

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

RAPPORT DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

IEC REPORT

Publication 479-1

Deuxième édition — Second edition

1984

Effets du courant passant par le corps humain

Première partie: Aspects généraux

Chapitre 1: Impédance électrique du corps humain

Chapitre 2: Effets du courant alternatif de fréquence
comprise entre 15 Hz et 100 Hz

Chapitre 3: Effets du courant continu

Effects of current passing through the human body

Part 1: General aspects

Chapter 1: Electrical impedance of the human body

Chapter 2: Effects of alternating current in the range
of 15 Hz to 100 Hz

Chapter 3: Effects of direct current



© CEI 1984

Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

3, rue de Varembé

Genève, Suisse

Révision de la présente publication

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

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenues auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci-dessous :

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (VEI), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'Index général étant publié séparément. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande.

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

Symboles graphiques et littéraux

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

- la Publication 27 de la CEI: Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique ;
- la Publication 617 de la CEI: Symboles graphiques pour schémas.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit repris des Publications 27 ou 617 de la CEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur les pages 3 et 4 de la couverture, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication.

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

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
- **Catalogue of IEC Publications**
Published yearly

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the IEV will be supplied on request.

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 :

- IEC Publication 27: Letter symbols to be used in electrical technology ;
- IEC Publication 617: Graphical symbols for diagrams.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC Publication 27 or 617, 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 pages 3 and 4 of the cover, which list IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
RAPPORT DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
IEC REPORT

Publication 479-1

Deuxième édition — Second edition
1984

Effets du courant passant par le corps humain

Première partie: Aspects généraux

Chapitre 1: Impédance électrique du corps humain

**Chapitre 2: Effets du courant alternatif de fréquence
comprise entre 15 Hz et 100 Hz**

Chapitre 3: Effets du courant continu

Effects of current passing through the human body

Part 1: General aspects

Chapter 1: Electrical impedance of the human body

**Chapter 2: Effects of alternating current in the range
of 15 Hz to 100 Hz**

Chapter 3: Effects of direct current



© CEI 1984

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
INTRODUCTION	6
 CHAPITRE 1: IMPÉDANCE ÉLECTRIQUE DU CORPS HUMAIN 	
Articles	
1. Généralités	8
2. Domaine d'application	8
3. Définitions	8
4. Caractéristiques de l'impédance du corps humain	10
5. Valeurs de l'impédance totale du corps humain (Z_T)	12
6. Valeurs de la résistance initiale du corps humain (R_i)	12
ANNEXE A – Mesures effectuées sur des sujets vivants et sur des cadavres et exploitation statistique des résultats	16
 CHAPITRE 2: EFFETS DU COURANT ALTERNATIF DE FRÉQUENCE COMPRISE ENTRE 15 Hz ET 100 Hz 	
1. Généralités	18
2. Domaine d'application	18
3. Définitions	18
4. Effets du courant	20
5. Application du facteur de courant de cœur	22
 CHAPITRE 3: EFFETS DU COURANT CONTINU 	
1. Généralités	30
2. Domaine d'application	30
3. Définitions	30
4. Effets du courant	32
BIBLIOGRAPHIE	36

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
INTRODUCTION	7

CHAPTER 1: ELECTRICAL IMPEDANCE OF THE HUMAN BODY

Clause

1. General	9
2. Scope	9
3. Definitions	9
4. Characteristics of the impedance of the human body	9
5. Values of the total impedance of the human body (Z_T)	13
6. Value of the initial resistance of the human body (R_i)	13

APPENDIX A – Measurements made on living and dead human beings and the statistical analysis of the results	17
--	----

CHAPTER 2: EFFECTS OF ALTERNATING CURRENT
IN THE RANGE OF 15 Hz TO 100 Hz

1. General	19
2. Scope	19
3. Definitions	19
4. Effects of current.	21
5. Application of heart-current factor	23

CHAPTER 3: EFFECTS OF DIRECT CURRENT

1. General	31
2. Scope	31
3. Definitions	31
4. Effects of current	33

BIBLIOGRAPHY	36
------------------------	----

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

EFFETS DU COURANT PASSANT PAR LE CORPS HUMAIN

Première partie: Aspects généraux

Chapitre 1: Impédance électrique du corps humain

Chapitre 2: Effets du courant alternatif de fréquence comprise entre 15 Hz et 100 Hz

Chapitre 3: Effets du courant continu

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes 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.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

Le présent rapport a été établi par le Comité d'Etudes n° 64 de la CEI: Installations électriques des bâtiments.

Cette deuxième édition remplace la première édition de la Publication 479 de la CEI, parue en 1974.

Le texte de ce rapport est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote	Procédure des Deux Mois	Rapport de vote
64(BC)128 64(BC)129 64(BC)130	64(BC)140 64(BC)146 64(BC)147	64(BC)141	64(BC)148

Pour de plus amples renseignements, consulter les rapports de vote correspondants mentionnés dans le tableau ci-dessus.

La nouvelle version de la Publication 479 est divisée en deux parties, chacune divisée en trois chapitres.

Première partie: Aspects généraux:

Chapitre 1: Impédance électrique du corps humain.

Chapitre 2: Effets du courant alternatif de fréquence comprise entre 15 Hz et 100 Hz.

Chapitre 3: Effets du courant continu.

Deuxième partie: Aspects particuliers:

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

Chapitre 5: Effets des courants de formes d'onde spéciales.

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

EFFECTS OF CURRENT PASSING THROUGH THE HUMAN BODY**Part 1: General aspects****Chapter 1: Electrical impedance of the human body****Chapter 2: Effects of alternating current in the range of 15 Hz to 100 Hz****Chapter 3: Effects of direct current**

FOREWORD

- 1) 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.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This report has been prepared by IEC Technical Committee No. 64: Electrical Installations of Buildings.

This second edition replaces the first edition of IEC Publication 479, published in 1974.

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

Six Months' Rule	Report on Voting	Two Months' Procedure	Report on Voting
64(CO)128 64(CO)129 64(CO)130	64(CO)140 64(CO)146 64(CO)147	64(CO)141	64(CO)148

Further information can be found in the relevant Reports on Voting indicated in the table above.

The new edition of Publication 479 is divided into two parts each containing three chapters:

Part 1: General aspects:

Chapter 1: Electrical impedance of the human body.

Chapter 2: Effects of alternating current in the range of 15 Hz to 100 Hz.

Chapter 3: Effects of direct current.

Part 2: Special aspects:

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

Chapter 5: Effects of special waveforms of current.

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

EFFETS DU COURANT PASSANT PAR LE CORPS HUMAIN

Première partie : Aspects généraux

INTRODUCTION

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 des êtres humains vivants.

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.

Ce rapport est destiné à fournir les informations fondamentales sur les effets des courants électriques sur le corps humain, servant de guide pour l'établissement des prescriptions de sécurité électrique.

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'il rassemble les résultats obtenus jusqu'à présent et qui sont utilisés par le Comité d'Etudes n° 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 Publication 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.

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 survenue 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 Publication 479 qui doit être considérée comme le développement et l'évolution logiques de la première édition.

EFFECTS OF CURRENT PASSING THROUGH THE HUMAN BODY

Part 1: General aspects

INTRODUCTION

In order to avoid errors in the interpretation of this report it must be emphasized that the data given herein are 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.

This report is intended to provide basic guidance on the effects of shock currents on the human body for use in the establishment of electrical safety requirements.

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 report has been adopted, as it summarizes results so far achieved which are being used by Technical Committee No. 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 Publication 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 man.

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 Publication 479 was therefore considered necessary and should be viewed as the logical development and evolution of the first edition.

CHAPITRE 1: IMPÉDANCE ÉLECTRIQUE DU CORPS HUMAIN

1. Généralités

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 chapitres 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 d'un certain nombre de 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 résultent d'un examen minutieux des résultats expérimentaux disponibles de mesures effectuées principalement sur des cadavres et sur quelques personnes vivantes.

2. Domaine d'application

Le présent chapitre 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 et du trajet du courant.

Note. — Les valeurs données à l'article 5 se réfèrent aux fréquences au plus égales à 50/60 Hz; les valeurs pour des fréquences supérieures et le courant continu sont à l'étude.

3. Définitions

3.1 Impédance interne du corps humain (Z_i)

Impédance entre deux électrodes en contact avec deux parties du corps humain, après suppression de la peau sous les électrodes.

3.2 Impédance de la peau (Z_p)

Impédance entre une électrode sur la peau et les tissus conducteurs sous-jacents.

3.3 Impédance totale du corps humain (Z_T)

Somme vectorielle de l'impédance interne et des impédances de la peau (voir figure 1, page 14).

3.4 Résistance initiale du corps humain (R_i)

Résistance limitant la valeur de crête du courant au moment où la tension de contact est appliquée.

CHAPTER 1: ELECTRICAL IMPEDANCE OF THE HUMAN BODY

1. General

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 chapters are, in many cases, not directly applicable in practice for designing protection against electric 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 accordingly 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 certain 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 report result from a close examination of the experimental results available from measurements carried out principally on corpses and on some living persons.

2. Scope

This chapter indicates values for the electrical impedance of the human body as a function of the touch voltage, the frequency, the degree of moisture of the skin and the current path.

Note. — The values given in Clause 5 refer to frequencies of 50/60 Hz; values for higher frequencies and for direct current are under consideration.

3. Definitions

3.1 *Internal impedance of the human body (Z_i)*

Impedance between two electrodes in contact with two parts of the human body, after removing the skin from under the electrodes.

3.2 *Impedance of the skin (Z_p)*

Impedance between an electrode on the skin and the conductive tissues underneath.

3.3 *Total impedance of the human body (Z_T)*

Vectorial sum of the internal impedance and the impedances of the skin (see Figure 1, page 14).

3.4 *Initial resistance of the human body (R_i)*

Resistance limiting the peak value of the current at the moment when the touch voltage occurs.

4. Caractéristiques de l'impédance du corps humain

Le diagramme de la figure 1, page 14, représente les impédances du corps humain.

4.1 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. Toutefois, lorsque la surface de contact est très faible — de l'ordre de quelques millimètres carrés — l'impédance interne est augmentée.

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

La figure 2, page 14, indique les valeurs de l'impédance interne du corps humain pour différents trajets exprimées en pourcentage de la valeur pour le trajet main gauche à main droite.

4.2 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 rapidement lorsque le courant augmente. Des marques de courant sont parfois observées.

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 et de la température.

Pour des tensions de contact jusqu'à 50 V environ, 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 respiration, etc.

Pour des tensions de contact supérieures à une valeur comprise entre 50 V et 100 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.

4.3 Impédance totale du corps humain (Z_T)

L'impédance totale du corps humain est constituée d'une composante résistive et d'une composante capacitive.

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 de même 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.

4.4 Résistance initiale du corps humain (R_i)

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_p sont négligeables et la résistance initiale R_i est approximativement égale à l'impédance interne du corps humain Z_i (voir figure 1). R_i dépend principalement du trajet du courant et, dans une moindre mesure, de la surface de contact.

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

4. Characteristics of the impedance of the human body

A circuit diagram for the impedances of the human body is shown in Figure 1, page 14.

4.1 Internal impedance of the human body (Z_i)

The internal impedance of the human body can be considered as mostly resistive. Its value depends principally on the current path and, to a lesser extent, on the surface area of the contact. However, when the surface area of contact is very small, in the order of a few square millimetres, the internal impedance is increased.

Note. — Measurements indicate that a small capacitive component exists (dashed lines in Figure 1).

Figure 2, page 14, shows the internal impedance of the human body for various current paths expressed as percentages of that related to the path hand to hand.

4.2 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.

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 and temperature.

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

For higher touch voltages in the order of approximately 50 V to 100 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.

4.3 Total impedance of the human body (Z_T)

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

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 after breakdown of the skin 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.

4.4 Initial resistance of the human body (R_i)

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

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

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

Les valeurs de l'impédance totale du corps humain indiquées dans le tableau I sont valables pour des êtres vivants, un trajet main à main ou main à pied avec des surfaces de contact importantes (50 cm^2 à 100 cm^2) et 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 normale 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. 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 3, page 15 et pour des tensions de contact jusqu'à 700 V sur la figure 4, page 15.

Les valeurs du tableau I et des figures 3 et 4 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.

TABLEAU I
Impédance totale du corps humain Z_T

Tension de contact (V)	Valeurs de l'impédance totale (Ω) du corps humain qui ne sont pas dépassées par		
	5%	50%	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

Notes 1. — Ces valeurs ont été déterminées comme indiqué dans l'annexe A.

2. — Les valeurs pour des personnes immergées dans l'eau sont à l'étude.

6. Valeur de la résistance initiale du corps humain (R_i)

La valeur de la résistance initiale du corps humain pour un trajet du courant main à main ou main à pied et une surface de contact importante peut être prise égale à 500 Ω , des valeurs inférieures ne pouvant se rencontrer que pour 5% de la population.

5. Values of the total impedance of the human body (Z_T)

The values of the total body impedance given in Table I are valid for living human beings and a current path hand to hand or hand to foot for large contact areas (50 cm^2 to 100 cm^2) and dry conditions.

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

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

The measurements have been made on adults (males and females). The range of the total body impedance for touch voltages up to 5 000 V is presented in Figure 3, page 15, and for touch voltages up to 700 V in Figure 4, page 15.

The values of Table I and Figures 3 and 4 represent at present 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 in the same order.

TABLE I
Total body impedance Z_T

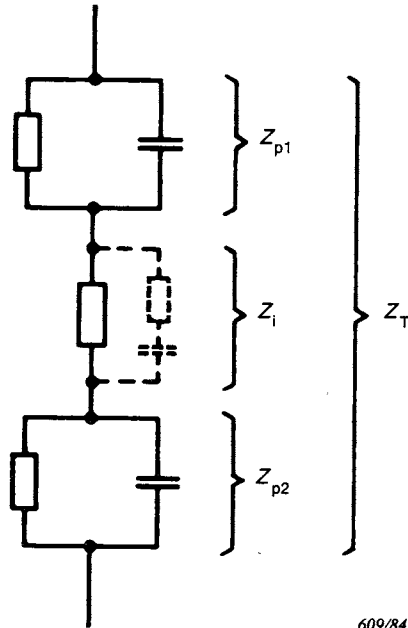
Touch voltage (V)	Values for the total body impedance (Ω) that are not exceeded for a percentage (percentile rank) of		
	5%	50%	95%
25	1 750	3 250	6 100
50	1 450	2 625	4 375
75	1 250	2 200	3 500
100	1 200	1 875	3 200
125	1 125	1 625	2 875
220	1 000	1 350	2 125
700	750	1 100	1 550
1 000	700	1 050	1 500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

Notes 1. — These values have been derived as described in Appendix A.

2. — Values for persons immersed in water are under consideration.

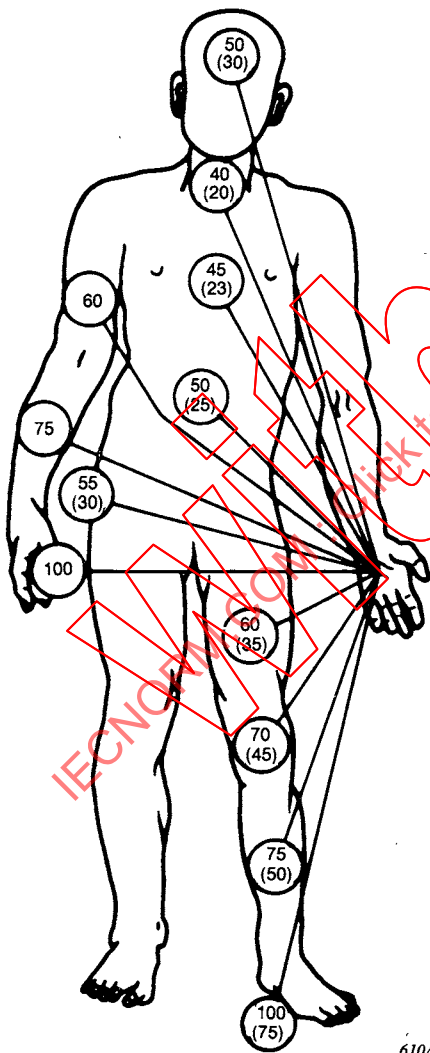
6. Value of the initial resistance of the human body (R_i)

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



Z_i = impédance interne
internal impedance
 Z_{p1}, Z_{p2} = impédances de la peau
impedances of the skin
 Z_T = impédance totale
total impedance

FIG. 1. — Impédances du corps humain.
Impedances of the human body.



Les chiffres indiquent le pourcentage de l'impédance du corps humain pour le trajet correspondant par rapport à celle du trajet main à main.

Les chiffres sans parenthèse correspondent au trajet d'une main à la partie considérée du corps. Les chiffres entre parenthèses correspondent au trajet entre les deux mains et la partie correspondante du corps.

Notes 1. — L'impédance entre une main et les deux pieds est égale à 75% et l'impédance entre les deux mains et les deux pieds est égale à 50% de l'impédance entre les deux mains.

2. — En première approximation, ces valeurs sont également valables pour l'impédance totale du corps humain.

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

The numbers not in brackets refer to the current paths from one hand to the part of the body in question. The numbers in brackets refer to current paths between two hands and the corresponding part of the body.

Notes 1. — The impedance from one hand to both feet is 75% and the impedance from both hands to both feet 50% of the impedance from hand to hand.

2. — As a first approximation the percentages are also valid for the total body impedance.

FIG. 2. — Impédance interne du corps humain en fonction du trajet du courant.
Internal impedance of the human body as a function of the current path.

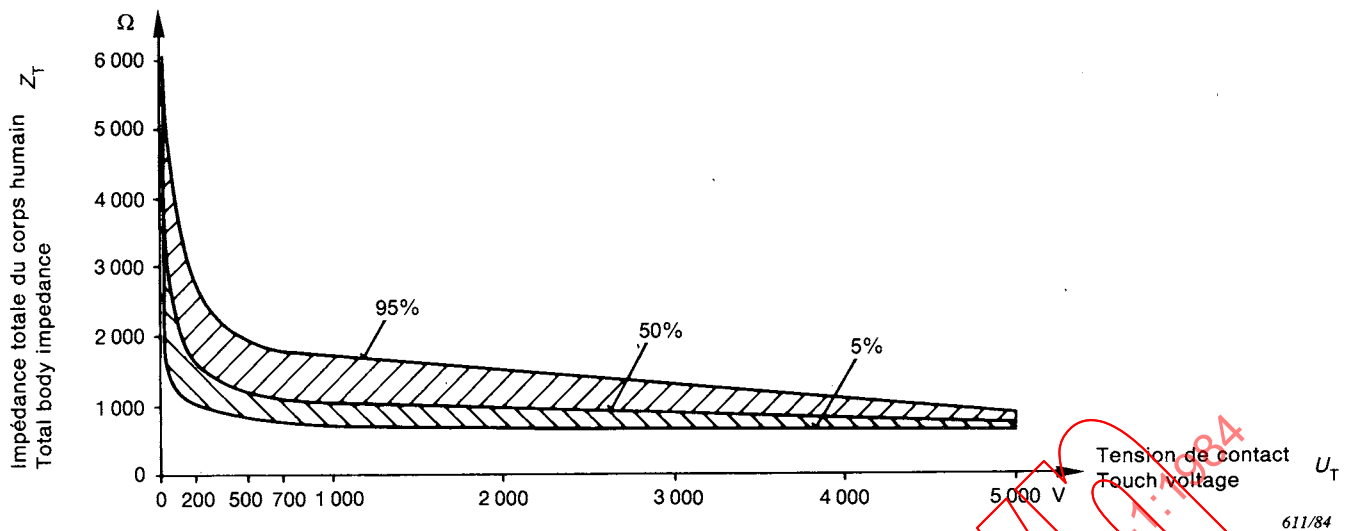


FIG. 3. — Valeurs statistiques de l'impédance totale du corps humain valables pour des êtres vivants, un trajet du courant main à main ou main à pied et des tensions de contact jusqu'à 5 000 V. Statistical values of total body impedances valid for live human beings for the current path hand to hand or hand to foot, for touch voltages up to 5 000 V.

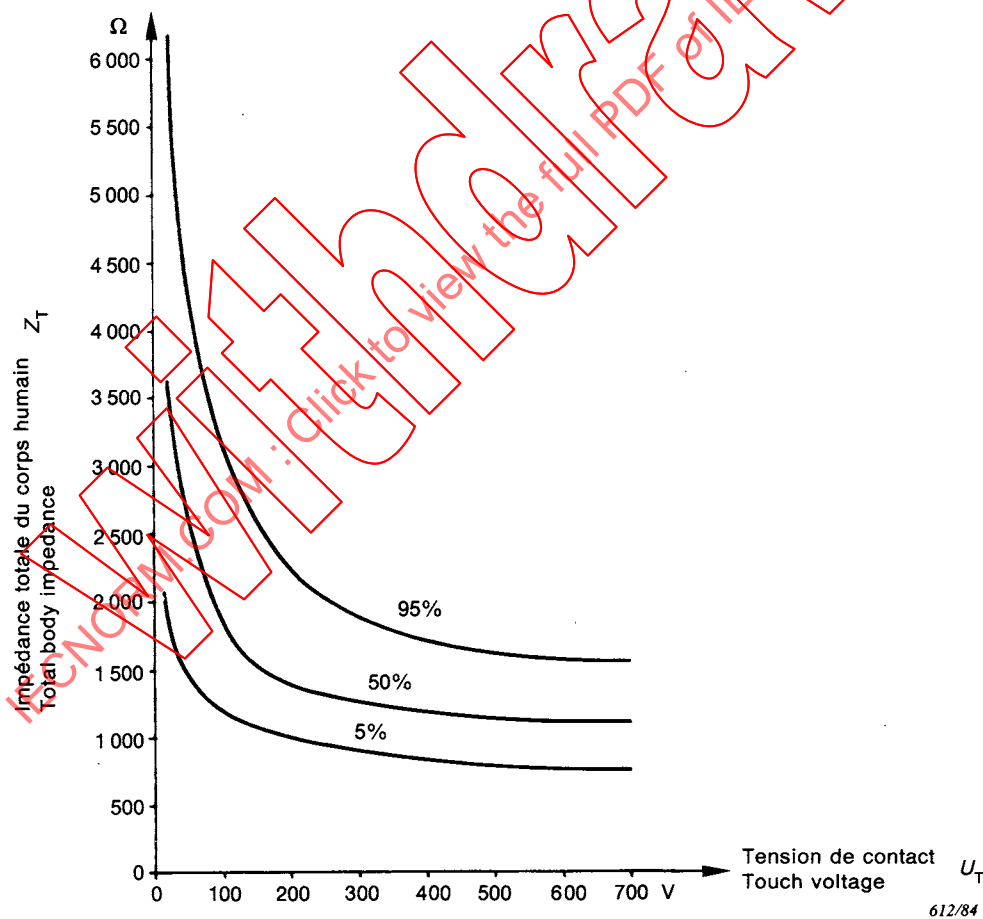


FIG. 4. — Valeurs statistiques de l'impédance totale du corps humain valables pour des êtres vivants, un trajet du courant main à main ou main à pied et des tensions de contact jusqu'à 700 V. Statistical values of total body impedances valid for live human beings for the current path hand to hand or hand to foot, for touch voltages up to 700 V.

ANNEXE A

MESURES EFFECTUÉES SUR DES SUJETS VIVANTS ET SUR DES CADAVRES ET EXPLOITATION STATISTIQUE DES RÉSULTATS

Afin d'obtenir des valeurs réalistes de l'impédance totale du corps humain de sujets vivants, la procédure suivante a été utilisée :

1. Des mesures ont été effectuées sur 50 personnes vivantes à une tension de contact de 15 V et sur 100 personnes à 25 V avec un trajet du courant main à main et des électrodes importantes (environ 80 cm²) dans des conditions sèches.

Les valeurs de l'impédance totale du corps humain pour 5%, 50% et 95% de la population ont été déterminées par deux méthodes statistiques indépendantes qui ont donné sensiblement les mêmes résultats.

Les mesures ont été effectuées 0,1 s après l'application de la tension.

2. Des mesures ont été effectuées sur une personne vivante, dans les conditions du point 1 ci-dessus, avec des tensions de contact jusqu'à 150 V et en outre avec des durées de choc jusqu'à 0,03 s pour des tensions de contact jusqu'à 200 V.

3. Des mesures ont été effectuées sur un grand nombre de cadavres dans des conditions analogues au point 1 ci-dessus, avec un trajet du courant main à main et main à pied avec de grandes électrodes (environ 90 cm²) pour des tensions de contact de 25 V à 5 000 V dans des conditions sèches et mouillées. Les valeurs de l'impédance totale du corps humain pour 5%, 50% et 95% de la population ont été déterminées comme au point 1.

Les mesures ont été effectuées 3 s après l'application de la tension.

4. Les mesures de l'impédance totale des cadavres (point 3 ci-dessus) pour des tensions de contact jusqu'à 220 V ont montré des valeurs de l'impédance de la peau trop élevées et ont été modifiées en adaptant les courbes aux valeurs mesurées sur des personnes vivantes.

5. La différence entre les trajets du courant main à main et main à pied peut être négligée dans la pratique.

APPENDIX A

MEASUREMENTS MADE ON LIVING AND DEAD HUMAN BEINGS AND THE STATISTICAL ANALYSIS OF THE RESULTS

In order to obtain realistic values for the total body impedance of living human beings, the following procedure was applied:

1. Measurements were made on 50 living persons at a touch voltage of 15 V and on 100 living persons at 25 V with a current path hand to hand with large electrodes (approximately 80 cm²) in dry conditions.

The values for the total body impedances for a percentile rank of 5%, 50% and 95% were determined by two independent statistical methods which gave nearly the same results.

The measurements were made 0.1 s after applying the voltage.

2. The total body impedance of one living person was measured under the conditions of Item 1 above with touch voltages up to 150 V and in addition with shock durations up to 0.03 s for touch voltages up to 200 V.
3. Measurements were made on a large number of corpses under conditions similar to Item 1 above for current paths hand to hand and hand to foot with large electrodes (approximately 90 cm²) for touch voltages of 25 V to 5 000 V in dry and wet conditions. The values for the total body impedances for a percentile rank of 5%, 50% and 95% were determined as in Item 1.

The measurements were made 3 s after applying the voltage.

4. The total body impedances measured with corpses (Item 3 above) which for touch voltages up to 220 V showed excessively high skin impedances were modified by adjusting the curves to the values measured on living persons.
 5. The difference between current paths hand to hand and hand to foot proved to be negligible for practical purposes.
-

CHAPITRE 2: EFFETS DU COURANT ALTERNATIF DE FRÉQUENCE COMPRISE ENTRE 15 Hz et 100 Hz

1. Généralités

Ce chapitre 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.

Ce chapitre considère principalement le risque de fibrillation ventriculaire du cœur qui est, dans cette gamme de fréquences, la cause essentielle des accidents mortels.

2. Domaine d'application

Ce chapitre 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. Définitions

3.1 *Seuil de perception*

Valeur minimale du courant qui provoque une sensation pour une personne à travers laquelle ce courant passe.

3.2 *Seuil de non-lâcher*

Valeur maximale du courant pour laquelle une personne tenant des électrodes peut les lâcher.

3.3 *Seuil de fibrillation ventriculaire*

Valeur minimale du courant qui provoque la fibrillation ventriculaire.

3.4 *Facteur de courant de cœur*

Rapport de l'intensité du champ électrique dans le cœur pour un trajet donné du courant au champ électrique dans le cœur pour un courant de même intensité suivant le trajet de la main gauche aux deux pieds.

Note. — Dans le cœur, la densité du courant est proportionnelle à l'intensité du champ électrique.

3.5 *Période vulnérable*

La période vulnérable concerne une partie relativement petite du cycle cardiaque pendant laquelle les fibres du cœur 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% à 20% du cycle cardiaque (voir figures 6 et 7, page 28).

CHAPTER 2: EFFECTS OF ALTERNATING CURRENT IN THE RANGE OF 15 Hz TO 100 Hz

1. General

This chapter is primarily based on the findings related to the effects of currents 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 and 60 Hz.

This chapter considers principally the risk of ventricular fibrillation which is the main cause of fatal accidents in that range of frequencies.

2. Scope

This chapter describes the effects of 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. Definitions

3.1 *Threshold of perception*

The minimum value of current which causes any sensation for the person through which it is flowing.

3.2 *Threshold of let-go*

The maximum value of current at which a person holding electrodes can let go of the electrodes.

3.3 *Threshold of ventricular fibrillation*

The minimum value of current which causes ventricular fibrillation.

3.4 *Heart current factor*

The heart current factor relates the electric field strength in the heart for a given current path to the electric field strength in the heart for a current of equal magnitude flowing from left hand to feet.

Note. — In the heart, the current density is proportional to the electric field strength.

3.5 *Vulnerable period*

The 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% to 20% of the cardiac cycle (see Figures 6 and 7, page 29).

4. Effets du courant

4.1 Seuil de perception

Le seuil de perception dépend de plusieurs paramètres, tels que la surface du corps, du 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, quel que soit le temps.

4.2 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.

4.3 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, forme 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 et se produit fréquemment pour des courants d'intensité de l'ordre de quelques ampères 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 a été établie au-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 déduite de résultats expérimentaux.

4.4 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 cœur.

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 cœur y compris la fibrillation auriculaire et l'arrêt provisoire du cœur peuvent se produire sans fibrillation ventriculaire. De tels effets ne sont pas mortels et sont habituellement réversibles. Des marques de courant peuvent se produire.

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

4. Effects of current

4.1 *Threshold of perception*

The threshold of perception depends 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 report.

4.2 *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.

A value of about 10 mA is assumed in this report.

4.3 *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, kind of current etc.).

With 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 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 was constructed 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 derived from experimental results.

4.4 *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.

Patho-physiological 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 non-lethal and usually reversible; current marks may occur.

With currents of several amperes, heavy burns resulting in serious injury and even death are likely to occur.

4.5 Description des zones (voir figure 5, page 26)

TABLEAU II

Zones	Effets physiologiques
Zone 1	Habituellement aucune réaction.
Zone 2	Habituellement aucun effet physiologique dangereux.
Zone 3	Habituellement aucun dommage organique. Probabilité de contractions musculaires et de difficultés de respiration, de perturbations réversibles dans la formation et la propagation des impulsions dans le cœur, y compris la fibrillation auriculaire et des arrêts temporaires du cœur sans fibrillation ventriculaire, augmentant avec l'intensité du courant et le temps.
Zone 4	En plus des effets de la zone 3, probabilité de la fibrillation ventriculaire augmentant jusqu'à environ 5% (courbe c_2), jusqu'à environ 50% (courbe c_3) et plus de 50% au-delà de la courbe c_3 . Augmentant avec l'intensité et le temps, des effets pathophysiologiques tels qu'arrêt du cœur, arrêt de la respiration, brûlures graves peuvent se produire.

4.6 Expériences avec des tensions inférieures ou égales à 50 V en courant alternatif (valeur efficace)

Des réponses de plusieurs pays à un questionnaire, il ressort qu'il n'y a pas d'évidence probante permettant de conclure que dans l'un de ces pays des accidents électriques se soient produits dans des circonstances habituelles à des tensions d'alimentation inférieures ou égales à 50 V en courant alternatif (valeur efficace) et qui auraient été provoqués par un courant passant à travers le corps et entraînant des blessures graves.

5. Application du facteur de courant de cœur

Le facteur de courant de cœur 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 5, page 26.

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

où :

I_{ref} est le courant «main gauche aux deux pieds» donné sur la figure 5

I_h étant le courant passant par le corps pour les trajets indiqués dans le tableau III

F étant le facteur de courant de cœur

Note. — Le facteur de courant de cœur 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 cœur a la valeur indiquée dans le tableau III.

4.5 Description of zones (see Figure 5, page 27)

TABLE II

Zones	Physiological effects
Zone 1	Usually no reaction effects.
Zone 2	Usually no harmful physiological effects.
Zone 3	Usually no organic damage to be expected. Likelihood of muscular contractions and difficulty in breathing, 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.
Zone 4	In addition to the effects of Zone 3, probability of ventricular fibrillation increasing up to about 5% (curve c_2), up to about 50% (curve c_3) and above 50% beyond curve c_3 . Increasing with magnitude and time, pathophysiological effects such as cardiac arrest, breathing arrest and heavy burns may occur.

4.6 Experience with voltages not exceeding 50 V r.m.s. a.c.

From the replies given by several countries to a questionnaire it appears that there is no conclusive evidence in any of those countries of electrical accidents occurring under usual circumstances at supply voltages not exceeding 50 V r.m.s. a.c. and caused by a current passing through the body that led to serious injury.

5. Application of heart-current factor

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 5, page 27.

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

where:

I_{ref} is the body current for path "left hand to feet" given in Figure 5

I_h is the body current for paths given in Table III

F is the heart-current factor

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 III.

TABLEAU III
Facteurs de courant de cœur pour différents trajets du courant

Trajet du courant	Facteur de courant de cœur
Main gauche au pied gauche, au pied droit ou aux deux pieds	1,0
Deux mains aux deux pieds	1,0
Main gauche à 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

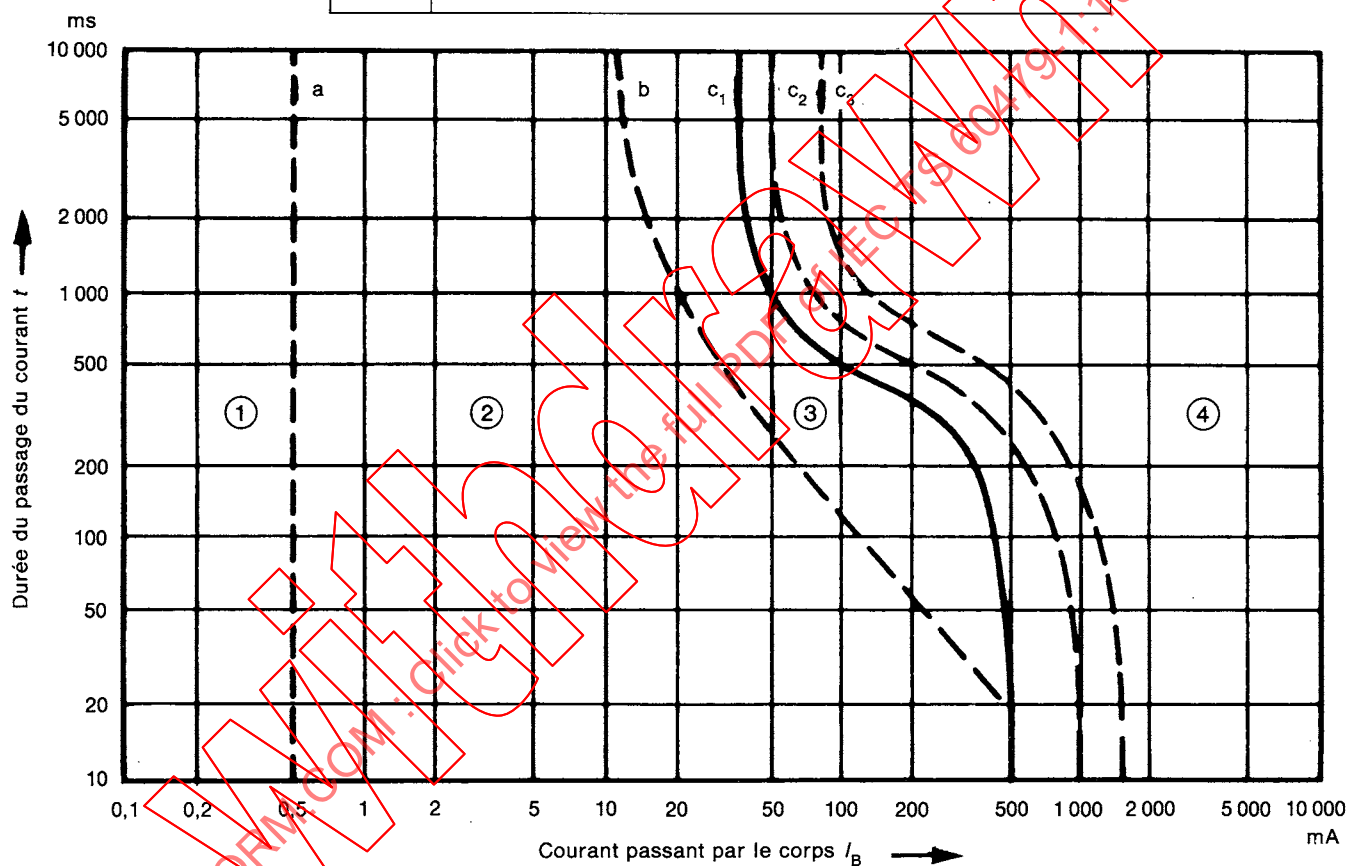
Par exemple, un courant de 200 mA main à main a le même effet qu'un courant de 80 mA main gauche aux pieds.

TABLE III
Heart-current factor for different current paths

Current path	Heart-current factor
Left hand to left foot, right foot or feet	1.0
Both hands to feet	1.0
Left hand to right hand	0.4
Right hand to left foot, right foot or 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

For example a current of 200 mA hand to hand has the same effect as a current of 80 mA left hand to feet.

Zones	Effets physiologiques
Zone 1	Habituellement aucune réaction.
Zone 2	Habituellement aucun effet physiologique dangereux.
Zone 3	Habituellement aucun dommage organique. Probabilité de contractions musculaires et de difficultés de respiration, de perturbations réversibles dans la formation et la propagation des impulsions dans le cœur, y compris la fibrillation auriculaire et des arrêts temporaires du cœur sans fibrillation ventriculaire, augmentant avec l'intensité du courant et le temps.
Zone 4	En plus des effets de la zone 3, probabilité de la fibrillation ventriculaire augmentant jusqu'à environ 5% (courbe c_2), jusqu'à environ 50% (courbe c_3) et plus de 50% au-delà de la courbe c_3 . Augmentant avec l'intensité et le temps, des effets pathophysiologiques tels qu'arrêt du cœur, arrêt de la respiration, brûlures graves peuvent se produire.

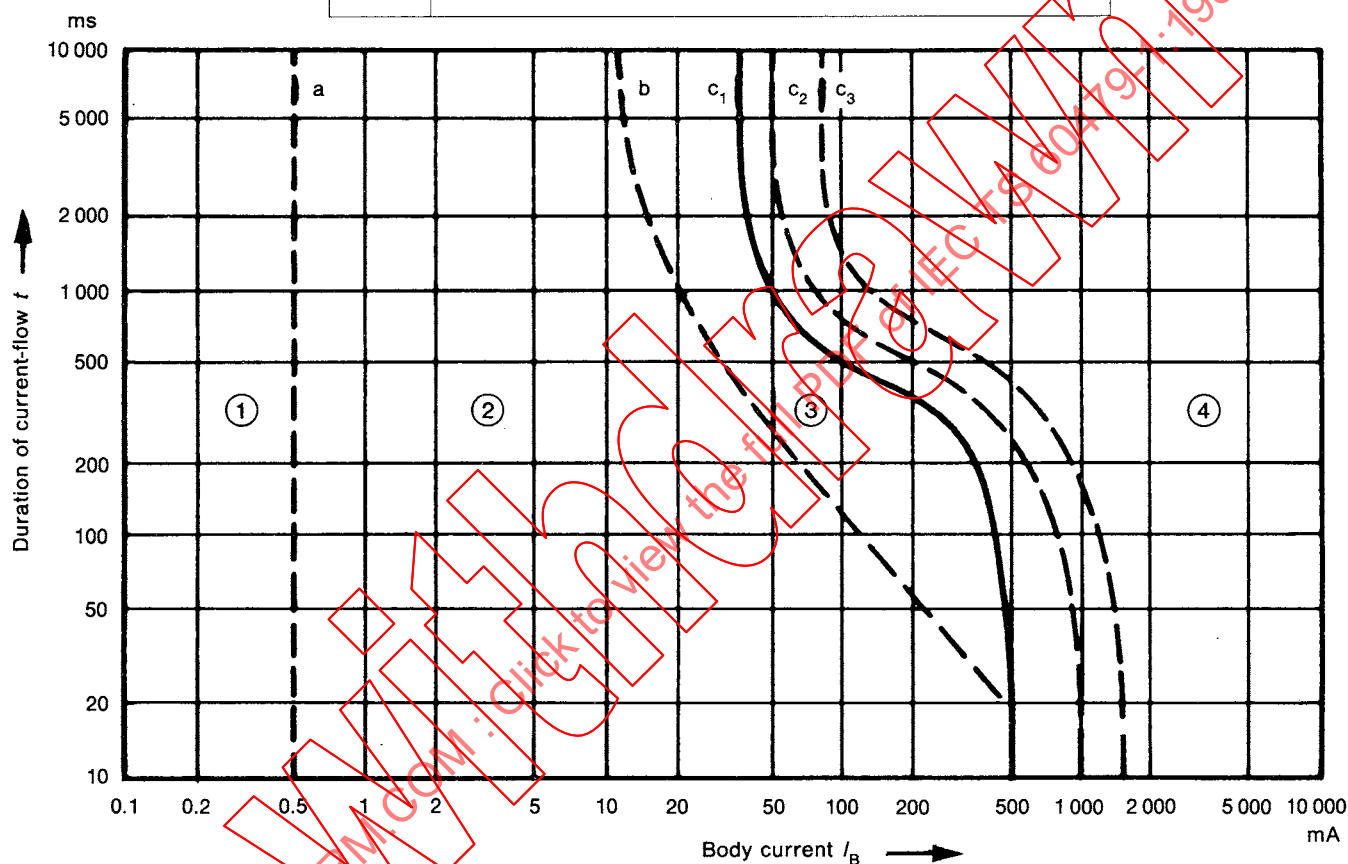


Notes 1. — En ce qui concerne la fibrillation ventriculaire, cette figure se rapporte aux effets du courant qui passe dans le trajet «main gauche aux deux pieds». Pour d'autres trajets du courant, voir article 5 et tableau III.

2. — Le point 500 mA/100 ms correspond à une probabilité de fibrillation de l'ordre de 0,14%.

FIG. 5. — Zones temps/courant des effets du courant alternatif (15 Hz à 100 Hz) sur des personnes.

Zones	Physiological effects
Zone 1	Usually no reaction effects.
Zone 2	Usually no harmful physiological effects.
Zone 3	Usually no organic damage to be expected. Likelihood of muscular contractions and difficulty in breathing, 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.
Zone 4	In addition to the effects of Zone 3, probability of ventricular fibrillation increasing up to about 5% (curve c_2), up to about 50% (curve c_3) and above 50% beyond curve c_3 . Increasing with magnitude and time, pathophysiological effects such as cardiac arrest, breathing arrest and heavy burns may occur.



Notes 1. — As regards ventricular fibrillation, this figure relates to the effects of current which flows in the path "left hand to feet". For other current paths, see Clause 5 and Table III.

2. — The point 500 mA/100 ms corresponds to a fibrillation probability in the order of 0.14%.

FIG. 5. — Time/current zones of effects of a.c. currents (15 Hz to 100 Hz) on persons.

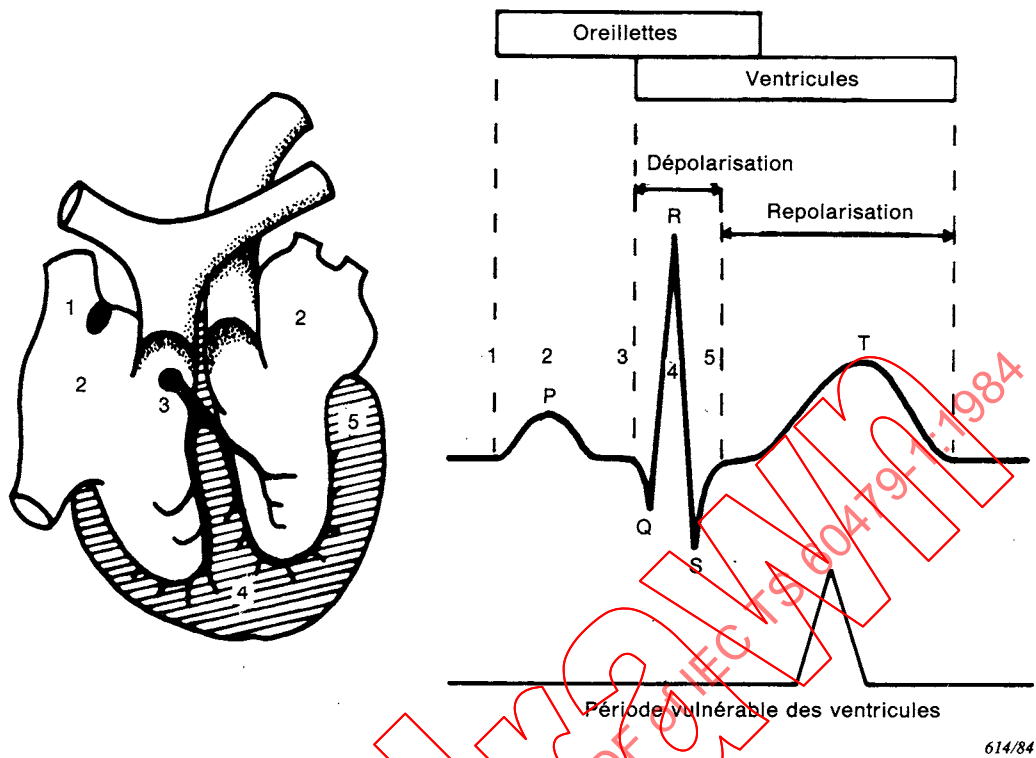


FIG. 6. — Situation de la période vulnérable des ventricules pendant le cycle cardiaque. Les chiffres caractérisent les étapes consécutives de la repolarisation.

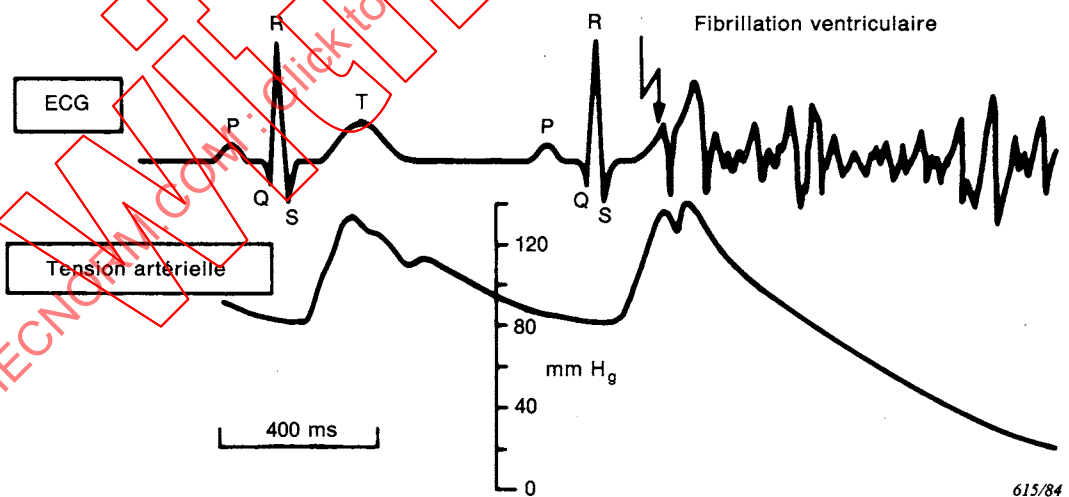


FIG. 7. — Déclenchement de la fibrillation ventriculaire dans la période vulnérable. Effets sur l'électrocardiogramme (ECG) et la tension artérielle.

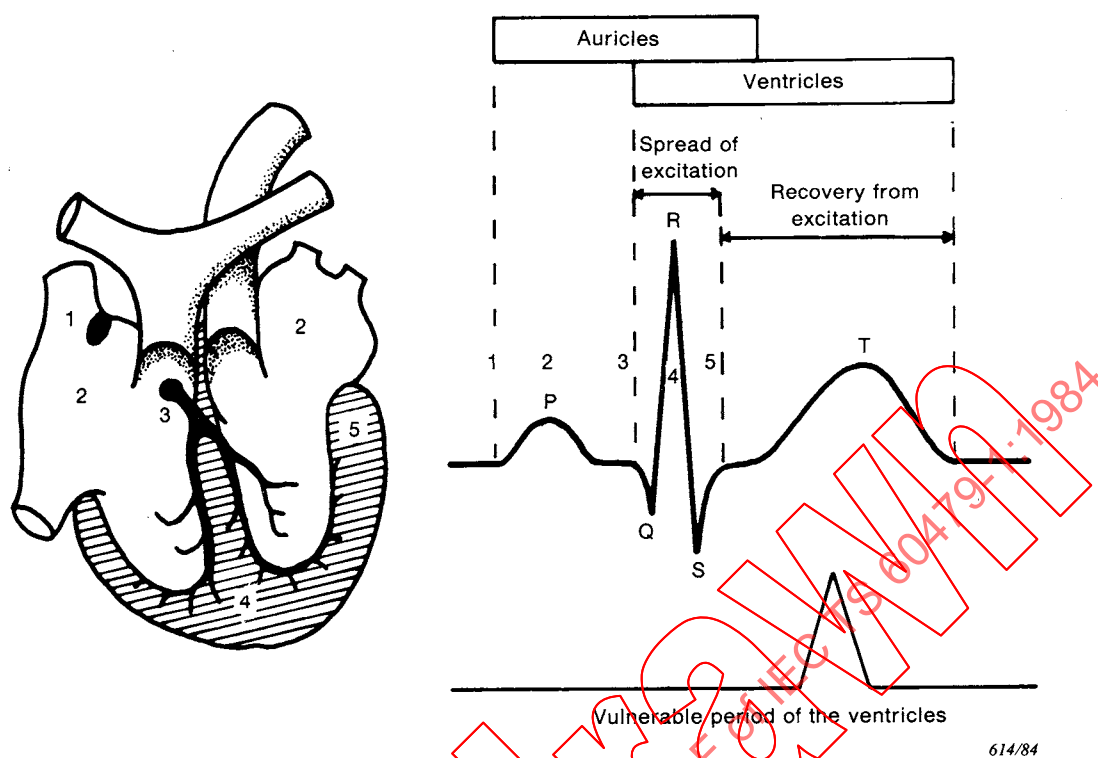


FIG. 6. — Occurrence of the vulnerable period of ventricles during the cardiac cycle.
The numbers designate the subsequent stages of propagation of the excitation.

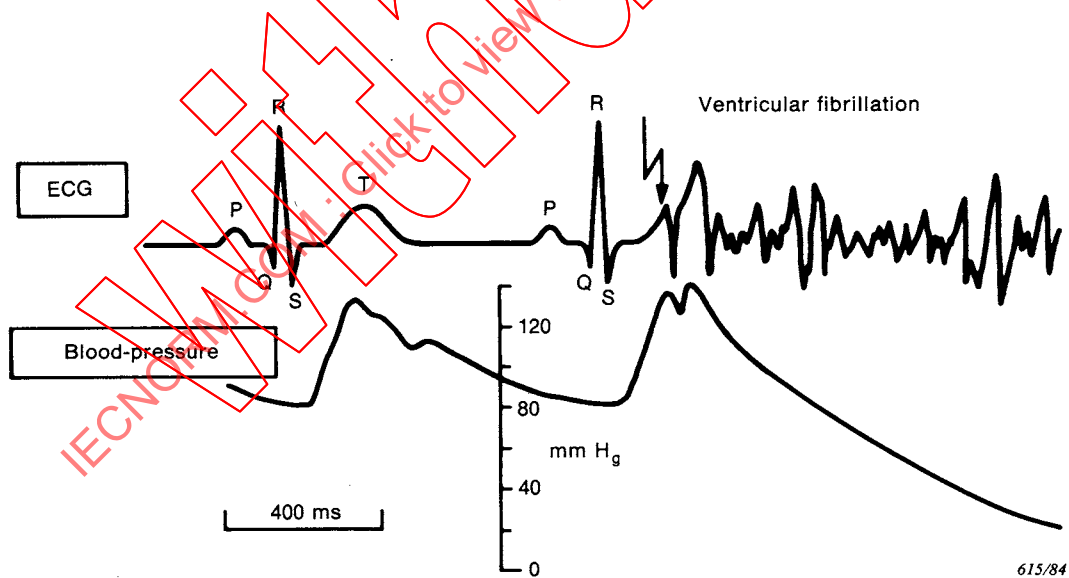


FIG. 7. — Triggering of ventricular fibrillation in the vulnerable period.
Effects on electrocardiogram (ECG) and blood-pressure.

CHAPITRE 3: EFFETS DU COURANT CONTINU

1. Généralités

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 produisent seulement dans des conditions très défavorables, par exemple dans des mines. Cela est dû en partie au fait qu'en courant continu il est moins difficile de lâcher des parties tenues à la main et 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. 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.

2. Domaine d'application

Ce chapitre 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 n'est pas supérieur à 15% entre valeurs de crête.

2. — L'influence des ondulations est traitée dans le chapitre 5.

3. Définitions

En plus de celles qui sont données dans le chapitre 2, les définitions suivantes s'appliquent dans le cadre du présent chapitre.

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, le facteur d'équivalence est approximativement égal à:

$$k = \frac{I_{cc-fibrillation}}{I_{ca-fibrillation, eff.}} = \frac{300 \text{ mA}}{80 \text{ mA}} = 3,75$$

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.

3.3 Courant transversal

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

3.4 Courant montant

Courant continu à travers le corps humain pour lequel les pieds représentent le pôle positif.

3.5 Courant descendant

Courant continu à travers le corps humain pour lequel les pieds représentent le pôle négatif.