

Désignation de la zone	Limites de la zone	Effets physiologiques
AC-1	Jusqu'à 0,5 mA ligne a	Habituellement aucune réaction.
AC-2	De 0,5 mA jusqu'à la ligne b *	Habituellement, aucun effet physiologique dangereux.
AC-3	De la ligne b jusqu'à la courbe c ₁	Habituellement aucun dommage organique. Probabilité de contractions musculaires et de difficultés de respiration pour des durées de passage du courant supérieures à 2 s. Des perturbations réversibles dans la formation et la propagation des impulsions dans le coeur, y compris la fibrillation auriculaire et des arrêts temporaires du coeur sans fibrillation ventriculaire, augmentant avec l'intensité du courant et le temps.
AC-4	Au-dessus de la courbe c ₁	Augmentant avec l'intensité et le temps, des effets pathophysiologiques tels qu'arrêt du coeur, arrêt de la respiration, brûlures graves peuvent se produire en complément avec les effets de la zone 3.
AC-4.1	c ₁ -c ₂	Probabilité de fibrillation ventriculaire augmentant jusqu'à 5 %.
AC-4.2	c ₂ -c ₃	Probabilité de fibrillation ventriculaire jusqu'à environ 50 %.
AC-4.3	Au-delà de la courbe c ₃	Probabilité de fibrillation ventriculaire supérieur à 50 %.
* Pour des durées de passage de courant inférieures à 10 ms, la limite du courant traversant le corps pour la ligne b reste constante et égale à 200 mA.		

3.6 Application du facteur de courant de coeur (F)

Le facteur de courant de coeur permet de calculer les courants I_h pour des parcours autres que main gauche aux pieds, qui représentent le même danger de fibrillation ventriculaire que ceux correspondant au courant de référence I_{ref} entre main gauche et les deux pieds, donné sur la figure 14:

$$I_h = \frac{I_{ref}}{F}$$

3.4 Other effects of current

Ventricular fibrillation is considered to be the main cause of death by electrical shock. There is also some evidence of death due to asphyxia or cardiac arrest.

Pathophysiological effects such as muscular contractions, difficulty in breathing, rise in blood pressure, disturbances of formation and conduction of impulses in the heart including atrial fibrillation and transient cardiac arrest may occur without ventricular fibrillation. Such effects are not lethal and usually reversible but current marks can occur.

With currents of several amperes lasting more than seconds, deep-seated burns or other serious injuries which can be internal, and even death, are likely to occur.

3.5 Description of the time/current zones (see figure 14)

Table 4 – Time/current zones for a.c. 15 Hz to 100 Hz

Zone designation	Zone limits	Physiological effects
AC-1	Up to 0,5 mA line a	Usually no reaction.
AC-2	0,5 mA up to line b *	Usually no harmful physiological effects
AC-3	Line b up to curve c_1	Usually no organic damage to be expected. Likelihood of cramplike muscular contractions and difficulty in breathing for durations of current-flow longer than 2 s. Reversible disturbances of formation and conduction of impulses in the heart, including atrial fibrillation and transient cardiac arrest without ventricular fibrillation increasing with current magnitude and time.
AC-4	Above curve c_1	Increasing with magnitude and time, dangerous pathophysiological effects such as cardiac arrest, breathing arrest and severe burns may occur in addition to the effects of Zone 3.
AC-4.1	c_1 - c_2	Probability of ventricular fibrillation increasing up to about 5 %.
AC-4.2	c_2 - c_3	Probability of ventricular fibrillation up to about 50 %.
AC-4.3	Beyond curve c_3	Probability of ventricular fibrillation above 50 %.
* For durations of current-flow below 10 ms, the limit for the body current for line b remains constant at a value of 200 mA.		

3.6 Application of heart-current factor (F)

The heart-current factor permits the calculation of currents I_h through paths other than left hand to feet which represent the same danger of ventricular fibrillation as that corresponding to I_{ref} left hand to feet given in figure 14:

$$I_h = \frac{I_{ref}}{F}$$

où:

I_{ref} est le courant main gauche aux deux pieds donné sur la figure 14;

I_h est le courant passant par le corps pour les trajets indiqués dans le tableau 5;

F est le facteur de courant de coeur indiqué dans le tableau 5.

NOTE – Le facteur de courant de coeur est à considérer comme une estimation approximative des dangers correspondant aux différents trajets du courant du point de vue de la fibrillation ventriculaire.

Pour les différents trajets du courant, le facteur de courant de coeur a la valeur indiquée dans le tableau 5.

Tableau 5 – Facteur de courant de coeur F pour différents trajets du courant

Trajet de courant	Facteur de courant de coeur F
Main gauche au pied gauche, au pied droit ou aux deux pieds	1,0
Deux mains aux deux pieds	1,0
Main gauche à la main droite	0,4
Main droite au pied gauche, au pied droit ou aux deux pieds	0,8
Dos à la main droite	0,3
Dos à la main gauche	0,7
Poitrine à la main droite	1,3
Poitrine à la main gauche	1,5
Siège à la main gauche, à la main droite ou aux deux mains	0,7

EXEMPLE: Un courant de 200 mA main à main a le même effet qu'un courant de 80 mA main gauche aux deux pieds.

where:

I_{ref} is the body current for the path left hand to feet given in figure 14;

I_{h} is the body current for paths given in table 5;

F is the heart-current factor given in table 5.

NOTE – The heart-current factor is to be considered as only a rough estimation of the relative danger of the various current paths with regard to ventricular fibrillation.

For the different current paths, the following heart-current factors are given in table 5.

Table 5 – Heart-current factor F for different current paths

Current path	Heart-current factor F
Left hand to left foot, right foot or both feet	1,0
Both hands to both feet	1,0
Left hand to right hand	0,4
Right hand to left foot, right foot or to both feet	0,8
Back to right hand	0,3
Back to left hand	0,7
Chest to right hand	1,3
Chest to left hand	1,5
Seat to left hand, right hand or to both hands	0,7

EXAMPLE: A current of 200 mA hand to hand has the same likelihood of producing ventricular fibrillation as a current of 80 mA left hand to both feet.

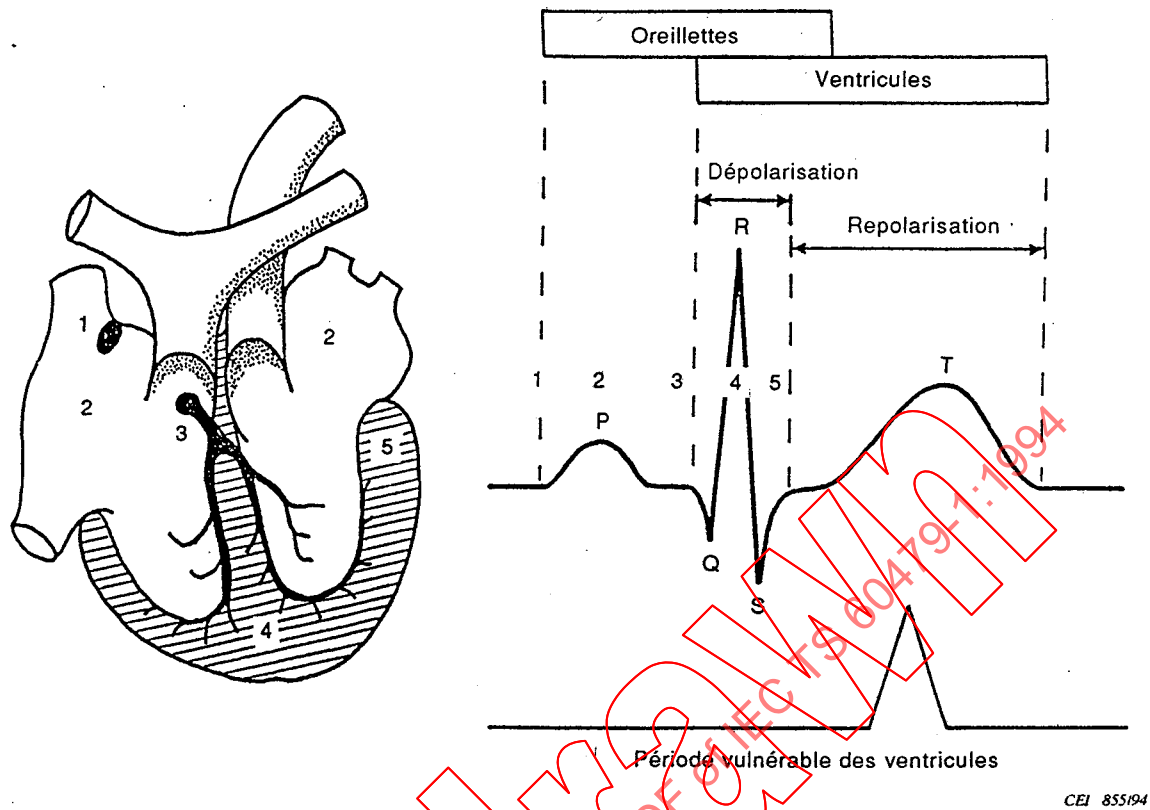


Figure 12 – Situation de la période vulnérable des ventricules pendant le cycle cardiaque. Les chiffres caractérisent les étapes consécutives de la repolarisation

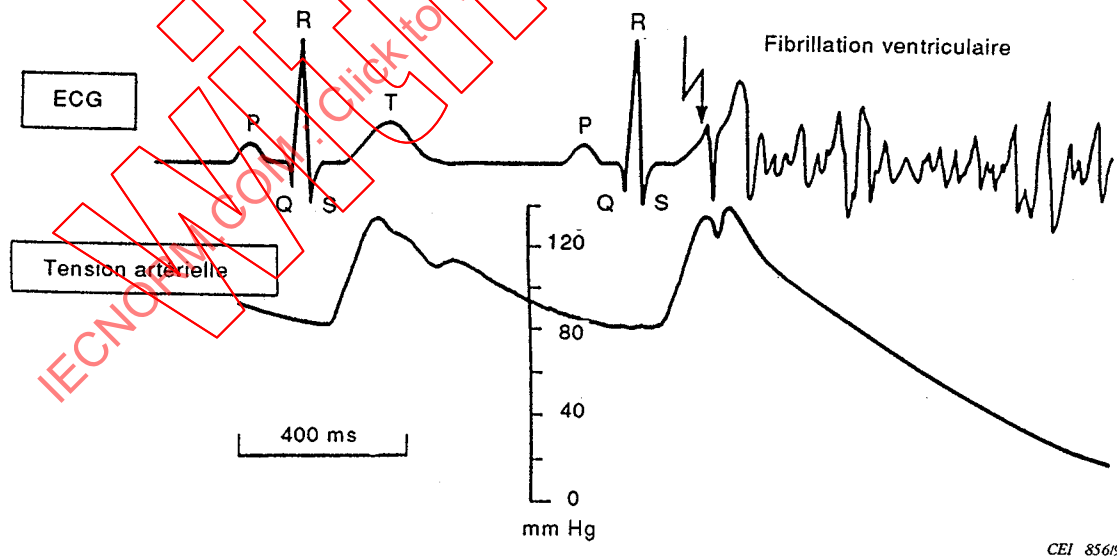


Figure 13 – Déclenchement de la fibrillation ventriculaire dans la période vulnérable. Effets sur l'électrocardiogramme (ECG) et la tension artérielle

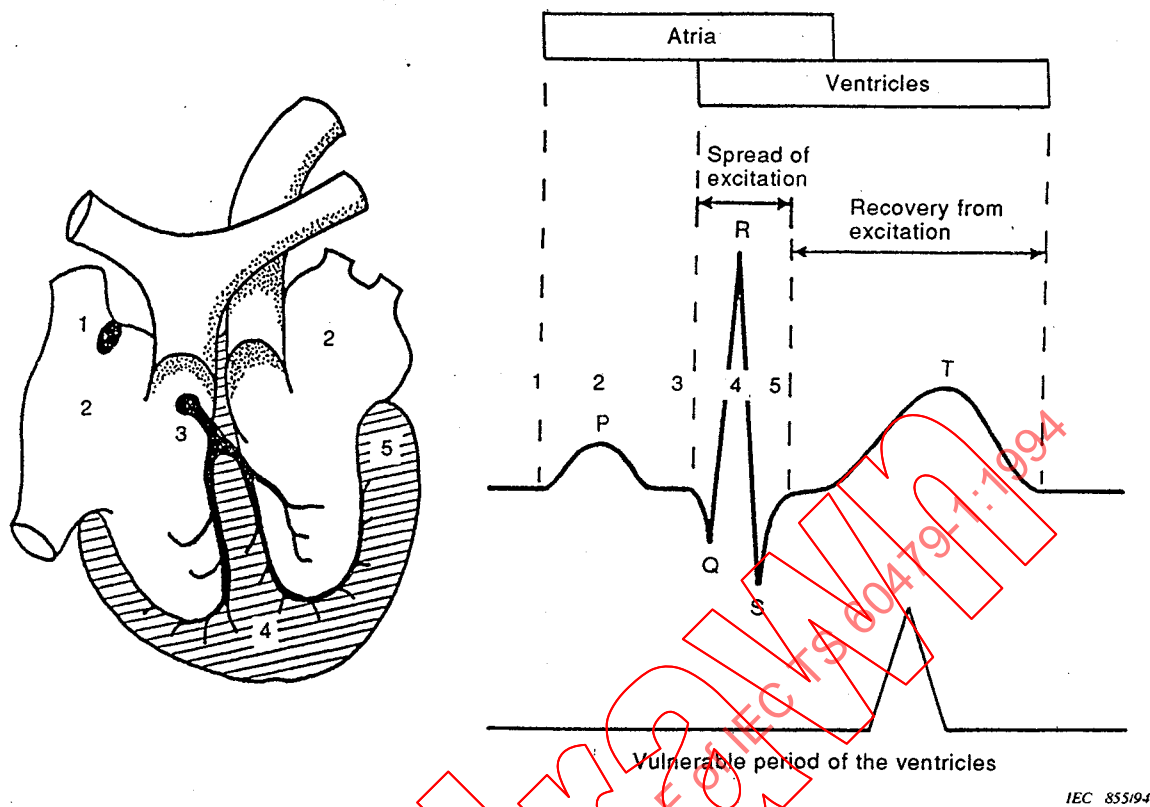


Figure 12 – Occurrence of the vulnerable period of ventricles during the cardiac cycle. The numbers designate the subsequent stages of propagation of the excitation

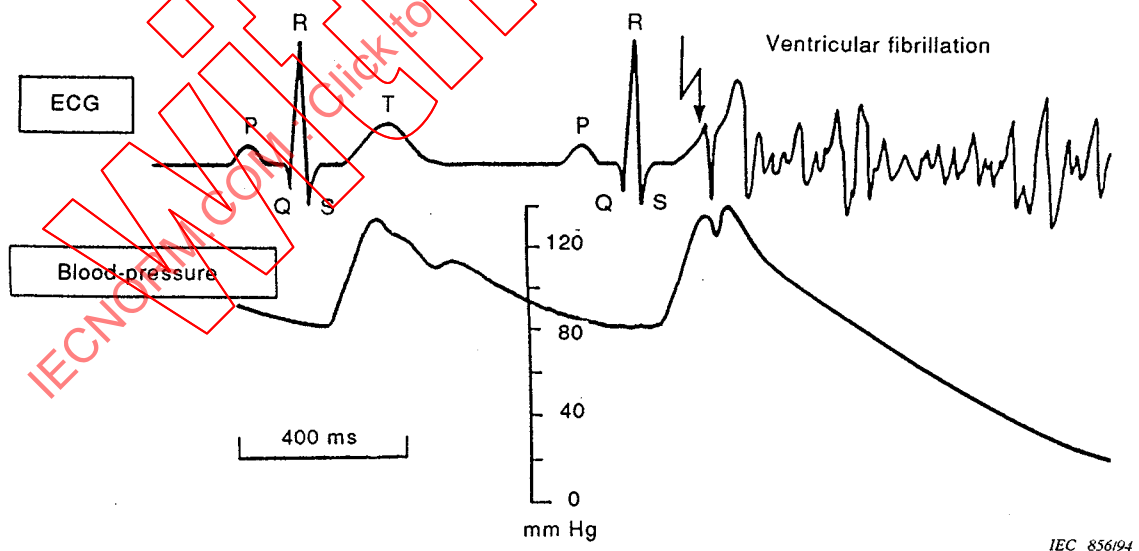
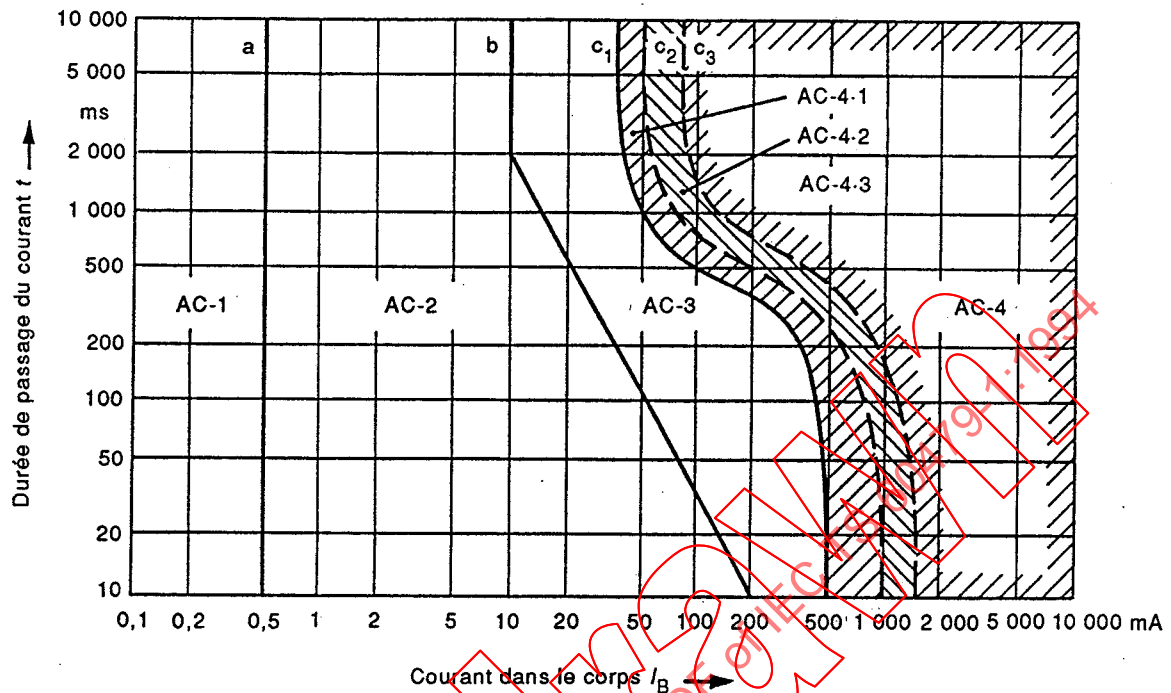


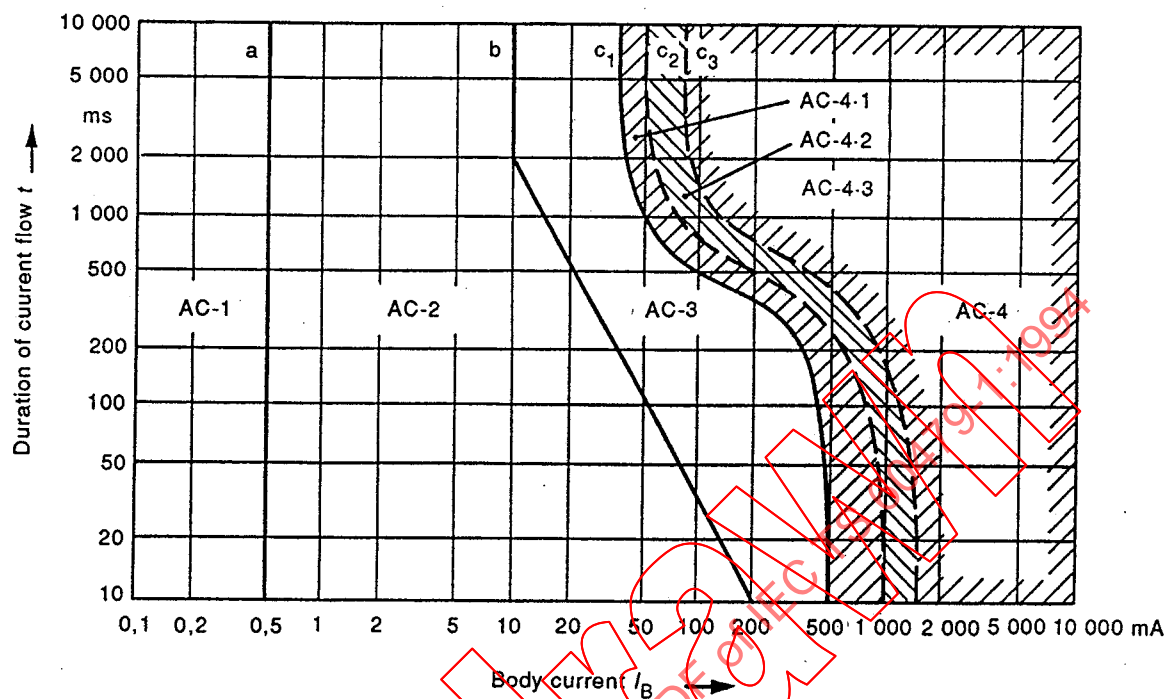
Figure 13 – Triggering of ventricular fibrillation in the vulnerable period. Effects on electrocardiogram (ECG) and blood-pressure



CEI 857/94

NOTE – En ce qui concerne la fibrillation ventriculaire, cette figure se rapporte aux effets du courant passant de la main gauche aux deux pieds. Pour d'autres parcours de courant, voir 3.6 et tableau 5. Les valeurs de seuil pour une durée de passage du courant inférieure à 0,2 s ne sont applicables qu'au passage du courant pendant la période vulnérable du cycle cardiaque.

Figure 14 – Zones temps/courant des effets des courants en tension alternative 15 Hz à 100 Hz
(Pour explications voir tableau 4)



NOTE – As regards ventricular fibrillation, this figure relates to the effects of current which flows in the path left hand to both feet. For other current paths, see 3.6 and table 5. The threshold values for durations of current flow below 0.2 s apply only to current flowing during the vulnerable period of the cardiac cycle.

Figure 14 –Time/current zones of effects of a.c. currents 15 Hz to 100 Hz
(For explanations, see table 4)

4 Effets du courant continu

Cet article décrit les effets du courant continu passant à travers le corps humain.

NOTES

- 1 Le terme «courant continu» signifie un courant continu lisse. Toutefois, en ce qui concerne les effets de la fibrillation, les valeurs indiquées dans ce chapitre sont considérées comme sûres pour des courants continus dont le taux d'ondulation sinusoïdal n'est pas supérieur à 10 % en valeur efficace.
- 2 L'influence des ondulations est traitée dans le chapitre 5 de la CEI 479-2.

4.1 Seuil de perception et seuil de réaction

Les seuils dépendent de plusieurs paramètres tels que la surface de contact, les conditions de contact (sécheresse, humidité, pression, température), la durée de passage du courant ainsi que des caractéristiques physiologiques de l'individu. A la différence du courant alternatif, seuls l'établissement et l'interruption du courant sont perçus et aucune autre sensation n'est ressentie pendant le passage du courant au niveau du seuil de perception. Dans des conditions semblables à celles qui sont définies pour le courant alternatif, le seuil de perception est d'environ 2 mA.

4.2 Seuil de non-lâcher

A la différence du courant alternatif, il n'est pas possible de définir un seuil de non-lâcher en courant continu. Seuls l'établissement et l'interruption du courant provoquent des douleurs et des contractions musculaires.

4.3 Seuil de fibrillation ventriculaire

Comme il est décrit pour le courant alternatif (voir 3.3), le seuil de fibrillation ventriculaire produit par le courant continu dépend aussi bien de conditions physiologiques que de paramètres électriques.

L'information issue d'accidents électriques semble indiquer que le danger de fibrillation ventriculaire n'existe que pour les courants longitudinaux. Pour les courants transversaux l'expérimentation sur des animaux a montré que la fibrillation ventriculaire peut apparaître pour des intensités plus élevées.

Des expériences effectuées sur des animaux et des informations provenant d'accidents électriques montrent que le seuil de fibrillation ventriculaire pour un courant descendant est environ deux fois plus grand que pour un courant montant.

Pour des durées de choc supérieures à la durée du cycle cardiaque, le seuil de fibrillation en courant continu est plusieurs fois plus grand qu'en courant alternatif. Pour des durées de choc inférieures à 200 ms, le seuil de fibrillation est approximativement le même qu'en courant alternatif exprimé en valeur efficace.

Par analogie avec les zones temps/courant en courant alternatif (voir figure 14) des courbes ont été établies par adaptation des résultats obtenus sur des sujets humains. Elles sont valables pour un courant longitudinal montant. Sous la courbe c_1 (voir figure 15), la fibrillation n'est pas susceptible de se produire. Les courbes c_2 et c_3 (voir figure 15) définissent respectivement une probabilité de fibrillation de 5 % et de 50 %. Pour un courant longitudinal descendant, les courbes doivent être décalées vers des courants plus élevés par un facteur d'environ 2.

4 Effects of direct current

This clause describes the effects of direct current passing through the human body.

NOTES

- 1 The term "direct current" means ripple-free direct current. However, as regards fibrillation effects, the data given in this chapter are considered to be conservative for direct currents having a sinusoidal ripple content of not more than 10 % r.m.s.
- 2 The influence of ripple is dealt with in chapter 5 of IEC 479-2.

4.1 *Threshold of perception and threshold of reaction*

The thresholds depend on several parameters, such as the contact area, the conditions of contact (dryness, wetness, pressure, temperature), the duration of current flow and on the physiological characteristics of the individual. Unlike a.c., only making and breaking of current is felt and no other sensation is noticed during the current flow at the level of the threshold of perception. Under conditions comparable to those applied in studies with a.c., the threshold of reaction was found to be about 2 mA.

4.2 *Threshold of let-go*

Unlike a.c. there is no definable threshold of let-go for d.c. Only the making and breaking of current lead to painful and cramp-like contractions of the muscles.

4.3 *Threshold of ventricular fibrillation*

As described for a.c. (see 3.3) the threshold of ventricular fibrillation induced by d.c. depends on physiological as well as on electrical parameters.

Information derived from electrical accidents seems to indicate that the danger of ventricular fibrillation generally exists for longitudinal currents. For transverse currents, experiments on animals have, however, shown that at higher current intensities ventricular fibrillation may also occur.

Experiments on animals as well as information derived from electrical accidents show that the threshold of fibrillation for a downward current is about twice as high as for an upward current.

For shock durations longer than the cardiac cycle, the threshold of fibrillation for d.c. is several times higher than for a.c. For shock durations shorter than 200 ms, the threshold of fibrillation is approximately the same as for a.c. measured in r.m.s. values.

In comparison with the time/current zones for a.c. (see figure 14), curves have been constructed by adapting the results obtained from animal experiments to human beings. They apply to a longitudinal upward current. Below curve c_1 (see figure 15) fibrillation is unlikely to occur. Curve c_2 and curve c_3 (see figure 15) define a probability of fibrillation of 5 % and 50 % respectively. For a longitudinal downward current the curves have to be shifted to a higher current magnitude by a factor of about two.

4.4 Autres effets du courant

Au-dessus de 100 mA environ, une sensation de chaleur peut être ressentie dans les extrémités pendant le passage du courant. A l'intérieur de la zone de contact, des sensations douloureuses sont ressenties dans la peau.

Les courants transversaux d'intensité au plus égale à 300 mA passant à travers le corps humain pendant plusieurs minutes peuvent provoquer des arythmies cardiaques réversibles, des marques de courant, des brûlures, des vertiges et parfois l'inconscience. Au-dessus de 300 mA, l'inconscience se produit fréquemment.

Pour des courants de plusieurs ampères pendant plusieurs secondes des brûlures profondes, des blessures et même la mort sont susceptibles de se produire.

4.5 Descriptions des zones temps/courant (voir figure 15)

Tableau 6 – Zones temps/courant en courant continu

Désignation de la zone	Limites de la zone	Effets physiologiques
DC-1	Jusqu'à 2 mA ligne a	Habituellement pas d'effets de réaction. Légère sensation de picotement à l'établissement et à l'interruption du courant
DC-2	De 2 mA jusqu'à la ligne b *	Habituellement, pas d'effets physiologiques nocifs
DC-3	De la ligne b jusqu'à la courbe c ₁	Habituellement pas de dégât organique. L'accroissement du courant et du temps est susceptible de provoquer des perturbations réversibles de formation et de conduction des impulsions dans le cœur
DC-4	Au-dessus de la courbe c ₁	L'accroissement du courant et du temps provoque des effets patho-physiologiques dangereux, par exemple, des brûlures profondes surviennent en complément avec les effets de la zone 3
DC-4.1	c ₁ -c ₂	Probabilité de fibrillation ventriculaire augmentant jusqu'à 5 %
DC-4.2	c ₂ -c ₃	Probabilité de fibrillation ventriculaire augmentant jusqu'à 50 %
DC-4.3	Au-delà de la courbe c ₃	Probabilité de fibrillation ventriculaire au-dessus de 50 %
* Pour des durées de passage de courant inférieures à 10 ms, la limite pour le courant passant à travers le corps pour la ligne b reste constante à une valeur égale à 200 mA.		

4.4 Other effects of current

Above approximately 100 mA, a sensation of warmth may be felt in the extremities during the flow of the current. Within the contact area, painful sensations are felt in the skin.

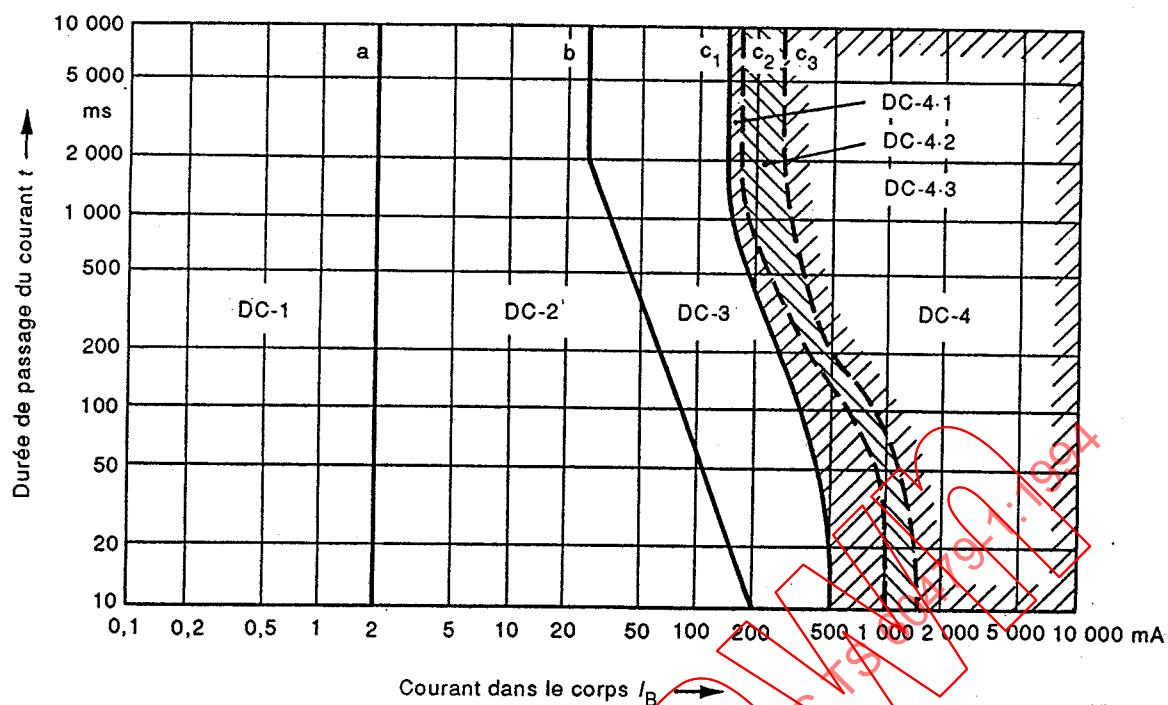
Transverse currents up to 300 mA flowing through the human body for several minutes might, increasing with time and current, cause reversible cardiac dysrhythmias, current marks, burns, dizziness and sometimes unconsciousness. Above 300 mA, unconsciousness frequently occurs.

With currents of several amperes lasting more than seconds, deep-seated burns or other injuries, and even death, are likely to occur.

4.5 Description of the time/current zones (see figure 15)

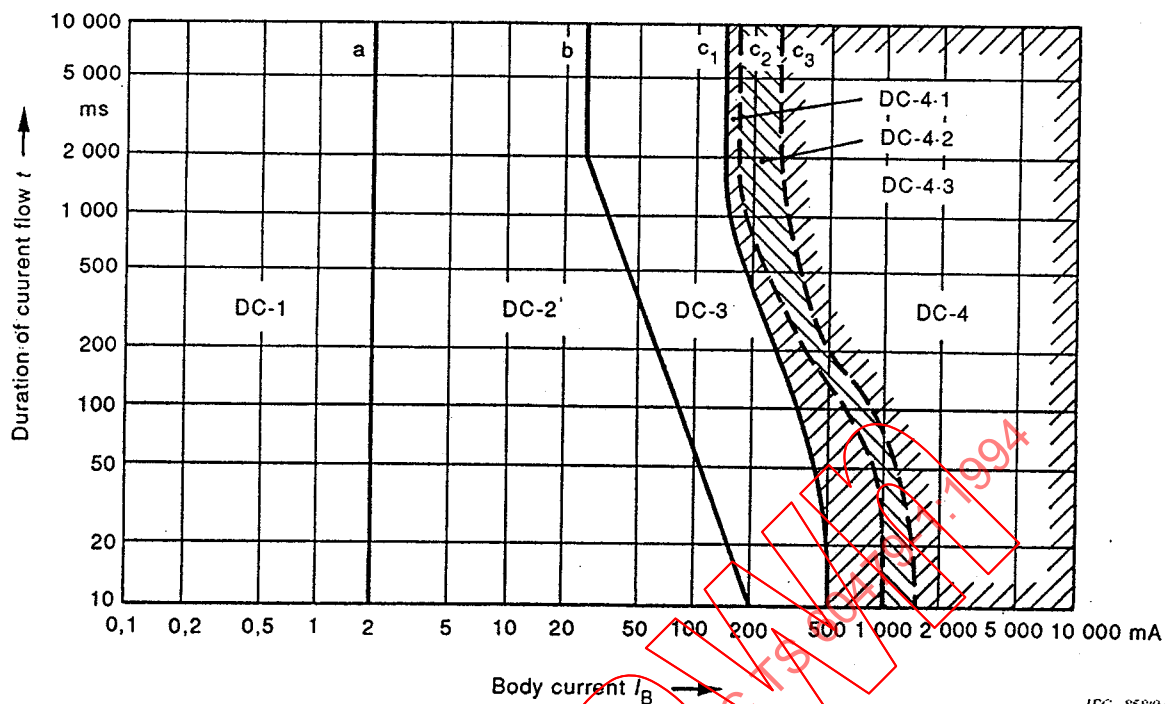
Table 6 – Time/current zones for d.c.

Zone designation	Zone limits	Physiological effects
DC-1	Up to 2 mA line a	Usually no reaction Slight pricking pain when switching on or off
DC-2	2 mA up to line b *	Usually no harmful physiological effects
DC-3	Line b up to curve c_1	Usually no organic damage to be expected. Increasing with current magnitude and time, reversible disturbances of formation and conduction of impulses in the heart may occur
DC-4	Above curve c_1	Increasing with current magnitude and time, dangerous pathophysiological effects, for example severe burns, are to be expected in addition to the effects of zone 3
DC-4.1	c_1 - c_2	Probability of ventricular fibrillation increasing up to about 5 %
DC-4.2	c_2 - c_3	Probability of ventricular fibrillation up to about 50 %
DC-4.3	Beyond curve c_3	Probability of ventricular fibrillation above 50 %
* For durations of current flow below 10 ms, the limit for the body current for line b remains constant at a value of 200 mA.		



NOTE – Concernant la fibrillation ventriculaire, cette figure est relative aux effets d'un courant longitudinal avec un trajet main gauche aux deux pieds et pour un courant montant. Les valeurs de seuil pour une durée de passage du courant inférieur à 0,2 s ne sont applicables qu'au passage du courant pendant la période vulnérable du cycle cardiaque.

Figure 15 – Zone temps/courant des effets en courant continu
(Pour explications voir tableau 6)



NOTE – As regards ventricular fibrillation, this figure relates to the effects of a longitudinal current which flows in the path left hand to both feet and for upward current. The threshold values for durations of current flow below 0,2 s apply only to current flowing during the vulnerable period of the cardiac cycle.

Figure 15 – Time/current zones of effects of d.c. currents
(For explanations, see table 6)

Annexes

Introduction

Le chapitre 1 de la CEI 479 (2^e édition, 1984) relatif à l'impédance électrique du corps humain ne contenait pas d'information sur l'impédance en courant alternatif à hautes fréquences, ni en courant continu. L'assujettissement de l'impédance à la zone de surface de contact n'était pas connue.

Tant que l'impédance interne était en cause, des données supplémentaires étaient recherchées pour les divers trajets dans le corps humain afin d'être capable de calculer les impédances pour des trajets de courant particuliers (par exemple, de l'avant-bras au tronc du corps) pouvant se produire lors d'accidents électriques.

D'autre part, un diagramme simple de l'impédance interne du corps humain est nécessaire et permet des estimations pour des accidents fréquents avec divers trajets de courant, par exemple des deux mains au tronc du corps.

Le chapitre 1 a donc été revu et l'information nécessaire a été ajoutée en divisant l'article 2.5. (Valeurs de l'impédance totale du corps (Z_T)) en:

- 2.5.1 Courant alternatif sinusoïdal 50/60 Hz
- 2.5.2 Courant alternatif sinusoïdal jusqu'à des fréquences de 20 kHz
- 2.5.3 Courant continu
- 2.5.4 Effets du courant sur la peau
- 2.7 Sujétion des impédances du corps à la surface de contact en courant alternatif 50/60 Hz et en courant continu.

Les mesures à diverses fréquences se sont avérées difficiles. En raison du décroissement rapide de l'impédance totale du corps même à 25 V à des fréquences supérieures à 500 Hz, les sensations sont désagréables et même à 25 V, très peu de sujets ont été testés jusqu'à 20 kHz. Cinquante sujets ont été testés à une tension de contact de 10 V avec des fréquences jusqu'à 20 kHz ainsi qu'en courant continu avec une tension de contact de 25 V.

En raison des sensations désagréables et du danger possible inhérent aux expérimentations, des mesures ont été réalisées sur un seul adulte avec des surfaces de contact importantes main à main et en courant continu jusqu'à 200 V. Le même sujet a été testé avec diverses zones de surface de contact main à main et entre bouts des doigts en courant alternatif 50 Hz jusqu'à 200 V.

Les séries de mesures entre bouts des doigts (index droit et gauche) et entre pouces droit et gauche ont été répétées en courant continu jusqu'à 200 V. Ces mesures prouvent qu'au-dessus d'environ 150 V, les impédances totales du corps en courant alternatif 50 Hz diffèrent de manière peu significative de la résistance totale du corps en courant continu.

Toutes les mesures sont brièvement décrites dans les annexes.