

**RAPPORT  
TECHNIQUE  
TECHNICAL  
REPORT**

**CEI  
IEC**

**TR 60479-4**

Première édition  
First edition  
2004-07

---

---

**Effets du courant sur le corps humain  
et sur les animaux –**

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

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

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



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC/TR 60479-4:2004

## Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

## Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

## Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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 cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- Site web de la CEI ([www.iec.ch](http://www.iec.ch))
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI ([www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- IEC Just Published

Ce résumé des dernières publications parues ([www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- Service clients

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: [custserv@iec.ch](mailto:custserv@iec.ch)  
Tél: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

## Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

## Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

## Further information on IEC publications

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 this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- IEC Web Site ([www.iec.ch](http://www.iec.ch))
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site ([www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- IEC Just Published

This summary of recently issued publications ([www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- Customer Service Centre

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: [custserv@iec.ch](mailto:custserv@iec.ch)  
Tel: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

**RAPPORT  
TECHNIQUE  
TECHNICAL  
REPORT**

**CEI  
IEC**

**TR 60479-4**

Première édition  
First edition  
2004-07

---

---

**Effets du courant sur le corps humain  
et sur les animaux –**

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

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

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

© IEC 2004 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.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland  
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

**Q**

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

## SOMMAIRE

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| AVANT-PROPOS .....                                                                        | 4  |
| INTRODUCTION .....                                                                        | 8  |
| 1 Domaine d'application et objet .....                                                    | 10 |
| 2 Références normatives .....                                                             | 10 |
| 3 Termes et définitions .....                                                             | 10 |
| 3.1 Définitions des termes techniques .....                                               | 10 |
| 3.2 Définitions des interactions .....                                                    | 14 |
| 3.3 Définitions des effets sur les organismes .....                                       | 14 |
| 4 Phénomène physique de la foudre .....                                                   | 16 |
| 5 Interaction entre les coups de foudre et les personnes ou les animaux domestiques ..... | 16 |
| 5.1 Description d'un coup de foudre direct .....                                          | 16 |
| 5.2 Description de la tension de toucher .....                                            | 18 |
| 5.3 Description du coup de foudre latéral .....                                           | 18 |
| 5.4 Description de la tension de pas .....                                                | 18 |
| 5.5 Description de l'amorçage .....                                                       | 18 |
| 6 Effets de la foudre sur le corps humain et les animaux domestiques .....                | 18 |
| 6.1 Effets physiologiques .....                                                           | 20 |
| 6.2 Effets pathophysiologiques .....                                                      | 20 |
| 6.3 Effets thermiques .....                                                               | 20 |
| 6.4 Comparaison entre les effets d'un coup de foudre et les chocs électriques .....       | 20 |
| Annexe A (informative) Figures .....                                                      | 22 |
| Bibliographie .....                                                                       | 34 |

## CONTENTS

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FOREWORD.....                                                                          | 5  |
| INTRODUCTION.....                                                                      | 9  |
| 1 Scope and object.....                                                                | 11 |
| 2 Normative references .....                                                           | 11 |
| 3 Terms and definitions .....                                                          | 11 |
| 3.1 Definitions of technical terms.....                                                | 11 |
| 3.2 Definitions of interactions .....                                                  | 15 |
| 3.3 Definitions of effects on organisms.....                                           | 15 |
| 4 Physics of lightning .....                                                           | 17 |
| 5 Interaction of strokes with human beings and livestock.....                          | 17 |
| 5.1 Description of direct strike .....                                                 | 17 |
| 5.2 Description of touch voltage .....                                                 | 19 |
| 5.3 Description of side flash .....                                                    | 19 |
| 5.4 Description of step-voltage.....                                                   | 19 |
| 5.5 Description of flashover.....                                                      | 19 |
| 6 Effects of lightning strokes on the body of human beings and livestock .....         | 19 |
| 6.1 Physiological effects.....                                                         | 21 |
| 6.2 Pathophysiological effects.....                                                    | 21 |
| 6.3 Thermal effects .....                                                              | 21 |
| 6.4 Comparison between effects of electric shock and effects of lightning strokes..... | 21 |
| Annex A (informative) Figures.....                                                     | 23 |
| Bibliography.....                                                                      | 35 |

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

### EFFETS DU COURANT SUR LE CORPS HUMAIN ET SUR LES ANIMAUX –

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

#### AVANT-PROPOS

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

La tâche principale des comités d'études de la CEI est l'élaboration des Normes internationales. Toutefois, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique lorsqu'il 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.

La CEI 60479-4, qui est un rapport technique, a été établie par le comité d'études 64 de la CEI: Installations électriques et protection contre les chocs électriques.

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**EFFECTS OF CURRENT ON HUMAN BEINGS  
AND LIVESTOCK –****Part 4: Effects of lightning strokes  
on human beings and livestock**

## FOREWORD

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

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. However, a technical committee may propose the publication of a Technical Report when it has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

IEC 60479-4, is a technical report and has been prepared by technical committee 64: Electrical installations and protection against electric shock.

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

|                  |                 |
|------------------|-----------------|
| Projet d'enquête | Rapport de vote |
| 64/1382/DTR      | 64/1396/RVC     |

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

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

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

Partie 1: Aspects généraux

Partie 2: Aspects particuliers:

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

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

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

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

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

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

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

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

|               |                  |
|---------------|------------------|
| Enquiry draft | Report on voting |
| 64/1382/DTR   | 64/1396/RVC      |

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

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

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

Part 1: General aspects

Part 2: Special aspects:

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

Chapter 5: Effects of special waveforms of current

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

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

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

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

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

## INTRODUCTION

La CEI 60479, parties 1 à 3, traite de l'influence du passage du courant dans le corps humain et celui des animaux. La présente partie, qui est un rapport technique, décrit l'influence et les effets de l'électricité naturelle sous la forme d'éclairs lors d'orages. Le courant de foudre peut comprendre plusieurs chocs unipolaires et/ou bipolaires présentant des valeurs crêtes et des durées différentes; le Chapitre 6 de la CEI 60479-2 ne traitant pas ces effets.

L'interaction entre un coup de foudre et le corps de la victime est très différente de l'expérience habituelle des chocs électriques. Le chemin de passage comprend souvent la tête lors d'accidents dus à la foudre. Cela implique une inclusion probable du cerveau et par suite du système respiratoire différent du passage de courant habituel de choc électrique. Il faut relever, en particulier, les différences existant entre les accidents dus à un coup de foudre direct et ceux dus aux tensions de pas. Même des chocs simples de faible durée peuvent entraîner des arrêts cardio-pulmonaires [5]<sup>1</sup>, [6], [12] et [13].

Les interactions électriques élevées avec les organismes humains sont très dangereuses, mais heureusement, ne sont pas toujours mortelles. Il est admis que plus de 70 % des accidents dus à la foudre ne sont pas mortels (voir [1] et [9]). Les données correspondantes pour les animaux ne sont pas connues. Il existe une très grande variabilité due aux environnements différents, aux activités diverses des personnes et des connaissances lors des premières interventions et de la qualité des soins médicaux [1] et [5].

C'est pourquoi il est nécessaire de créer un document séparé relatif aux aspects particuliers des coups de foudre. Dans la première partie, l'aspect physique fondamental de la foudre est décrit et une seconde partie traite de son interaction avec le corps humain et une troisième partie traite des conséquences sur la vie humaine.

---

<sup>1</sup> Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie.

## INTRODUCTION

IEC 60479 parts 1 to 3, deals with the effect of electric shock derived from electrical systems on the bodies of human beings and livestock. This part, which is a technical report, describes the influence and effect of natural electricity in the form of lightning strokes during thunderstorms. Lightning current can consist of several uni-polar and/or bi-polar impulses with different peak values and durations; Chapter 6 of IEC 60479-2 does not cover these effects.

The interaction of a lightning stroke with the victim's body is quite different from the usual experience with electric shock derived from electrical systems. The pathway often includes the head in lightning accidents. This implies a probable inclusion of the brain stem, which includes the respiratory centre, in contrast with pathways of shock current arising from electrical systems. In particular it must be pointed out that differences exist between accidents caused by a direct flash compared with those interactions which are caused by step voltages. Even very short single impulses of lightning can cause cardio-pulmonary arrest [5]<sup>1</sup>, [6], [12] and [13].

The intense electric interactions with living organisms are very dangerous but, surprisingly in many cases, not always lethal. It is accepted that 70 % or more lightning accidents involving humans are not fatal (see [1] and [9]). Corresponding reliable data for livestock are not known. There is a large variation in outcome due to different environments, different activities of people and knowledge of first aid and quality of medical care [1] and [5].

It has been necessary, therefore, to create a separate document concerning the special effects of lightning strokes. The physical behaviour of lightning is shown as a basis. The interaction with a living body is then described, followed by the consequences for the life of the victim.

---

<sup>1</sup> Figures in square brackets refer to the bibliography.

# **EFFETS DU COURANT SUR LE CORPS HUMAIN ET SUR LES ANIMAUX –**

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

### **1 Domaine d'application et objet**

Le présent rapport technique résume les paramètres essentiels de la foudre et leur variabilité relative à la direction des coups, à leur durée, à la raideur du courant (changement de raideur du courant) et à leur intensité. Les interactions directes et indirectes probables entre la foudre et le corps humain sont indiquées. Les effets résultants dus au courant de foudre pour l'organisme sont décrits.

L'objet de ce rapport est de montrer les différences existant entre les effets dus à la foudre sur le corps humain et sur celui des animaux en comparaison avec les effets des chocs électriques habituels.

### **2 Références normatives**

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

CEI 60479-1:1994, *Effets du courant sur l'homme et les animaux domestiques – Partie 1: Aspects généraux*

CEI 61024-1:1997, *Protection des structures contre la foudre*

### **3 Termes et définitions**

Pour les besoins du présent document, les définitions données dans la CEI 60479-1 ainsi que les suivantes, s'appliquent.

#### **3.1 Définitions des termes techniques**

##### **3.1.1**

##### **éclair à la terre**

décharge atmosphérique comprenant un ou plusieurs chocs

##### **3.1.2**

##### **coup de foudre**

décharge électrique simple d'un éclair à la terre

##### **3.1.3**

##### **canal de foudre**

chemin conducteur du courant de foudre

## EFFECTS OF CURRENT ON HUMAN BEINGS AND LIVESTOCK –

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

#### 1 Scope and object

This technical report summarizes the basic parameters for lightning and their variability insofar as they apply to human beings and livestock. The possible direct and indirect interactions of strikes with bodies of living beings are indicated. The resulting effects caused by lightning currents for the organism are described.

The intention is to show the differences of effects on human beings and livestock due to lightning strokes versus those effects of electric shocks derived from electrical systems.

#### 2 Normative references

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

IEC 60479-1:1994, *Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects*

IEC 61024-1:1997, *Protection of structures against lightning*

#### 3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the definitions given in IEC 60479-1 in addition to the following definitions, apply.

##### 3.1 Definitions of technical terms

###### 3.1.1

###### **lightning flash**

atmospheric discharge consisting of one or more strokes

###### 3.1.2

###### **lightning stroke**

single electrical discharge in a lightning flash

###### 3.1.3

###### **lightning channel**

conducting path of the lightning current

#### **3.1.4**

##### **précurseur**

décharge initiale présentant un faible courant et une faible émission de lumière, ouvrant un canal de foudre

#### **3.1.5**

##### **éclair principal, éclair de retour**

partie la plus éclairée présentant un courant de décharge élevé et initié lorsque le précurseur entre en contact avec la terre

#### **3.1.6**

##### **éclair descendant**

éclair initié par un précurseur descendant allant du nuage à la terre

#### **3.1.7**

##### **éclair ascendant**

éclair initié par un précurseur ascendant allant de la terre au nuage. Partie du coup de foudre lorsque le précurseur se forme de la terre au nuage

#### **3.1.8**

##### **courant de suite**

courant moyen de la composante de la durée la plus élevée du courant de foudre

#### **3.1.9**

##### **valeur crête**

valeur maximale du courant de foudre. Cette valeur se situe entre 4 kA et 250 kA pour la majorité des coups de foudre positifs et négatifs [7]

#### **3.1.10**

##### **charge d'éclair**

intégrale de temps du courant de foudre pour la durée totale de l'éclair. Cette valeur varie entre 0,2 C et 350 C pour la majorité des coups de foudre positifs et négatifs [7]

#### **3.1.11**

##### **charge de choc, charge de coup court**

intégrale de temps du courant de foudre pour la partie choc de la durée totale. Cette valeur varie entre 0,22 C et 150 C pour la majorité des coups de foudre positifs et négatifs [7]

#### **3.1.12**

##### **énergie spécifique**

énergie dissipée par le courant de foudre dans une unité de résistance. Intégrale du carré du courant de foudre pour la durée totale de l'éclair. Cette valeur varie entre  $6 \times 10^3$  J/ $\Omega$  et  $1,5 \times 10^7$  J/ $\Omega$  pour la majorité des coups de foudre positifs et négatifs [7]

#### **3.1.13**

##### **raideur moyenne**

taux moyen de variation de courant calculé entre 10 % et 90 % de l'amplitude crête du front de l'onde [7]. Cette valeur varie entre 0,2 kA/ $\mu$ s et 99 kA/ $\mu$ s pour la majorité des coups de foudre positifs et négatifs

#### **3.1.14**

##### **durée d'éclair**

varie entre 6,15  $\mu$ s et 2 000  $\mu$ s pour la majorité des coups de foudre positifs et négatifs [7]

#### **3.1.15**

##### **intervalle d'éclair**

durée entre le coup initial et les coups consécutifs

**3.1.4****stepped and connecting leader**

pre-discharge with low current and with low light emission, which opens the lightning channel as it grows

**3.1.5****main stroke, return stroke**

bright lightened part with strong current discharge, which is initiated at that moment when the stepped and connecting leader comes into contact with the earth

**3.1.6****downward flash**

lightning flash initiated by a downward leader from a cloud to earth

**3.1.7****upward flash**

lightning flash initiated by an upward leader from earth to cloud. That part of a stroke when the leader grows from earth to cloud

**3.1.8****continuing current**

mean current of the long lasting component of the lightning current

**3.1.9****peak value**

maximum value of the lightning current. This value ranges from 4 kA to 250 kA for the majority of positive and negative lightning strokes [7]

**3.1.10****flash charge**

time integral of the lightning current for the entire lightning duration. This value ranges from 0,2 C to 350 C for the majority of positive and negative lightning strokes [7]

**3.1.11****impulse charge, short stroke charge**

time integral of the lightning current for the impulse part of the lightning duration. This value ranges from 0,22 C to 150 C for the majority of positive and negative lightning strokes [7]

**3.1.12****specific energy**

energy dissipated by the lightning current in a unit resistance. It is the integral of the square of the lightning current for the duration of the lightning. This value ranges from  $6 \times 10^3$  J/Ω to  $1,5 \times 10^7$  J/Ω for the majority of positive and negative lightning strokes [7]

**3.1.13****average steepness**

average rate of change of current calculated over 10 % to 90 % of peak amplitude of the wave front [7]. This value ranges from 0,2 kA/μs to 99 kA/μs for the majority of positive and negative lightning strokes

**3.1.14****stroke duration**

range of 6,15 μs to 2 000 μs for the majority of positive and negative lightning strokes [7]

**3.1.15****stroke interval**

time interval between the beginnings of successive strokes

### 3.1.16

#### **durée totale d'éclair**

varie entre 0,1 ms et 1 100 ms pour la majorité des coups de foudre positifs et négatifs [7]

NOTE L'expérience montre que la distribution statistique des paramètres définis dans le présent paragraphe présente une distribution logarithmique normale.

## 3.2 Définitions des interactions

### 3.2.1

#### **coup de foudre direct**

interaction dans laquelle l'extrémité du précurseur touche directement le corps humain (voir Figure A.2)

### 3.2.2

#### **tension de toucher**

tension entre parties conductrices lorsqu'elles sont touchées simultanément par une personne ou un animal (voir Figure A.3)

NOTE Dans certains textes, elle est appelée par erreur « tension de contact ».

### 3.2.3

#### **éclair latéral**

arc électrique entre une structure et un être humain à proximité de la structure frappée par la foudre (voir Figures A.4 et A.5c)

### 3.2.4

#### **tension de pas**

tension à la surface du sol entre deux points

NOTE Les courants résultants probables sont indiqués dans les Figures A.5a et A.5c.

[VEI 195-05-12, modifié]

### 3.2.5

#### **amorçage**

arc électrique à la surface du corps, transportant une part significative de courant, pouvant se produire en association avec les effets ci-dessus (voir Figure A.2)

## 3.3 Définitions des effets sur les organismes

### 3.3.1

#### **effet physiologique**

stimulation électrique externe de cellules excitables, telles que toutes sortes de muscles, muscles lisses des artères et des veines, muscles maintenant le squelette, muscle cardiaque, les nerfs et toutes les structures du cerveau. Ces effets sont transitoires

### 3.3.2

#### **effets pathophysiologiques**

effets de stimulation ou d'inhibition conduisant à des dysfonctionnements réversibles ou irréversibles des structures affectées de l'organisme. Ces effets sont de longue durée

NOTE Ces effets incluent la paralysie kéraunique qui est une paralysie transitoire des structures musculaires lors du passage du courant. Sa cause est incertaine.

### 3.3.3

#### **effet thermique**

effet du courant électrique dû à l'échauffement local et transitoire des structures affectées jusqu'à des températures où des destructions de cellules ou organiques apparaissent

Les effets de l'évaporation restent à prouver [14]

**3.1.16****total flash duration**

time range of 0,1 ms to 1 100 ms for the majority of positive and negative lightning strokes [7]

NOTE Experience show that the statistical distribution of the parameters in this subclause can be assumed to have a logarithmic normal distribution.

**3.2 Definitions of interactions****3.2.1****direct stroke**

interaction whereby the tip of the stepped and connecting leader attaches directly to the living being (see Figure A.2)

**3.2.2****contact voltage**

potential difference between accessible points when touched simultaneously by a living being (see Figure A.3)

NOTE In some texts, this has been erroneously referred to as "contact potential" or "touch voltage".

**3.2.3****side flash**

electric arc between two objects, at least one of which is subject to lightning (see Figure A.4 and A.5c)

**3.2.4****step voltage**

voltage on the earth's surface between two points

NOTE The possible resulting currents are shown in Figures A.5a and A.5c.

[IEV 195-05-12, modified]

**3.2.5****flashover**

an electric arc over the surface of the body carrying a significant proportion of the current. It may occur with the other combinations above (see Figure A.2)

**3.3 Definitions of effects on organisms****3.3.1****physiological effects**

external electrical stimulation of excitable cells, such as all kinds of muscles, smooth muscles of arteries and veins, skeletal muscles, heart muscle, nerves and all the structures of the brain. These effects are transient

**3.3.2****pathophysiological effects**

stimulatory or inhibitory effects which lead to reversible or irreversible dysfunctions of the affected structures of the organism. These effects are of long duration

NOTE This group of effects includes keraunoparalysis which is a transient paralysis of the muscular structures in the line of the current. Its cause is uncertain.

**3.3.3****thermal effect**

effect of electrical current which results in local and transient heating of the affected structures up to temperatures where cells and organelles become denaturing

The effect of evaporation remains to be proved [14]

## 4 Phénomène physique de la foudre

L'explication des mécanismes physiques de base relatifs à la création et au développement de la foudre est très complexe. Des explications récentes prennent en compte la génération d'un nuage à couche tripolaire par un transfert de charges microscopiques entre des particules de grêle et des cristaux de glace [3].

La foudre est une décharge transitoire sous courant élevé dont le cheminement est mesuré en kilomètres. Plus de la moitié des éclairs ont lieu dans le nuage et sont appelés décharges intra-nuages. Les éclairs nuage-sol ont été particulièrement étudiés car leur importance est essentielle (par exemple comme raison de blessures et de mort, de perturbations des réseaux de puissance et de communication, d'incendies de forêts) et parce qu'il est plus pratique d'étudier les éclairs sous un nuage avec des techniques optiques. Les décharges entre nuages et entre nuages et air sont moins fréquentes que les décharges intra-nuages et entre nuage et sol. Toutes les décharges autres que nuages-sol sont souvent regroupées sous le terme général de décharges de nuages.

Quatre types différents de décharges entre nuages et sol ont été identifiés (Figure A.1). Les éclairs négatifs comptent pour environ 90 % des décharges nuages-sol dans l'ensemble du monde (Figure A.1, catégorie 1) et moins de 10 % des décharges de foudre sont initiées par un précurseur positif descendant (catégorie 3) [4]. Les décharges sol-nuages sont initiées par des précurseurs ascendants (catégories 2 et 4). Ces éclairs ascendants sont relativement rares et apparaissent habituellement sur des sommets de montagnes et des structures de grande hauteur [3].

D'autres importants paramètres physiques sont l'énergie spécifique par coup, la raideur moyenne du courant, ainsi que la durée de l'impact et la durée totale du coup de foudre avec plusieurs impacts.

Les effets mécaniques sont liés à la valeur crête du courant et à l'énergie spécifique. Les effets thermiques sont liés à l'énergie spécifique si un couplage résistif existe et si des arcs dus à la charge totale ou la charge de choc se développent. Plus les valeurs crêtes sont élevées, plus l'énergie spécifique et l'énergie de choc sont élevées dans les éclairs positifs.

Le couplage inductif est lié à la raideur du front du courant de foudre. La valeur la plus élevée de ce paramètre apparaît dans des coups consécutifs négatifs [5].

Le tonnerre accompagne l'éclair et est généré par l'air sur-échauffé au niveau du canal entraînant des ondes de pression d'air.

## 5 Interaction entre les coups de foudre et les personnes ou les animaux domestiques

L'interaction éventuelle de la foudre sur les personnes ou les animaux est fonction du temps de passage et du cheminement du courant dans le corps et à sa surface. Comme la distribution spatiale et temporelle du courant varie, les effets sur les organismes vivants sont différents.

### 5.1 Description d'un coup de foudre direct

Lorsque l'extrémité du précurseur descendant atteint une hauteur de quelques centaines de mètres au-dessus du sol, le champ résultant atteint une valeur critique telle qu'un précurseur ascendant peut être créé à partir d'un conducteur vertical ou d'une victime. Le courant de décharge s'écoule directement dans le corps de la victime (Figure A.2).

Une description d'une interaction directe de la foudre est donnée en 5.5.

## 4 Physics of lightning

The explanation of the basic physical mechanisms for the onset and the dynamics of lightning is very complicated. The latest explanation takes into account that a tripolar layered cloud is generated by microscopic charge transfer between soft hail particles (also called graupel) and ice crystals [3].

Lightning is a transient, high-current discharge whose path length is measured in kilometres. Well over half of all flashes occur wholly within the cloud and are called intra-cloud (IC) discharges. Cloud-to-ground (CG) lightning has been studied more extensively than other forms of lightning because of its practical importance (for instance, as a cause for injuries and death, disturbances in power and communication systems, and the ignition of forest fires) and because lightning below a cloud is more easily studied with optical techniques. Cloud-to-cloud and cloud-to-air discharges occur less frequently than either IC or CG lightning. All discharges other than CG are often combined under the general term cloud discharges.

Four different types of discharges between cloud and earth have been identified (Figure A.1). Negative CG flashes probably account for about 90 % of the CG discharges world-wide (Figure A.1, category 1), and less than 10 % of lightning discharges are initiated by a downward-moving positive leader (category 3) [4]. Ground-to-cloud discharges are initiated by leaders that move upward from the earth (categories 2 and 4). These upward-initiated flashes are relatively rare and usually occur from mountain peaks and tall man-made structures [3].

Other important physical parameters are the specific energy per stroke, the average steepness of current rise within a stroke, as well as the stroke duration and total flash duration where there is more than one stroke in a flash.

The mechanical effects are related to the peak value of the current and specific energy. The thermal effects are related to the specific energy when resistive coupling is involved and to the total charge or impulse charge when arcs develop. The highest peak values, specific energy and impulse energy occur in positive lightning strokes.

The inductive coupling is related to the steepness of the lightning current front. The highest value of this parameter occurs in subsequent negative strokes [5].

Thunder accompanies lightning and is generated by superheated air at the channel, which causes air pressure waves.

## 5 Interaction of strokes with human beings and livestock

The possible interaction of lightning with living beings depends on the resulting time course and pathway of the current in the body and on its surface. As the temporal and spatial current distribution of strokes varies, so the effects on living organisms are different.

### 5.1 Description of direct strike

When the tip of the downward stepped leader has reached a height of some tens of metres above ground level, the resulting field strength attains a critical value so that a short upward streamer can be initiated from a vertical conductor or victim. The flow of current of the whole discharge goes direct via the victim's body (Figure A.2).

A description of direct lightning stroke interaction is given in 5.5.

## 5.2 Description de la tension de toucher

Si un objet non nécessairement métallique est frappé par la foudre, une tension est présente entre deux points de sa surface. Si une personne est en contact avec ces points, fermant ainsi le circuit, la tension de toucher résultante au point de contact est déterminée par des composantes résistive et inductive [5] (Figure A.3).

$$u = i_L R + L di_L / dt$$

où

$u$  est la tension de toucher résultante;

$i_L$  est le courant s'écoulant dans la structure verticale;

$R$  est la résistance entre les points de contact;

$L$  est l'inductance entre les points de contact.

## 5.3 Description du coup de foudre latéral

Si une personne est proche, mais non en contact, d'une structure verticale conduisant le courant de foudre, l'objet est soumis à un potentiel comme dans le cas de la tension de toucher. La différence de potentiel résultante peut être supérieure à la tension d'amorçage entre l'objet et la personne proche. Alors, un coup de foudre latéral peut apparaître (Figure A.4).

## 5.4 Description de la tension de pas

Le cheminement du courant dans les quadrupèdes comprend le cœur (Figure A.5b). D'autres raisons expliquant que les quadrupèdes sont susceptibles d'être frappés plus souvent sont qu'ils se tiennent dans des emplacements boueux tels que leurs pattes sont en très bon contact la terre. Même dans le cas de bipèdes, le courant peut passer par le cœur (Figure A.5c) [5]. Généralement, si le cheminement des tensions de pas pour des personnes ne comprend pas le cœur, ces personnes sont souvent temporairement paralysées à partir de la taille par paralysie kéraunique.

La distribution de courant peut être très irrégulière en fonction de la non-uniformité de la distribution résistive du sol.

## 5.5 Description de l'amorçage

Des amorçages apparaissent après développement de deux phénomènes. Un courant de faible valeur s'écoule pendant à peu près 50  $\mu$ s, puis un courant plus élevé dû à l'arc en retour apparaît pendant environ 0,5  $\mu$ s. Un amorçage externe est créé réduisant la tension et le passage du courant interne. Un amorçage est un chemin du courant de foudre sur la surface du corps et joue le rôle d'un court-circuit pour le corps interne. Un champ de plasma entre les points de contact (10-20 V/cm) dure environ 0,1 s. La différence de potentiel entre les points de contact du corps est suffisamment élevée pour un amorçage continu dans l'air. Après l'amorçage, le courant dans le corps est réduit à quelques ampères (Figure A.2).

# 6 Effets de la foudre sur le corps humain et les animaux domestiques

Si un courant électrique s'écoule dans le corps humain ou les animaux domestiques, des dommages ou des dysfonctionnements peuvent apparaître. Les coups de foudre directs entraînent les dommages les plus importants et la chute de tension due aux différences de potentiel de terre est la cause de dommages moins importants. Une interaction due à la tension de toucher et aux coups de foudre latéraux peut être considérée comme une des variantes de coups de foudre directs de plus faible importance [15].

## 5.2 Description of contact voltage

When an object, not necessarily metallic, is struck by lightning, points on its surface are raised in potential. When a person contacts one of these points and another, possibly earth, to complete a circuit, lightning current will flow through that person. This contact voltage is determined by a resistive and an inductive component [5] (Figure A.3).

$$u = i_L R + L di_L / dt$$

where

$u$  is the resulting contact voltage;

$i_L$  is the current through a vertical structure;

$R$  is the resistance between the points of contact;

$L$  is the inductance between the points of contact.

## 5.3 Description of side flash

When a person is near, but not touching, a vertical structure which conducts lightning current, the potential builds up on the object in the same way as with contact voltage. The resulting potential difference may exceed the electrical breakdown strength of the gap between the object and a person standing nearby. Then a side flash occurs (Figure A.4).

## 5.4 Description of step-voltage

The pathway of the currents in quadrupeds includes the heart (Figure A.5b). Another reason that quadrupeds are much more likely to be killed is that they often stand in muddy ground so that their legs are in particularly good contact with the ground. Even in two legged living beings current can flow through the heart (Figure A.5c) [5]. Usually if the pathway of step voltages for humans does not include the heart, the person is often temporarily paralyzed from the waist down (keraunoparalysis).

The current distribution can be extremely irregular depending on the non-uniformity of the resistance distribution in the ground.

## 5.5 Description of flashover

Flashover occurs quickly after two processes develop. A small leader current flows for about 50  $\mu$ s then a large current due to return stroke attachment occurs for about 0,5  $\mu$ s. External flashover then occurs resulting in reduction of voltage and internal current flow. The flashover as a path of the lightning current along the surface of the body, acts as a short-circuit for the internal parts of the body. A plasma field between the contact points (10-20 V/cm) lasts for about 0,1 s. The potential difference across the body contact points is high enough for an electric breakdown to continue in the air. After the breakdown the current through the body is reduced to only a few amperes (Figure A.2).

## 6 Effects of lightning strokes on the body of human beings and livestock

If electric current flows through the body of human beings and livestock, damage or malfunction can occur. Direct strike obviously gives rise to the greatest harm and a voltage drop due to earth potential differences is the least harmful. Interaction due to contact voltage and side flash may be thought of as variants of direct strike, but of lesser magnitude [15].

## 6.1 Effets physiologiques

Une stimulation électrique externe due à la foudre induit une activité dans toutes les structures neuromusculaires, y compris les spasmes vasculaires, l'arrêt cardiaque, de manière prépondérante en asystole, ou, plus rarement, en fibrillation.

Une absence de coordination électrique conduit à une défaillance de la fonction essentielle de pompe à sang du cœur [16].

Un arrêt respiratoire apparaît aussi et dure beaucoup plus longtemps qu'un arrêt cardiaque. Tandis que le cœur peut redémarrer, un arrêt cardiaque secondaire peut apparaître en raison du manque d'oxygène et la fonction de pompe à sang est à nouveau perdue, sauf si une ventilation est apportée.

Des réactions musculaires involontaires peuvent apparaître pouvant conduire à de fortes contractions et convulsions, créant ainsi des effets secondaires.

## 6.2 Effets pathophysiologiques

Ces effets comprennent des dommages de nature non thermique vers les cellules excitables ou non. Une rupture ou une perforation de la membrane est possible. La guérison ne sera pas immédiate ou n'aura jamais lieu. Les effets secondaires peuvent avoir des conséquences sérieuses. Le Tableau A.1 fait la synthèse de la progression des blessures dues à la foudre et des conséquences physiologiques.

## 6.3 Effets thermiques

Le Tableau A.1 fait aussi la synthèse des blessures lors des coups de foudre et indique les variations pathophysiologiques.

## 6.4 Comparaison entre les effets d'un coup de foudre et les chocs électriques

Il a été indiqué que les blessures dues à la foudre sont très différentes de celles dues à un choc électrique en basse ou haute tension. Le Tableau A.2 fait la synthèse de ces différences. Il n'existe toutefois pas de fondement dogmatique sur le fait qu'une guérison après un arrêt cardiaque plus long que la normale puisse se produire.

Les détails sur la nature spécifique des blessures dues à la foudre sont traitées en [8], [10], [12], [13] et [16].

## 6.1 Physiological effects

External electrical stimulation by lightning induces activity in all kinds of neuromuscular structures, including spasm in the vascular field, cardiac arrest, predominately in asystole or, rarely, fibrillation.

Lack of electrical co-ordination leads to failure of the heart's essential blood pump function [16].

Respiratory arrest also occurs and lasts much longer than cardiac arrest. While the heart may restart, a secondary cardiac arrest due to lack of oxygen will occur, and the pump action is lost again, unless ventilation is given.

Involuntary skeletal muscle reactions may happen, which can lead to strong contractions and seizures, which can result in secondary effects.

## 6.2 Pathophysiological effects

These effects include damage of a non-thermal nature to excitable and non-excitable cells. Membrane rupture is possible, even perforation. Recovery may not take place immediately or may never occur. Secondary effects may have serious consequences. Table A.1 summarizes specific features of lightning injury progression, and consequences for body physiology.

## 6.3 Thermal effects

Table A.1 also summarizes the range of injuries seen in lightning stroke and shows changes of pathophysiology.

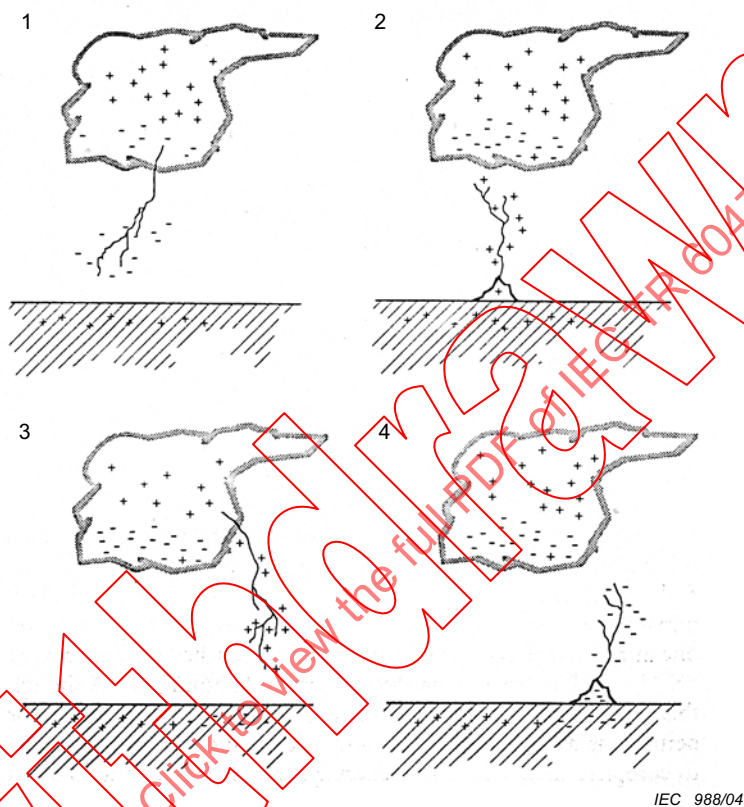
## 6.4 Comparison between effects of electric shock and effects of lightning strokes

It has been emphasized that injury from lightning stroke is markedly different from that due to electric shock from low voltage or high voltage systems. Table A.2 summarizes these differences. There is, however, no basis to the dogma that recovery after 'longer than normal' cardiac arrest can occur.

Details of the specific nature of lightning injuries are covered in [8], [10], [12], [13] and [16].

## Annexe A (informative)

### Figures



Quatre types de coup de foudre entre nuages et sol sont définis.

Catégorie 1: le coup de foudre débute avec un précurseur descendant chargé négativement

Catégorie 2: le coup de foudre est chargé positivement et par la suite, ce type diminue la charge négative du sol

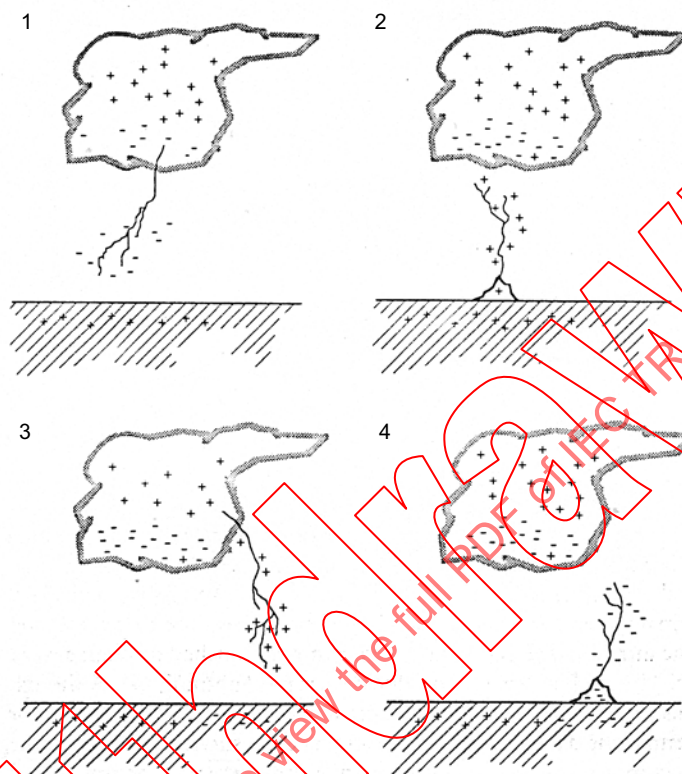
Catégorie 3: les décharges sont initiées par un précurseur positif descendant

Catégorie 4: précurseur négatif diminuant réellement la charge positive [extrait de [4]]

**Figure A.1 – Classification de la foudre [4]**

## Annex A (informative)

### Figures



IEC 988/04

Categorization of the four types of lightning between cloud and ground.

Category 1: lightning begins with a negative charged leader moving downwards

Category 2: lightning has a positively charged leader, and hence this type effectively lowers negative charge to earth

Category 3: discharges are initiated by a downward moving positive leader

Category 4: negative charged leader and effectively lowers positive charge [reprinted from [4]]

**Figure A.1 – Categorization of lightning [4]**

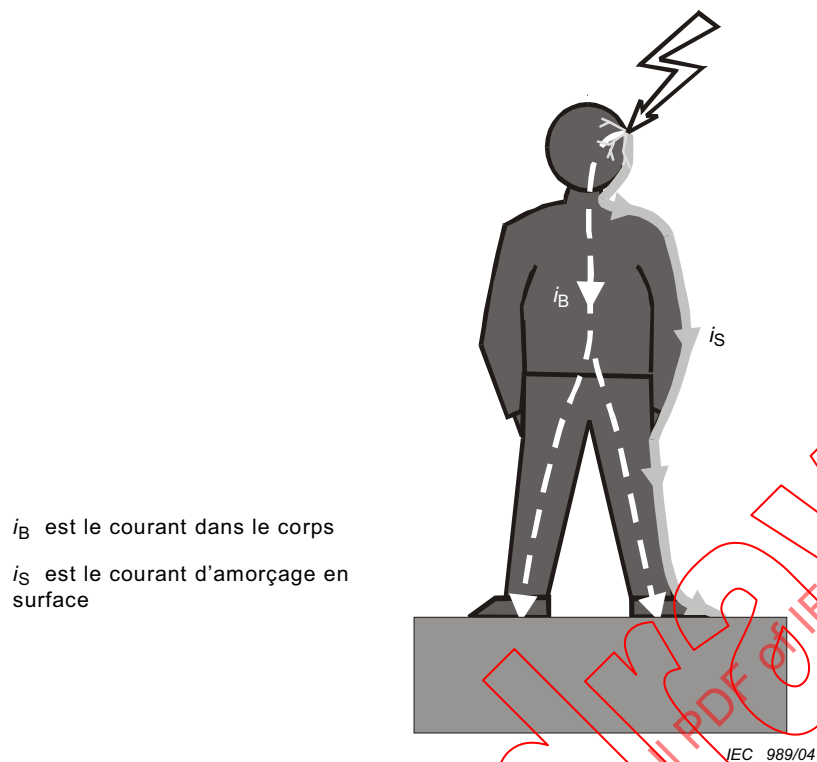


Figure A.2 – Impact direct

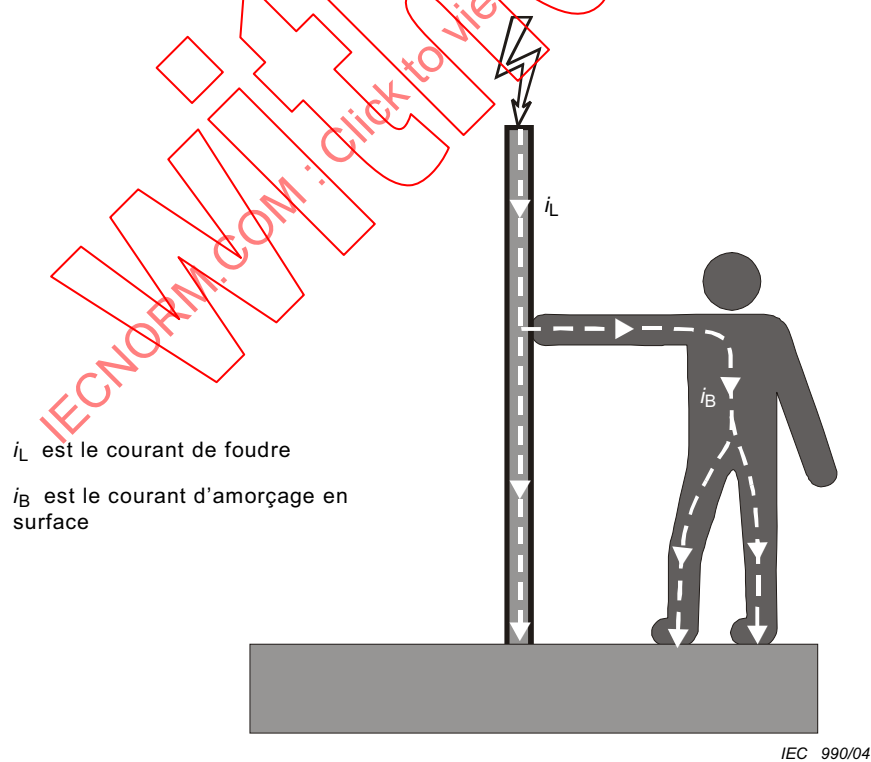


Figure A.3 – Tension de toucher

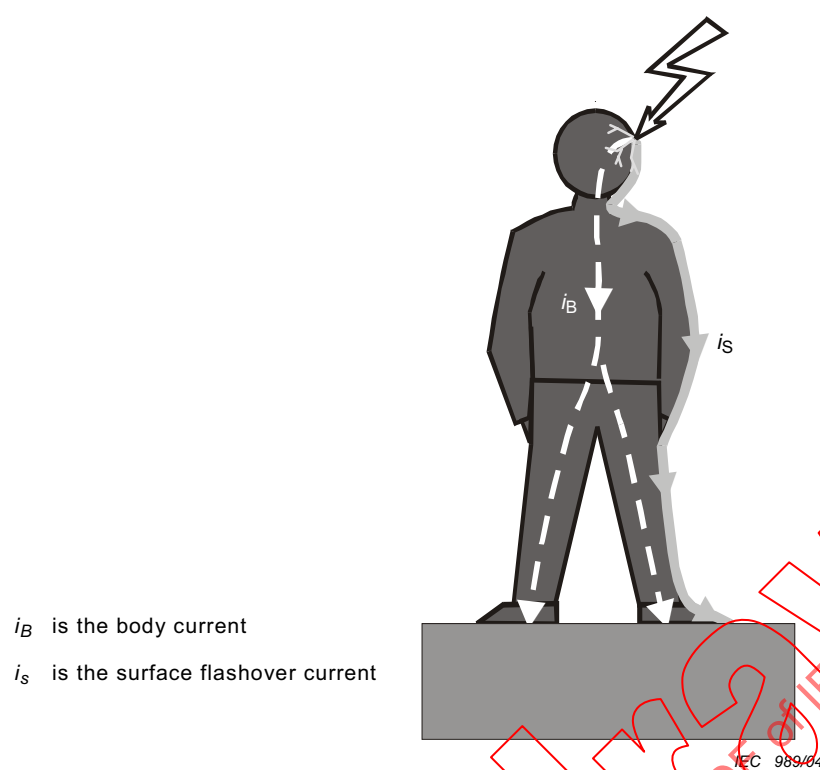


Figure A.2 – Direct stroke

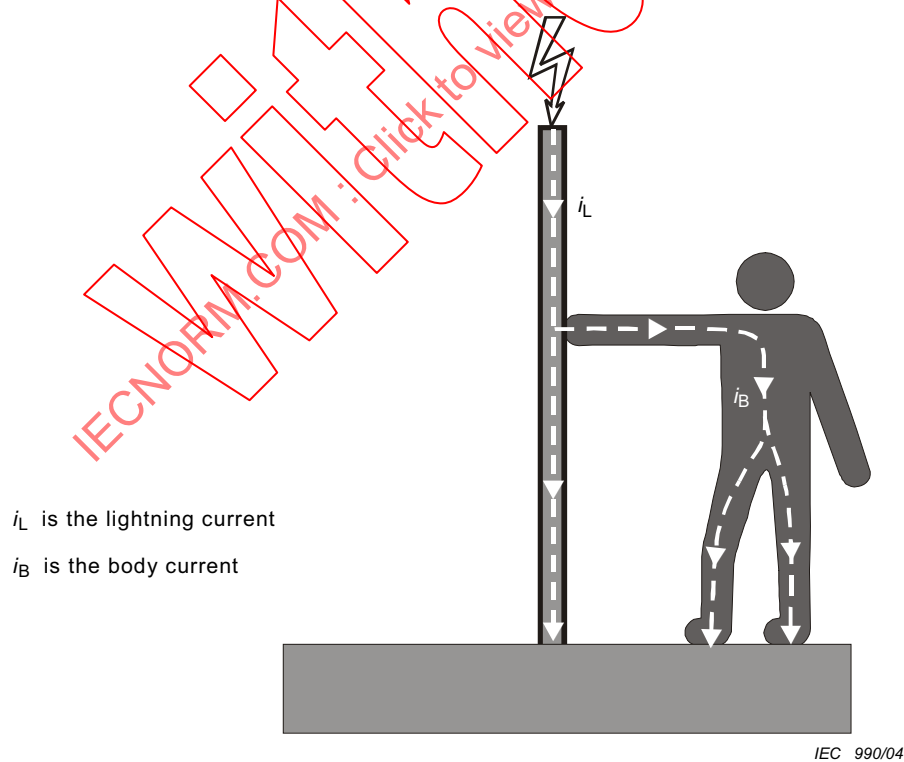
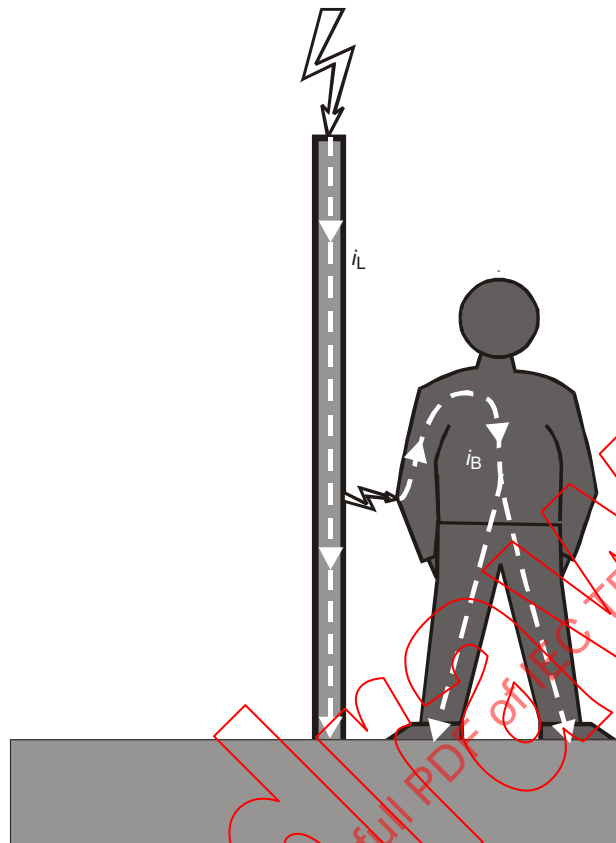


Figure A.3 – Touch voltage

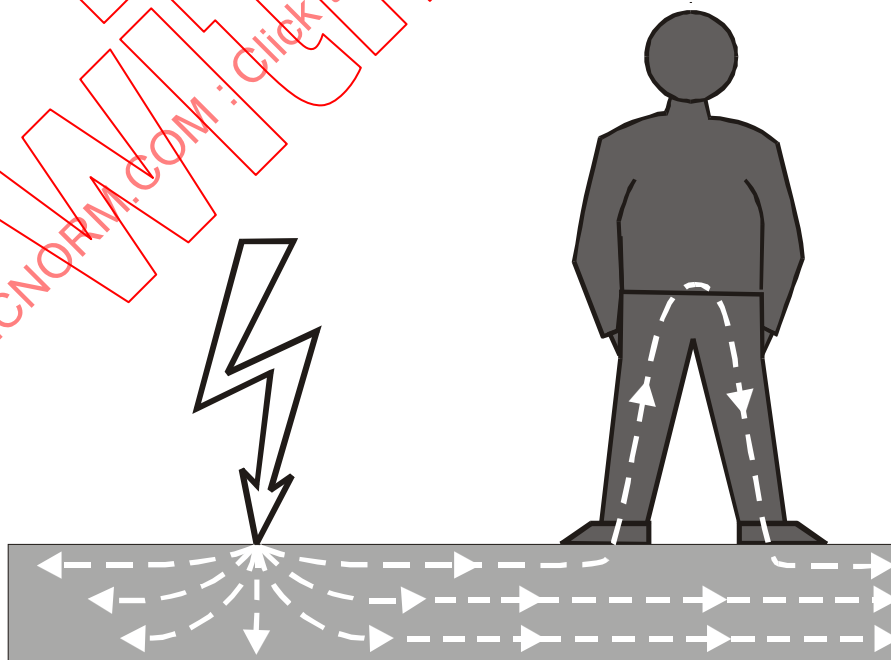
$i_L$  est le courant de foudre

$i_B$  est le courant d'amorçage en surface



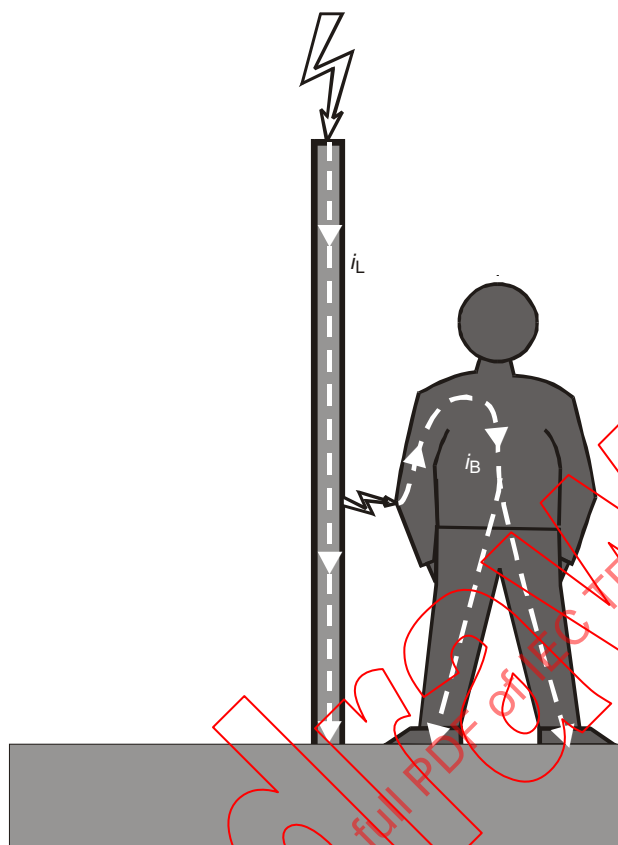
IEC 991/04

Figure A.4 – Impact latéral

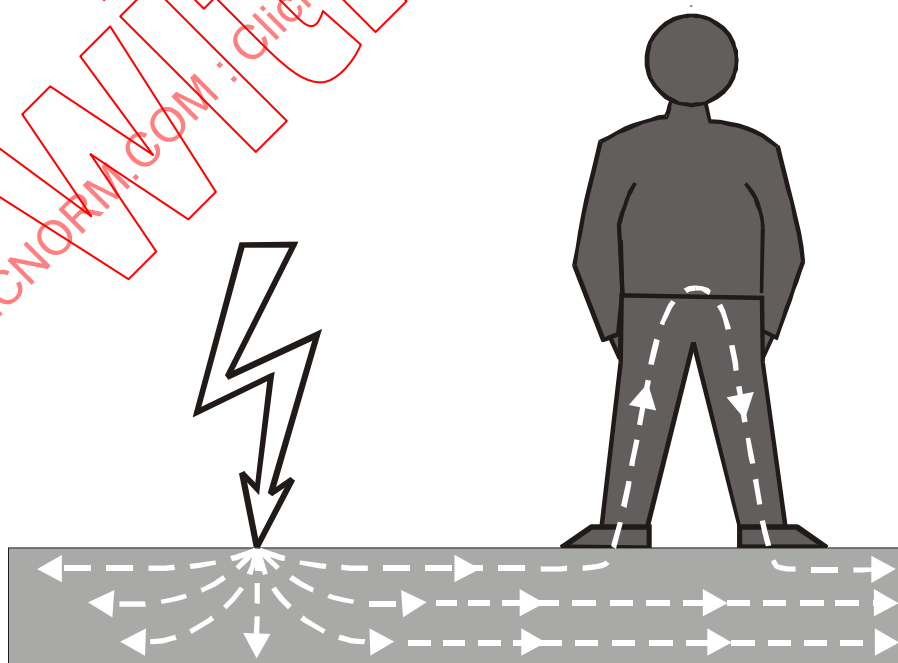


IEC 992/04

Figure A.5a – Tension de pas

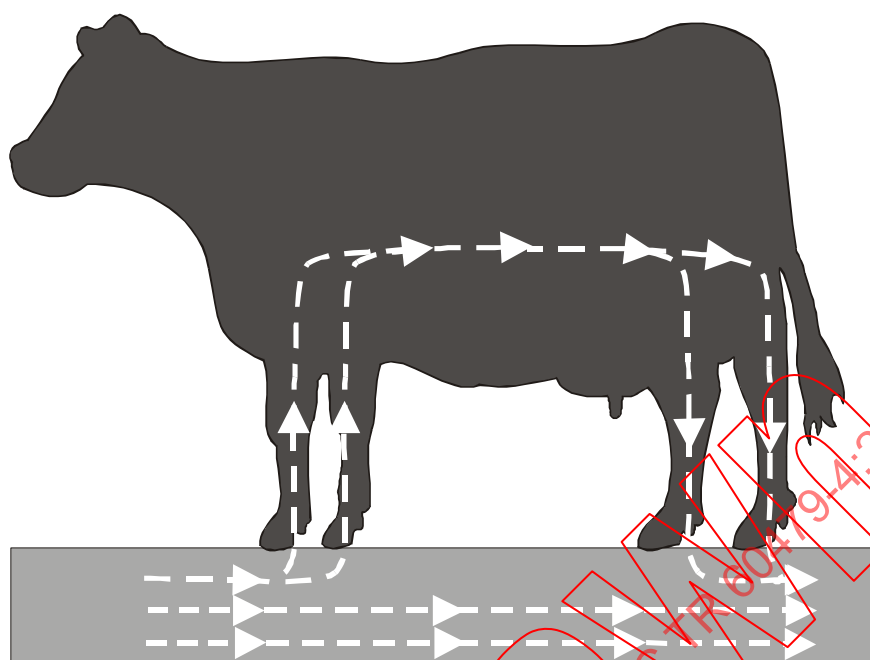


IEC 991/04

**Figure A. 4 – Side flash**

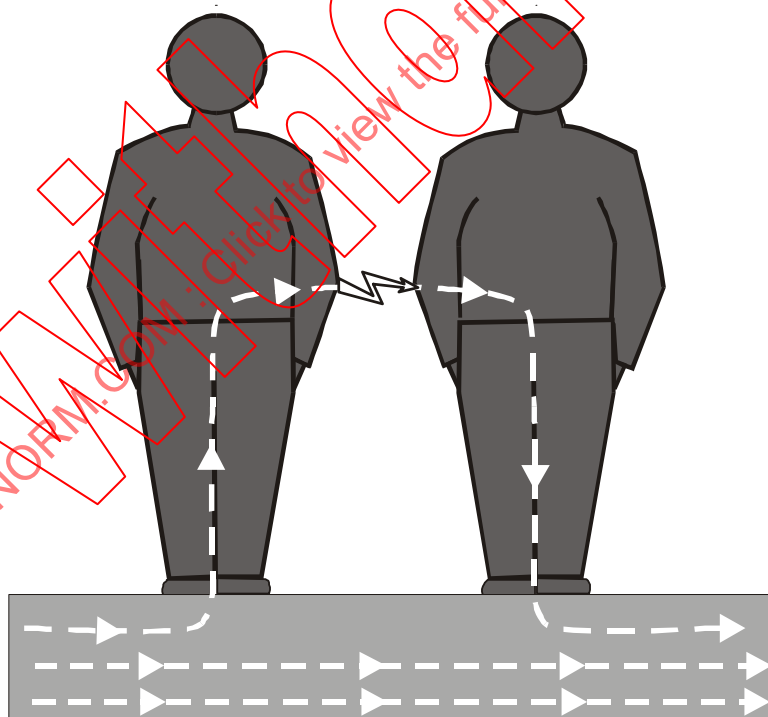
IEC 992/04

**Figure A.5a – Step voltage**



IEC 993/04

Figure A.5b – Tension de pas pour un quadrupède



IEC 994/04

Figure A.5c – Tension de pas en cas d'impact latéral

Figures A.2 à A.5 – Cheminement du courant lors des diverses interactions de la foudre dans le corps de la victime