

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RAPPORT DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC REPORT

Publication 479

Première édition — First edition

1974

Effets du courant passant par le corps humain

Effects of current passing through the human body



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

Révision de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la Commission 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 obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
Publié trimestriellement
- **Rapport d'activité de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement

Terminologie utilisée dans la présente publication

Seuls sont définis ici les termes spéciaux se rapportant à la présente publication.

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.), 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 V.E.I. peuvent être obtenus sur demande.

Symboles graphiques et littéraux

Seuls les symboles graphiques et littéraux spéciaux sont inclus dans la présente publication.

Le recueil complet des symboles graphiques approuvés par la CEI fait l'objet de la Publication 117 de la CEI.

Les symboles littéraux et autres signes approuvés par la CEI font l'objet de la Publication 27 de la CEI.

Autres publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur la page 3 de la couverture, qui énumère les autres 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**
Published quarterly
- **Report on IEC Activities**
Published yearly
- **Catalogue of IEC Publications**
Published yearly

Terminology used in this publication

Only special terms required for the purpose of this publication are defined herein.

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.), 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 I.E.V. will be supplied on request.

Graphical and letter symbols

Only special graphical and letter symbols are included in this publication.

The complete series of graphical symbols approved by the IEC is given in IEC Publication 117.

Letter symbols and other signs approved by the IEC are contained in IEC Publication 27.

Other IEC publications prepared by the same Technical Committee

The attention of readers is drawn to the inside of the back cover, which lists other IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RAPPORT DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC REPORT

Publication 479

Première édition — First edition

1974

Effets du courant passant par le corps humain

Effects of current passing through the human body



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

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

EFFETS DU COURANT PASSANT PAR LE CORPS HUMAIN

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 préparé par le Comité d'Etudes N° 64 de la CEI: Installations électriques des bâtiments.

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 de 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.

Les éléments rassemblés dans ce rapport sont basés sur une longue recherche dans la littérature et sur l'évaluation des réponses reçues à un questionnaire.

Les données reproduites ici ont été examinées par le Comité d'Etudes N° 64 à ses réunions tenues à Londres en 1971 et à Athènes en 1972. Elles peuvent être considérées comme un résumé des connaissances actuelles sur les effets physiopathologiques des courants alternatifs sinusoïdaux et des courants continus sur les adultes, mais elles pourront être sujettes à certaines modifications dues aux idées nouvelles auxquelles des recherches complémentaires pourraient conduire.

Un projet de cette publication, document 64(Bureau Central)24, a été soumis aux Comités nationaux pour approbation suivant la Règle des Six Mois en avril 1973.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Afrique du Sud
(République d')
Allemagne
Australie
Autriche
Canada
Etats-Unis d'Amérique
France
Hongrie
Italie
Japon

Pays-Bas
Portugal
Roumanie
Royaume-Uni
Suède
Suisse
Tchécoslovaquie
Turquie
Union des Républiques
Socialistes Soviétiques
Venezuela

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

EFFECTS OF CURRENT PASSING THROUGH THE HUMAN BODY

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 recommendations 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.

The form of a 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 facts collected in this report are based on an extensive search in literature and on the evaluation of replies received to a questionnaire.

The information given here was discussed by Technical Committee No. 64 at its meetings held in London in 1971 and in Athens in 1972. It can be considered as a survey of the present knowledge on pathophysiological effects of sinusoidal a.c. and sustained d.c. currents on adult persons, but may be subject to certain alterations in the future as further investigation will bring out new findings.

A draft of this publication, document 64(Central Office)24, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in April 1973.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Romania
Austria	South Africa
Canada	(Republic of)
Czechoslovakia	Sweden
France	Switzerland
Germany	Turkey
Hungary	Union of Soviet
Italy	Socialist Republics
Japan	United Kingdom
Netherlands	United States of America
Portugal	Venezuela

EFFETS DU COURANT PASSANT PAR LE CORPS HUMAIN

1. Introduction

En vue d'éviter des erreurs fondamentales dans l'interprétation de ce rapport, il doit être souligné que les données rassemblées ici montrent l'aspect purement médical des effets du courant passant à travers le corps humain. Elles sont destinées à servir de base à l'établissement des prescriptions de sécurité du point de vue de l'ingénierie. Toutefois, elles constituent seulement un des aspects à prendre en considération; la probabilité de défauts, la probabilité de contacts avec des parties actives ou des parties en défaut, le rapport entre la tension de contact présumée et la tension de défaut, l'expérience acquise, les possibilités techniques et économiques peuvent être d'autres facteurs. Ces paramètres doivent être soigneusement pris en considération et estimés en établissant les prescriptions de sécurité, par exemple les caractéristiques de fonctionnement des dispositifs de protection dans les installations électriques.

2. Définition du courant de lâcher

Valeur maximale du courant pouvant être supporté par une personne tenant une électrode et pouvant lâcher cette électrode par action des muscles directement excités par ce courant.

3. Zones temps/courant en courant alternatif de 50/60 Hz

Le diagramme de l'Annexe A est basé sur les conditions suivantes considérées comme normales:

- personnes pesant au moins 50 kg,
- passage du courant par les extrémités.

Dans ces conditions, aucune réaction n'est à attendre dans la zone 1. Dans la zone 2, une réaction peut se produire, mais aucun effet physiopathologique dangereux n'est à craindre. La courbe *b* séparant les zones 2 et 3 correspond à la relation:

$$I = I_1 + \frac{10}{t}$$

où:

I = courant en mA, exprimé en valeur efficace,

*I*₁ = courant de lâcher, exprimé en valeur efficace (pris égal à 10 mA),

t = temps en secondes.

La zone 3 ne présente habituellement aucun risque de fibrillation cardiaque (ventriculaire) tandis que ce risque existe dans la zone 4. Enfin, dans la zone 5, le déclenchement de la fibrillation cardiaque (ventriculaire) est probable. De plus, il convient de noter qu'en cas de courant de durée prolongée, un risque d'asphyxie existe à partir de la zone 3.

Les effets à l'intérieur de chaque zone s'aggravent en fonction des intensités de courant, c'est-à-dire qu'il y a une évolution continue entre les différentes zones.

4. Zones temps/courant en courant continu

Tandis que pour le courant alternatif une grande quantité de données rassemblées par de nombreux auteurs était disponible, il était beaucoup plus difficile d'établir un diagramme des effets du courant continu. Il n'a pas été possible d'établir un diagramme définissant les différentes zones à partir des résultats d'essais, du fait qu'en général ceux-ci n'étaient pas directement comparables.

La limite de la zone 1 (voir Annexe B) représentée par la ligne verticale à 2 mA est bien connue dans la littérature. L'établissement de la limite supérieure de la zone 2 tient compte d'une particularité qui provient de plusieurs études comparant les risques en courant alternatif et en courant continu, à savoir que le rapport entre les valeurs en courant

EFFECTS OF CURRENT PASSING THROUGH THE HUMAN BODY

1. Introduction

In order to avoid fundamental errors in the interpretation of this report, it must be emphasized that the data given herein represent a purely medical aspect of effects of current passing through a body. They are intended to serve as a basis for establishing safety requirements from an engineering point of view. They are, however, only one of the aspects to be taken into account; others may be probability of faults, probability of contact with live or faulty parts, ratio between prospective touch voltage and fault voltage, experience gained, technical feasibilities and economics. These parameters have to be carefully considered and weighed when fixing safety requirements, e.g. operating characteristics of protective devices for electrical installations.

2. Definition of the let-go current

The maximum current a person can tolerate when holding an electrode and still let go of this electrode using muscles directly stimulated by that current.

3. Time/current zones for a.c. 50/60 Hz

The diagram shown in Appendix A is based on the assumption of the following normal conditions:

- persons of at least 50 kg weight,
- pathway of the current through the extremities

Under these conditions in Zone 1 no reaction is to be expected. In Zone 2, reaction may occur, but usually no patho-physiologically dangerous effects are to be expected. Curve *b* separating Zones 2 and 3 corresponds to the formula:

$$I = I_1 + \frac{10}{t}$$

where:

- I = r.m.s. current in mA,
- I_1 = r.m.s. let-go current (taken as 10 mA),
- t = time in seconds.

In Zone 3 usually no risk of ventricular fibrillation exists whereas in Zone 4 such a risk does exist. Finally, in Zone 5 the onset of ventricular fibrillation is probable. Further, it is to be noted that in the case of longer durations of the current flow, in Zone 3 and above there is a risk of asphyxia.

Within each zone, the effects increase with increasing current, i.e. there is a steady transition between the various zones.

4. Time/current zones for d.c.

Whereas for a.c. a considerable amount of data collected by numerous authors was available, for d.c. the task of establishing a diagram of the effects of currents was much more difficult. Due to the fact that the test data were in general not directly comparable, they could not be plotted in a common diagram in order to define the various zones.

In Appendix B, the limit of Zone 1 presented by the vertical line at 2 mA is well proven in literature. For establishing the upper limit of Zone 2 a particular aspect was taken into account which follows from several investigations describing a comparison between the risk of a.c. and d.c., viz. that the ratio of d.c. values to a.c. values causing the

alternatif et en courant continu correspondant au même risque est grand dans la zone des faibles courants et des longues durées (environ 4 pour un temps de 10 s) et petit dans la zone des courants élevés et des courtes durées (environ 1 pour un temps de 10 ms). Ces conditions peuvent être représentées approximativement par la formule

$$I_{dc} = I_{ac} \cdot \log_{10} t$$

où :

t est exprimé en millisecondes (limité au domaine de 10 ms à 10 000 ms),

I_{ac} est exprimé en valeur efficace.

Sur la base de cette règle, la courbe correspondante b du diagramme pour le courant alternatif a été transformée en courbe B du diagramme pour le courant continu.

En ce qui concerne les autres courbes C et D , elles ont été déduites des données fournies par Knickerbocker dans son exposé sur les paramètres de fibrillation des courants continu et alternatif (20 Hz) séparément et en combinaison. Ces valeurs se référant à des chiens d'un poids moyen entre 10 kg et 16 kg, elles peuvent être considérées comme ne constituant pas de danger pour les adultes. D'autres recherches sont nécessaires à ce sujet.

5. Effets des courants de faible intensité en fonction de la fréquence

Pour l'instant, il n'est pas possible d'établir un diagramme analogue à celui défini pour les fréquences 50/60 Hz (courant alternatif). Le diagramme de l'Annexe C peut contribuer à l'évaluation des dangers pour différentes fréquences.

6. Résistance du corps humain

Pour un même trajet du courant à travers le corps humain, le danger qu'encourent les personnes dépend de la valeur du courant. Toutefois, les zones temps/courant ne conviennent pas pour la conception pratique des installations et il est souvent plus commode, pour cet usage, de définir les prescriptions pratiques de sécurité par la valeur de la tension en fonction du temps. Dans ce but, certaines valeurs de résistance du corps humain doivent être prises en considération. La relation entre le courant et la tension n'est pas linéaire du fait que la résistance du corps humain varie avec la tension de contact. A la suite d'un examen minutieux des résultats expérimentaux disponibles, les valeurs suivantes de la résistance du corps humain peuvent être admises dans les conditions conventionnelles :

Tension de contact (V)	Résistance du corps humain Ω
25	2 500
50	2 000
250	1 000
valeur asymptotique	650

Ces valeurs sont valables pour le courant alternatif jusqu'à 100 Hz et pour le courant continu.

Dans cet ordre d'idées, on entend par « conditions conventionnelles » la situation dans laquelle l'accident le plus probable est celui qui fait passer le courant soit d'une main à l'autre, soit d'une main à un pied. Les valeurs indiquées ci-dessus sont les valeurs minimales probables admises conventionnellement. Les valeurs minimales de la résistance du corps humain à peau sèche (aucune humidité, y compris sueur) correspondent approximativement au double des valeurs indiquées ci-dessus. La résistance du corps est également plus élevée si la surface de contact avec l'élément sous tension est restreinte et que cet élément n'est pas serré dans la main. Des valeurs moins élevées doivent être prises en considération si le courant ne passe pas à travers les extrémités ou si le corps est complètement immergé.

7. Expérience avec des tensions inférieures ou égales à 50 V en courant alternatif (valeur efficace) et à 75 V en courant continu

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 se soient produits dans des circonstances habituelles à des tensions d'alimentation inférieures ou égales à 50 V en courant alternatif (valeur efficace) ou à 75 V en courant continu et qui auraient été provoqués par un courant passant à travers le corps et entraînant des blessures graves.

same risk is high in the range of comparatively low currents and long times (about 4 for a duration of 10 s) and low in the range of high currents and short times (about 1 for a duration of 10 ms). These conditions can be represented approximately by the following formula:

$$I_{dc} = I_{ac} \cdot \log_{10} t$$

where:

t is in milliseconds (restricted to the range of 10 ms to 10 000 ms),

I_{ac} is the r.m.s. value.

According to this formula, the corresponding curve b of the diagram for a.c. was converted into curve B of the diagram for d.c.

Curves C and D were reproduced from the data given by Knickerbocker in his paper "Fibrillating parameters of direct and alternating (20 Hz) currents separately and in combination". As these values refer to dogs with an average weight between 10 kg and 16 kg they can be considered to be on the safe side for adult persons. Further investigation is necessary.

5. Effects of low currents as a function of frequency

It is at present not possible to give a diagram for higher frequencies similar to that for 50/60-Hz a.c. The diagram reproduced in Appendix C may help in the evaluation of risks for different frequencies.

6. Resistance of the human body

For a given path through the human body the danger to persons depends on the value of the current. However, the time/current zones are inconvenient for application to the practical design of installations, and it will often be more directly useful to the designer if practical safety requirements are specified in terms of voltage as a function of time. For this purpose, certain values of body resistance must be taken into consideration. The relationship of current to voltage is not linear because body resistance varies with the touch voltage. After careful examination of existing experimental results, the following values of body resistance can be assumed for this purpose, for conventional conditions:

Touch voltage (V)	Body resistance Ω
25	2 500
50	2 000
250	1 000
asymptotic value	650

These values apply to a.c. up to 100 Hz, and to d.c.

Conventional conditions in this respect mean a situation where the most probable accident is hand to hand or hand to foot. The values given above are the lowest probable values to be assumed conventionally. The minimum values for body resistance with dry skin (no moisture present including perspiration) are approximately double the values reported above. A higher body resistance can also be assumed if the area of contact between body and conductive part is restricted and the conductive part is not gripped. Lower values must be taken into account if the current does not pass through the extremities, or if the whole body is immersed.

7. Experience with voltages not exceeding 50 V r.m.s. a.c. or 75 V d.c.

From the replies given by several countries to a questionnaire, it appeared that there is no conclusive evidence in any of those countries of accidents occurring under usual circumstances at supply voltages not exceeding 50 V r.m.s. a.c. or 75 V d.c. and caused by a current passing through the body that led to serious injury.

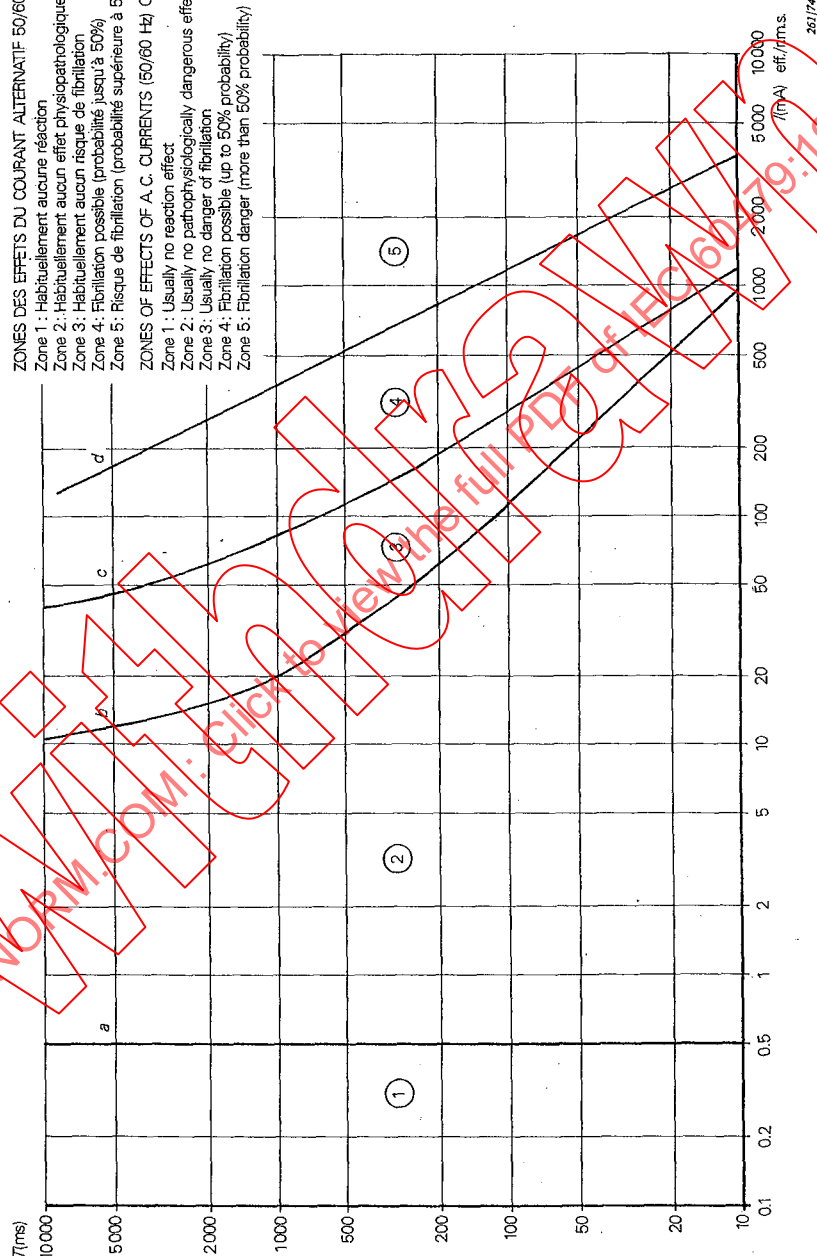
ANNEXE A — APPENDIX A

ZONES DES EFFETS DU COURANT ALTERNATIF 50/60 Hz SUR LES ADULTES

- Zone 1: Habituellement aucune réaction
- Zone 2: Habituellement aucun effet physiopathologique dangereux
- Zone 3: Habituellement aucun risque de fibrillation
- Zone 4: Fibrillation possible (probabilité jusqu'à 50%)
- Zone 5: Risque de fibrillation (probabilité supérieure à 50%)

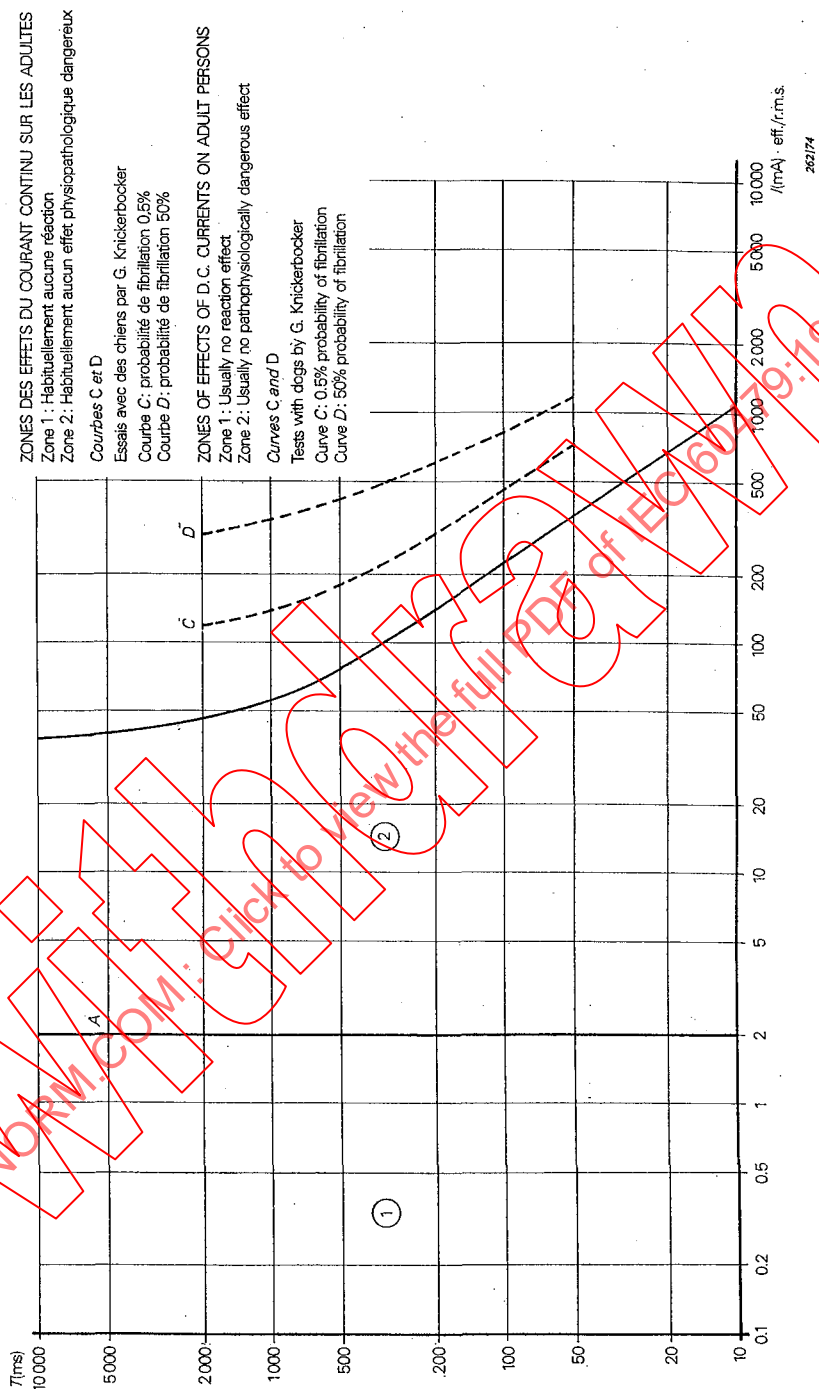
ZONES OF EFFECTS OF A. C. CURRENTS (50/60 Hz) ON ADULT PERSONS

- Zone 1: Usually no reaction effect
- Zone 2: Usually no pathophysiological dangerous effect
- Zone 3: Usually no danger of fibrillation
- Zone 4: Fibrillation possible (up to 50% probability)
- Zone 5: Fibrillation danger (more than 50% probability)



26/174

ANNEXE B — APPENDIX B



202174